

UNIVERZITET U BEOGRADU

STUDIJE PRI UNIVERZITETU

Mr Dragana D. Randelović

**GEOBOTANIČKA I BIOGEOHEMIJSKA
KARAKTERIZACIJA
RUDNIČKE OTKRIVKE U BORU
I MOGUĆNOST PRIMENE REZULTATA
U REMEDIJACIJI**

doktorska disertacija

Beograd, 2015

UNIVERSITY OF BELGRADE
MULTIDISCIPLINARY STUDIES

Mr Dragana D. Randelović

**GEOBOTANICAL
AND BIOGEOCHEMICAL
CHARACTERIZATION
OF MINE OVERBURDEN IN BOR
AND ITS POTENTIAL FOR
APPLICATION IN REMEDIATION**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015

MENTORI:

Dr Vladica Cvetković, redovni profesor Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet

Dr Slobodan Jovanović, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Biološki fakultet

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Boško Gajić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

Dr Nevena Mihailović, viši naučni saradnik Univerzitet u Beogradu - Institut za primenu nuklearne energije (INEP)

Dr Gordana Tomović, docent, Univerzitet u Beogradu - Biološki fakultet

Datum odbrane:

*Mojoj Porodici, Učiteljima i Prijateljima,
a naročito onima koji su u isto vreme bili sve ovo.*

Srdačno se zahvaljujem svom mentoru, prof. dr Vladici Cvetkoviću, na materijalnoj podršci i efektivnom vođstvu u toku izrade ove disertacije, kao i na ukazanom poverenju i spremnosti da me uključi u proces razvoja kapaciteta Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu za bavljenje ekološkim problemima.

Posebnu zahvalnost iskazujem i svom drugom mentoru, prof. dr Slobodanu Jovanoviću, na posvećenom podučavanju, korisnim savetima i sugestijama vezanim za izradu ove disertacije, kao i na podršci koju mi je pružao tokom čitavog perioda mog poslediplomskog obrazovanja.

Zahvaljujem se dr Neveni Mihailović na svesrdnoj pomoći u izvođenju pedoloških analiza, kao i na korisnim sugestijama u toku izrade ove disertacije. Takođe se zahvaljujem i prof. dr Bošku Gajiću na korisnim predlozima i detaljnoj analizi pedoloških aspekata ove teze. Doc. dr Gordani Tomović srdačno se zahvaljujem na vrednim savetima i usmeravanjima u toku izrade teze. Specijalnu zahvalnost dugujem dr Robertu Šajnu iz Geološkog zavoda u Ljubljani, Slovenija na pomoći i podučavanju u statističkoj obradi podataka različitih kategorija, bez čije pomoći ova disertacija ne bi imala sadašnji kvalitet i oblik.

Zahvalnost dugujem i kolegama sa Departmana za mineralogiju, kristalografiju, petrologiju i geohemiju Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu za pruženu pomoć pri izradi disertacije. Posebno se zahvaljujem dr Aleksandru Pačevskom za pruženu pomoć u terenskom delu istraživanja, dr Kristini Šarić za pomoć prilikom opisivanja petroloških preparata, dr Predragu Vuliću na pomoći prilikom analize uzoraka rendgenskom difrakcijom, kao i Maši Radivojević na svakodnevnoj kolegijalnoj podršci u radu.

Prilikom izrade ove disertacije dragocene savete su mi na različite načine pružili i mnogi drugi naučni radnici, stručnjaci i kolege različitih obrazovnih profila, čime su uticali na širenje moje svesti o problematici zaštite životne sredine kao i na sposobnost sagledavanja njenih najrazličitijih naučnih i stručnih aspekata. Svima njima veliko hvala što su deo mog lavirinta saznanja.

Najveću zahvalnost dugujem mojoj porodici na iskazanoj kontinuiranoj podršci u radu i obrazovanju, negovanju istraživačkog duha i ljudskih vrednosti, kojima su mi, pored ostalog, omogućili da održim željeni pravac, očuvam entuzijazam i istrajem u ovom procesu.

GEOBOTANIČKA I BIOGEOHEMIJSKA KARAKTERIZACIJA RUDNIČKE OTKRIVKE U BORU I MOGUĆNOST PRIMENE REZULTATA U REMEDIJACIJI

REZIME

Područje rudarskog basena Bor smatra se 'crnom ekološkom tačkom' i jednim od najzagađenijih područja u Srbiji. Rudarske aktivnosti prisutne na ovom području duže od jednog veka ostavile su teške posledice po životnu sredinu i rezultovale obrazovanjem tehnogenih tvorevina u vidu jalovišnog materijala značajne površine, koje predstavljaju snažan izvor zagađenja čitave oblasti prašinom, dok prirodno luženje koje sa njih vrše atmosferilije ugrožava okolno zemljište i vodotokove. Sanacija borskih jalovišta smatra se zato jednim od prioriteta u zaštiti životne sredine na nacionalnom nivou. Biološka remedijacija smatra se jednim od ekonomski i ekološki najprihvatljivijih remedijacionih tehnologija za sanaciju degradiranih područja. Fitoremedijacija je prirodna tehnologija koja koristi biljke da ukloni, dezintegriše ili zadrži štetne hemijske materije koje se nalaze u različitim medijumima životne sredine. Petrološka, mineraloška i geohemijska karakterizacija rudničkog otpada pružaju informacije o sastavu otkrivke i njenom hemijskom ponašanju, predstavljajući polaznu osnovu za utvrđivanje stepena ugroženosti životne sredine i prioriteta za sanaciju određene lokacije. Geobotanička i biogeohemijska karakterizacija ukazuju na stepen povezanosti procesa u podlozi, deposolu i biljnom svetu, dajući okvir za odgovarajući obim i vrstu fitoremedijacije kao biotehnološkog rešenja za sanaciju borskog rudničkog otpada. Samonikle biljne vrste na području rudničkih jalovišta prilagođene su na ekološke uslove ovih staništa, što ih čini prvim izborom kod istraživanja za potrebe fitoremedijacije.

Na odlagalištima otkrivke u Boru, formiranim neselektivnim odlaganjem rudničke otkrivke, petrološko-mineraloškom i geohemijskom karakterizacijom izdvojeno je šest zasebnih litoloških grupa, od kojih su sve izuzev intenzivno orudnjenih stena selektivno kolonizovane od strane samoniklih biljnih vrsta. Na njima su izdvojena četiri inicijalna vegetacijska stadijuma povezana sa utvrđenim litološkim grupama, odnosno karakteristikama deposola koji su nastali njihovim razlaganjem. Ova

povezanost je naročito izražena među grupama podloga koje svojom mineralogijom generišu kiselu, i onih koje generišu neutralnu do blago baznu reakciju deposola. Deposoli izdvojenih, obraslih litoloških grupa pokazuju jasnu diferencijaciju u odnosu na ispitivane hemijske osobine i sadržaj makro- i mikroelemenata. Pseudo-ukupni i EDTA-pristupačni sadržaj ispitivanih mikroelemenata nalazi se u odnosu $Cu > Zn > Pb > As > Cr$. Deposoli borskih odlagališta otkrivke odlikuju se sadržajem bakra i arsena iznad propisanih graničnih i remedijacionih vrednosti, pa je u odnosu na ove elemente neophodno izvršiti remedijaciju područja.

Unutar konstatovanih vegetacijskih stadijuma analizirano je deset biljnih vrsta koje poseduju najveći stupanj prisutnosti-frekventnosti, ili su definisane kao dijagnostičke vrste u izdvojenim stadijumima. Utvrđeno je da one kao meru prilagođavanja na stresogene uslove sredine primenjuju strategije isključivanja ili usvajanja ispitivanih hemijskih elemenata u svoje podzemne i nadzemne organe. Uzorkovane samonikle biljne vrste akumuliraju elemente u korenu u odnosu: $Cu > Zn > As > Pb > Cr$, a u nadzemnom delu u odnosu: $Cu > Zn > As > Cr > Pb$. Primarnu ulogu u varijabilnosti rasporeda vrsta duž gradijenata sredine pokazuju hemijski faktori deposola, i to u prvom redu koncentracija kiselih i baznih jona u rastvoru deposola. Sa snižavanjem pH vrednosti koja utiče na mobilnost mikroelemenata u deposolu, uz porast koncentracije pristupačnog sumpora i električnog konduktiviteta, kao posledice rastvaranja sulfidnih minerala i sumpornih soli, dominaciju na staništu preuzimaju vrste sa većim vrednostima biokoncentracionih faktora.

Pojedine biljne vrste poseduju osobine koje ih kandiduju za korišćenje u procesima fitoremedijacije ispitivanog područja, naročito u odnosu na elemente za koje je utvrđena potreba za remedijacijom. Potencijal u fitostabilizaciji pristupačnog i ukupnog bakra na području borskih odlagališta pokazuju vrste *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos*. Vrsta *Rumex acetosella* pokazuje sposobnost višestruke akumulacije arsena u nadzemnim delovima u odnosu na pristupačan arsen u deposolu, što je kandiduje za potencijalnu primenu u fitoekstrakciji. Na deposolima borskih odlagališta vrste *Agrostis stolonifera* i *Festuca valesiaca* pokazuju mogućnost višestruke akumulacije svih ispitivanih mikroelemenata u korenu

u odnosu na njihov pristupačan sadržaj, što ih preporučuje za buduću primenu u fitostabilizaciji ovog područja.

Ključne reči: odlagalište otkrivke, karakterizacija, litološke grupe, deposol, vegetacijski stadijum, fitoremedijacija, mikroelementi, sumpor.

Naučna oblast: *Zaštita životne sredine*

Uža naučna oblast: -

UDK: 504.12:662.66(043.3)

502.174(043.3)

GEOBOTANICAL AND BIOGEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF MINE OVERBURDEN IN BOR AND ITS POTENTIAL FOR APPLICATION IN REMEDICATION

SUMMARY

The area of the Bor mining complex is considered to be an 'environmental hot spot' and one of the most polluted areas in Serbia. Mining activities that have been present for more than a century left severe consequences for the environment and resulted in the formation of significant amounts of technogenic material, mainly present in form of mine wastes. Those wastes represent a powerful source of pollution of the entire area, mainly with dust, while their natural leaching processes performed by atmospheric agents are threatening the surrounding soil and water bodies. Remediation of the Bor mine wastes is considered to be one of the priorities in environmental protection at the national level. Biological remediation is considered to be one of the most economically and environmentally friendly remediation technologies for rehabilitation of degraded areas. Phytoremediation is a natural technology that uses plants to remove, disintegrate or hold harmful chemical substances found in various environmental media. Petrological, mineralogical and geochemical characterization of mining wastes provides information on the composition of overburden and its chemical behavior, presenting a baseline for determining the degree of environmental threat and priorities for recovery of polluted sites. Geobotanical and biogeochemical characterization indicates the degree of correlation between the underlying processes in rocks, mine soils and plants, providing a framework for the proper level and type of phytoremediation as potential biotechnological solution for the rehabilitation of the overburden area in Bor. Wild growing plant species at the mine overburden are adapted to the environmental conditions of these habitats, which makes them the primary choice for phytoremediation researches.

On the mine overburden sites in Bor, which was formed by non-selective disposal of extracted rock material, six separate lithological groups are distinguished by

means of petrological, geochemical and mineralogical characterization. The present lithological groups, excluding a group of intensively mineralized rocks, are selectively colonized by wild growing plant species. Four initial vegetation development stages were singled out and associated with the established lithological groups and mine soil characteristics that incurred during disintegration and weathering of rock material. This correlation is especially pronounced among the lithological groups whose mineralogy generates acid reaction, and lithological groups that generate neutral to slightly basic reaction of mine soil solution. Mine soils formed on diverse lithological groups with vegetation cover show a clear distinction in relation to the chemical properties and content of major and trace elements. Pseudo-total and EDTA-available contents of investigated trace elements is decreasing in order: Cu > Zn > Pb > As > Cr. Overburden mine soils are characterized by high contents of copper and arsenic, that are exceeding the prescribed limits and remediation values, and in respect of which it is necessary to remediate the area.

Within the identified vegetation development stages ten plant species that had the highest degree of presence-frequency, or were defined as diagnostic species, were analyzed. These plants apply the strategy of exclusion or adoption of the investigated chemical elements in their underground and aboveground organs, as a measure of adaptation to existing stressful environmental conditions. The contents of trace elements accumulated in the roots of sampled wild plants decrease in order: Cu > Zn > As > Pb > Cr, while the contents of trace elements accumulated in the above ground parts decrease in order: Cu > Zn > As > Cr > Pb. The primary role of variability of species distribution along environmental gradients belongs to the chemical factors of mine soils, primarily to the concentration of acidic and basic ions in mine soil solutions. With decreasing of pH value, which affects the mobility of trace elements in mine soils, and increasing of the available sulfur concentration and electrical conductivity as a result of sulfide minerals and sulfur salts dissolution, species with higher bioconcentration factors starts to dominate the habitat.

Some of the investigated plant species have properties that candidate them for future use in phytoremediation processes, particularly for the elements that have been detected as a priority for remediation at the Bor area. Species *Agrostis stolonifera*,

Festuca valesiaca, *Rumex acetosella* and *Calamagrostis epigejos* show the potential for phytostabilisation of available and total copper concentrations in mine overburden soil in the Bor area. Species *Rumex acetosella* demonstrates the ability of multiple accumulation of arsenic in above ground parts in relation to available arsenic in mine soils, therefore being a candidate for potential applications in phytoextraction. Species *Agrostis stolonifera* and *Festuca valesiaca* show the possibility of multiple accumulations of all investigated trace elements in their roots in relation to their available amounts in the Bor overburden mine soils, which recommends them for future use in phytostabilisation of this area.

Key words: mine overburden, characterization, lithological groups, mine soil, vegetation stage, phytoremediation, trace elements, sulfur

Scientific field: Environmental protection

Specific topic: -

UDK: 504.12:662.66(043.3)

502.174(043.3)

Geobotanička i biogeochemijska karakterizacija rudničke otkrivke u Boru i mogućnost primene rezultata u remedijaciji

1. UVOD

1.1. Geobotanika i biogeochemija

1.2. Fitoremedijacija

1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja

1.3.1. Pregled dosadašnjih istraživanja na području Bora

2. PREDMET, ZNAČAJ I CILJ ISTRAŽIVANJA

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Prikupljanje i obrada podataka o stenama

3.2. Prikupljanje i obrada podataka o deposolu

3.3. Prikupljanje i obrada podataka o flori i vegetaciji područja

3.4. Analiza hemijskih elemenata u stenama, deposolu i biljnom materijalu

3.5. Numerička i statistička obrada podataka

4. OPŠTE ODLIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

4.1. Geološka istorija šireg područja Bora

4.1.1. Timočki magmatski kompleks

4.1.2. Borska metalogenetska zona

4.2. Klimatske odlike područja

4.2.1. Klimatski faktori

4.2.2. Uticaj klimatskih i faktora zagađenja sredine na razvoj vegetacije

4.2.3. Trend klimatskih promena

4.3. Pedološke odlike područja

4.4. Flora i vegetacija područja

4.5. Ostali antropogeno indukovani uslovi sredine

5. REZULTATI

5.1. Analize stenske podloge

5.1.1. Hornblenda andeziti

5.1.1.1. Petrološke karakteristike

5.1.1.2. Hemijski sastav minerala

5.1.1.3. Geohemijske karakteristike

5.1.2. Alterisani hornblenda andeziti

5.1.2.1. Petrološke karakteristike

5.1.2.2. Hemijski sastav minerala

5.1.2.3. Geohemijske karakteristike

5.1.3. Dvostruka litologija

5.1.3.1. Petrološke karakteristike

5.1.3.2. Hemijski sastav minerala

5.1.3.3. Geohemijske karakteristike

5.1.4. Borski konglomerati

5.1.4.1. Petrološke karakteristike

5.1.4.2. Geohemijske karakteristike

5.1.5. Nevezani sedimenti

5.1.5.1. Petrološke i mineraloške karakteristike

- 5.1.6. Orudnjene stene
 - 5.1.6.1. Petrološke karakteristike
 - 5.1.6.2. Hemijski sastav minerala
 - 5.1.6.3. Geohemijske karakteristike
 - 5.2. Analiza fizičkih i hemijskih karakteristika deposola
 - 5.2.1. Mehanički sastav
 - 5.2.2. Hemijske osobine
 - 5.2.2.1. Sadržaj makroelemenata i organske materije
 - 5.2.2.2. Sadržaj mikroelemenata i sumpora
 - 5.2.2.2.1. Pseudo-ukupan sadržaj
 - 5.2.2.2.2. EDTA-pristupačan sadržaj
 - 5.2.3. Statističke analize
 - 5.3. Geobotaničke analize
 - 5.3.1. Flora istraživanog područja
 - 5.3.1.1. Taksonomska analiza flore
 - 5.3.1.2. Fitogeografska analiza flore
 - 5.3.1.3. Ekološka analiza flore
 - 5.3.1.3.1. Spektar životnih formi biljaka
 - 5.3.1.3.2. Vegetacijska (sintaksonomska) pripadnost biljaka
 - 5.3.1.3.3. Analiza bioindikatorskih vrednosti
 - 5.3.2. Vegetacija istraživanog područja
 - 5.3.3. Izdvajanje cenotičkih stadijuma
 - 5.4. Biogeochemijske analize
 - 5.4.1. Opšte karakteristike uzorkovanih vrsta
 - 5.4.1.1. *Agrostis stolonifera* L.
 - 5.4.1.2. *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.
 - 5.4.1.3. *Centaurea arenaria* M. Bieb.
 - 5.4.1.4. *Chenopodium botrys* L.
 - 5.4.1.5. *Dorycnium pentaphyllum* Scop.
 - 5.4.1.6. *Epilobium dodonaei* Vill.
 - 5.4.1.7. *Festuca valesiaca* Schlich.
 - 5.4.1.8. *Linaria genistifolia* (L.) Mill.
 - 5.4.1.9. *Rumex acetosella* L.
 - 5.4.1.10. *Sanguisorba minor* Scop.
 - 5.4.2. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu i nadzemnom delu biljaka na deposolima različitih litoloških grupa
 - 5.4.3. Fizičko-hemijske osobine deposola u zoni rizosfere ispitivanih vrsta biljaka
 - 5.4.4. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu i nadzemnom delu ispitivanih vrsta biljaka
 - 5.4.5. Faktori usvajanja hemijskih elemenata
- ## 6. DISKUSIJA
- 6.1. Karakterizacija izdvojenih litoloških grupa
 - 6.2. Karakterizacija izdvojenih grupa deposola
 - 6.2.1. Karakterizacija prema mehaničkom sastavu deposola
 - 6.2.2. Karakterizacija prema hemijskim odobinama deposola
 - 6.2.2.1. Karakterizacija prema sadržaju makroelemenata i organske materije

- 6.2.2.2. Karakterizacija prema sadržaju mikroelemenata i sumpora
 - 6.2.3. Statistička obrada podataka o deposolu
 - 6.3. Geobotanička karakterizacija
 - 6.3.1. Analiza bioindikatorskih vrednosti
 - 6.3.2 Ekološke karakteristike cenotičkih stadijuma
 - 6.3.2.1. *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia* - razvojni vegetacijski stadijum
 - 6.3.2.2. *Epilobium dodonaei* - *Sanquisorba minor* - razvojni vegetacijski stadijum
 - 6.3.2.3. *Epilobium dodonaei* - *Centaurea arenaria* - razvojni vegetacijski stadijum
 - 6.3.2.4. *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* - razvojni vegetacijski stadijum
 - 6.4. Biogeoheмиjska karakterizacija
 - 6.4.1. Strategije i faktori usvajanja
 - 6.4.2. Ekološka diferencijacija vrsta u odnosu na faktore staništa
 - 6.5. Potencijal biljnih vrsta u remedijaciji odlagališta
7. ZAKLJUČAK
8. LITERATURA
- Prilog 1.
- Prilog 2.
- Prilog 3.

1. UVOD

Proizvodi koji se dobijaju iz metalinih ruda čine jednu od okosnica napretka čovečanstva i tehnološkog razvoja u prošlom, kao i u XXI veku. Metalne rude predstavljaju ograničene, iscrpive resurse, a njihovo iskorišćavanje ubrzano uzima maha. Prilikom eksploatacije i prerade rude dolazi do grubog narušavanja prirodne sredine, usled čega se remete postojeći ekološki procesi u predelu. Ovo narušavanje ogleda se, pored ostalog, i u produkciji velike količine otpadnog materijala, koji je neophodno adekvatno uskladištiti. Kao rezultat eksploatacije i prerade mineralnih sirovina, postojeći okolni ekosistemi bivaju uništeni i zamenjeni otpadnim materijalom u formi deponija (Dželetović i sar., 1994). Jalovišta raskrivke nastala ovim putem sastoje se od izmrvljenih komada različitih stena koje ne sadrže ekonomski isplativ procenat rude, i kao takve ne ulaze u dalji proces prerade. Najčešće su heterogenog mineraloškog i geohemijskog sastava, a složeni geohemijski procesi koji se odigravaju na ovakvim tehnogenim staništima još uvek su u nedovoljnoj meri istraženi. Pod uticajem atmosferskih faktora, stenski materijal podleže procesu površinskog raspadanja i oslobađanju teških metala, koji daljom disperzijom dospevaju u različite medijume životne sredine. Iz ovog razloga rudnička jalovišta predstavljaju otvorene ili latentne izvore kontaminacije okruženja kroz zagađenje vazduha, voda, zemljišta, promenu mikroklimе, smanjenje biodiverziteta i uključivanje zagađujućih materija u lance ishrane.

Industrijski razvoj u Republici Srbiji podrazumevao je često stvaranje industrijskih giganata kako bi se većem broju fabrika omogućila podela istih resursa: teritorije, skladišnih kapaciteta, topionica, pogona prerade. Pri tome, sanacija šteta nanetih životnoj sredini nije bila jasno adresirana niti strogo primenjivana, što je dovelo do nagomilavanja ekoloških problema. Ovakva područja najčešće su locirana u urbanim zonama ili njihovoj neposrednoj blizini, pa pored direktnog ugrožavanja životne sredine utiču i na zdravlje lokalnih populacija. Unutar industrijskog sektora danas postoji usmerenje ka prevenciji budućeg ugrožavanja životne sredine i iniciranja nove prakse upravljanja prelaskom na čistije tehnologije i saniranjem zagađenja nastalih u prošlosti. Obaveza sanacije posledica rudarenja na životnu sredinu regulisana je Zakonom o rudarstvu i geološkim istraživanjima Republike Srbije (Službeni glasnik RS, 88/2011), a

doneta je i Uredba o utvrđivanju kriterijuma za određivanje statusa ugrožene životne sredine i prioriteta za sanaciju i remedijaciju (Sl.gl. RS. br.22/10). Strategija upravljanja mineralnim resursima Republike Srbije do 2030. (URL, 2012), međutim, konstatuje da su u sektoru rudarstva trenutno zanemareni procesi zaštite životne sredine, čiju je primenu neophodno osavremeniti i osnažiti. U tom smislu, pogoduje činjenica da je oblast zaštite i unapređenja životne sredine definisana kao jedan od sedam nacionalnih prioriteta u Strategiji naučnog i tehnološkog razvoja Srbije 2010-2015 (URL, 2010).

Ruda je na području Bora eksploatisana još u praistorijsko i antičko doba, a savremena eksploatacija bakarne rude počela je 1903. godine. Ove rudarske aktivnosti dovele su do značajnog zagađenja životne sredine. Gradsko naselje Bor razvilo se u neposrednoj blizini postrojenja borskih rudnika, flotacije, topionice i fabrike sumporne kiseline. Glavni izvor zagađivanja životne sredine ovog grada i okoline su pogoni Rudarsko-topioničarskog basena Bor u kojima se obavljaju: podzemne rudarske aktivnosti, otvaranje površinskih kopova i formiranje jalovišta, flotacija, prerada i topljenje rude. Posledično zagađenje grada i okoline gasovima, otpadnim vodama i prašinom veoma je izraženo. Iz ovih razloga Bor je proglašen za jednu od četiri 'vruće ekološke tačke', odnosno jedno od najzagađenijih područja u Srbiji (UNEP, 2004). Rudarske aktivnosti koje su na ovom području prisutne duže od jednog veka ostavile su teške posledice po životnu sredinu i obrazovale tehnogene tvorevine u vidu jalovišnog materijala koji danas zauzima preko 150 ha površine. Sanacija borskih jalovišta smatra se jednim od prioriteta u zaštiti životne sredine kako na lokalnom (LEAP, 2013) tako i na nacionalnom nivou (Sl. glasnik RS, 83/08; Službeni glasnik RS, br. 12/10).

Remedijacione tehnologije koje se primenjuju za sanaciju degradiranih područja u svetu brojne su i raznovrsne. Jalovišta otkrivke najčešće zauzimaju velike površine, što složenije tehnološke postupke njihove sanacije čini neekonomičnim i teško izvodljivim, pa se ređe razmatraju kao opcija. Biološka remedijacija, međutim, smatra se jednim od ekonomski, ali i ekološki najprihvatljivijih rešenja (Salt et al., 1998). Fitoremedijacija je prirodna tehnologija koja koristi biljke da ukloni, razgradi ili zadrži štetne hemijske materije koje se nalaze u različitim medijumima životne sredine (Pilipović i sar., 2002). Uprkos brojnim istraživanjima koja se poslednjih godina intenzivno sprovode, fitoremedijacija je još uvek biotehnologija u razvojnoj fazi. Za efektanu primenu i optimizaciju ove tehnologije na određenom području važna su

primenjena istraživanja, pa je iz tog razloga ova disertacija fokusirana na ciljano područje visokog stepena zagađenja na kome je moguće pratiti stepen i karakter usvajanja zagađujućih materija u biljna tkiva.

Petrološka, mineraloška i geohemijska karakterizacija rudničkog otpada obezbeđuju informacije o sastavu otkrivke i njenom hemijskom ponašanju, predstavljajući polaznu osnovu za utvrđivanje stepena ugroženosti životne sredine i prioriteta za sanaciju određene lokacije. Sa svoje strane, geobotanička i biogeohemijska karakterizacija upućuju na postojanje mineraloških diferencijacija i anomalija u podlozi, i daju okvir za odgovarajući obim i vrstu fitoremedijacije, kao specifičnog biotehnološkog rešenja za sanaciju rudničkog otpada. Utvrđivanje aplikativnih potencijala samoniklih, zeljastih biljnih vrsta koje se mogu koristiti u remedijaciji borskog područja i drugih područja sa sličnom problematikom, značajno je sa aspekta unapređenja kvaliteta njihove životne sredine. Utvrđivanje povezanosti prirode i vrste biljaka koje nastanjuju rudnička jalovišta i geohemijskog i mineraloškog karaktera podloge, od suštinske je važnosti za razumevanje procesa fitoremedijacije zasnovanog na korišćenju mehanizama adaptacije na stresogene uslove sredine koje su ove biljke razvile tokom vremena. Naime, samonikle biljne vrste prilagodile su se na uslove klime i podloge ovakvih staništa, što ih veoma često čini prvim izborom kod istraživanja za potrebe fitoremedijacije (Bachetta et al., 2013). Takve karakteristike samoniklih biljaka opredelile su i za njihovo ispitivanje u ovoj doktorskoj disertaciji.

Savremene tehnologije prerade teže što većem stepenu usavršavanja metoda ekstrakcije i iskorišćavanja ruda iz stenske mase, pri tome stvarajući prateće uslove da na različite načine ekstrahuju mnoge nusproizvode i ostatke rude iz nekadašnjih jalovinskih materijala. Vrše se raznovrsna istraživanja vezana za ekonomski isplativo izluživanje jalovišta, kao i korišćenje mikroorganizama i biljaka za ekstrakciju preostale rude. Pored ekonomske koristi, smanjena toksičnost tretirane jalovine omogućila bi i trajniju ekološku sanaciju degradiranog područja, a fitoremedijacija predstavlja upravo jedan od koraka ka postizanju ovog cilja.

U narednim podpoglavljima prikazan je detaljniji opis, definicija i istorijat geobotanike, biogeohemije i fitoremedijacije, kao osnovnih pojmova koji se pominju u ovoj disertaciji. Jedno podpoglavlje posvećeno je i pregledu dosadašnjih istraživanja vezanih za njihovu tematiku u svetu i u Srbiji. Prikazan je i poseban osvrt na

istraživanja kvaliteta životne sredine koja su do sada vršena na području Bora i njegove neposredne okoline.

1.1. Geobotanika i biogeochemija

Fizičko-hemijske osobine geološke podloge u kombinaciji sa orografskim, hidrološkim i hemijskim uslovima i osobinama zemljišta koja se na njoj formiraju određuju prisustvo i raznovrsnost biljnih organizama. Efekti geološke podloge na distribuciju vegetacije generalno se smatraju sekundarnim u odnosu na klimatske faktore (Kiedrzyński, 2014). U izvesnim slučajevima, međutim, geološka podloga može biti preovlađujući faktor u ekološkoj diferencijaciji, kao što je slučaj kod takozvanog 'serpentinitnog sindroma', gde se biljni pokrivač na ovoj geološkoj podlozi karakteriše specifičnom vegetacijom, prisustvom većeg broja endemita i karakterističnim morfološko-anatomskim promenama (Jenny, 1980). Hahm et al. (2014) izdvajaju nekoliko fizičko-hemijskih karakteristika matične stene koji mogu direktno ili indirektno delovati na rasprostranjenje vegetacije:

- koncentracija toksina, koja utiče na rast i pojavu biljnih vrsta;
- koncentracija minerala koji lako podležu procesima raspadanja, što može uticati na poroznost regolita;
- koncentracija minerala gline, koji utiču na zadržavanje nutrijenata i vode;
- koncentracija samih nutrijenata, koja može predstavljati limitirajući faktor za opstanak pojedinih vrsta;
- pojava i brojnost fraktura koje predstavljaju mesta za ukorenjavanje i utiču na pristupačnost vode i rastvorenih mineralnih materija.

Upotreba florističkih i vegetacijskih karakteristika u interpretaciji geoloških fenomena koncipirana je kroz metode geobotaničkih i biogeochemijskih istraživanja. Pojam 'geobotanika' definisan je u literaturi dvojako – kao biljna geografija, nauka koja se bavi rasprostranjenjem biljaka na Zemlji, i kao metod ispitivanja koji ima za cilj utvrđivanje veze između biljnog sveta i odgovarajuće geološke podloge. U potonjem značenju, geobotanički metodi su u prvom redu vizuelnog tipa i zasnivaju se na

interpretaciji biljnog pokrivača kroz detekciju morfoloških promena ili biljnih asocijacija tipičnih za određenu vrstu geološke podloge ili za rudne depozite u okviru različitih geoloških sredina (Brooks, 1988). U ovoj doktorskoj disertaciji pod terminom 'geobotanika' podrazumeva se upravo uočavanje veze između biljnih zajednica i odgovarajuće geološke podloge i njenog mineralnog sastava.

Koreni geobotanike datiraju još iz 5. veka p.n.e. u Kini, kada su tamošnji žitelji uočili vezu između vegetacije i pojave određenih minerala u podlozi (Temple, 1986). Krajem XIX veka ustanovljena je i pojava čitavih biljnih zajednica karakterističnih za pojedine vrste geološke podloge (Dunn, 2007). Zajednice ili one vrste biljaka čije prisustvo daje informaciju kojom se mogu interpretirati određeni geološki fenomeni predstavljaju svojevrstne geobotaničke indikatore (Canon, 1957; Brooks, 1987). Među najčešće proučavanima jesu biljni indikatori koji svojim prisustvom ili karakterističnim morfološkim izmenama ukazuju na prisustvo rudnih mineralizacija (Tiagi & Aery, 1982; Prasad, 2001; Ghaderian & Baker, 2007). Određeni broj autora geološke faktore i faktore zemljišta naziva objedinjenim imenom 'geoedafski faktor', ukazujući na njegov značajan uticaj na evolucione, fiziološke i ekološke aspekte u diferencijaciji biljnih vrsta (Cain, 1944; Kruckeberg, 2004; Rajakaruna, 2004).

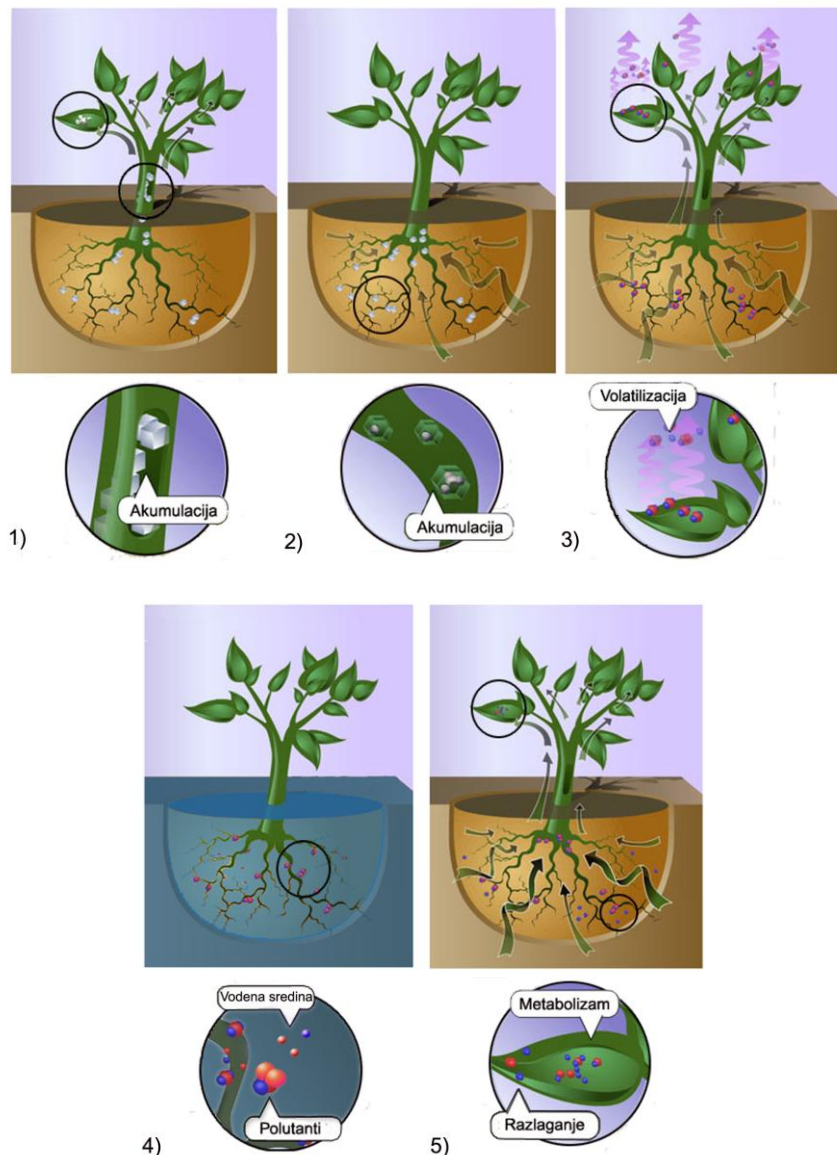
Biogeochemijska ispitivanja obuhvataju hemijske analize biljnog materijala sa određenih geoloških ili pedoloških jedinica. Biogeochemijske metode razvile su se tek u 40-tim godinama XX veka, sa pojavom odgovarajuće analitičke opreme pomoću koje je postalo moguće precizno utvrditi koncentracije hemijskih elemenata u biotama (Martin & Coughtrey, 1982). U biogeochemijske indikatore ubrajaju se one biljke na osnovu čijeg se sadržaja hemijskih elemenata u tkivima mogu utvrditi određene geochemijske anomalije u podlozi (Prasad, 2001). Ovi indikatori mogu biti univerzalnog ili lokalnog karaktera. Posebna pažnja posvećena je ispitivanju biljnih vrsta koje imaju potencijal za indicaciju rudnih mineralizacija u podlozi (Kovalevskii, 1972; Cole, 1973; Kelepertsis et al, 1985; Nagaraju & Karimulla, 2001; Leslie et al., 2013; Lintern, 2013; Ozdemir et al., 2014).

Kombinovana geobotanička i biogeochemijska ispitivanja prepoznata su kao preliminarne ili dopunske metode u prospekciji rudnih ležišta (Brooks, 1972). Potencijalni savremeni pravci razvoja biogeochemijskih ispitivanja su u oblasti primene hiperspektralnih snimaka u određivanju biogeochemijskih karakteristika vegetacije iznad

područja sa rudnim ležištima, kao i u oblasti daljeg razvoja biljne mineralogije - određivanja vrste i sadržaja minerala u biljkama (Dunn, 2007). Geobotanička ispitivanja takođe nalaze svoju primenu u savremenoj satelitskoj detekciji (Mouat et al., 1982; Morrisey et al., 1984). Tako Yueliang (2002) i Woolman (2013) ispituju mogućnost utvrđivanja geobotaničkih i biogeohemijskih anomalija iznad rudnih ležišta, dok Nemeth i Petho (2009) razmatraju upotrebu geobotaničkih metoda u geološkom mapiranju terena. Sposobnost biljnih vrsta da akumuliraju metale predstavlja osnov za njihovu upotrebu u biogeohemijskim ispitivanjima, ali i u razvoju različitih biotehnologija vezanih za monitoring i zaštitu životne sredine.

1.2. Fitoremedijacija

Upotreba biljaka u remedijaciji sredine datira iz prošlosti, ali je tek krajem 90-ih godina XX veka uobličena u biotehnologiju pod nazivom fitoremedijacija (Raskin, 1997). Fitoremedijacija (*φυτο* grč. – biljka, *remedium* lat. – lek) je tehnologija koja koristi biljke i njihove rizosferične mikroorganizme da ukloni, degradira ili zadrži štetne hemijske materije koje se nalaze u zemljištu, podzemnim i površinskim vodama i atmosferi (EPA, 2000). Na osnovu načina delovanja biljaka na polutante izdvaja se nekoliko različitih oblika fitoremedijacije: fitoekstrakcija, fitostabilizacija, fitovolatilizacija, fitodegradacija i fitofiltracija.



Slika 1: Šematski prikazi fitoremedijacionih mehanizama: 1) fitoekstrakcija, 2) fitostabilizacija, 3) fitovolatilizacija, 4) fitodegradacija, 5) fitofiltracija (preuzeto i modifikovano iz: <http://www.metrojacksonville.com/article/2010-jun-sunflowers-for-lead-spider-plants-for-arsenic#.VB9XLVeQvD4>)

Fitoekstrakcija (slika 1.1) podrazumeva usvajanje polutanata od strane biljnog korena i njihov transfer u nadzemne delove biljke (Yoon et al., 2006). Razvoju fitoekstrakcije kao koncepta doprineo je pronalazak većeg broja biljnih vrsta sposobnih da u svoje nadzemne delove akumuliraju visoke koncentracije hemijskih elemenata (Raskin, 1997). Translokacija u nadzemni deo je ključna za ovaj vid remedijacije zbog pratećeg uklanjanja - košenja nadzemnih delova biljke. Fitoekstrakcija je glavna i

najčešće ispitivana metoda fitoremedijacije, za koju je procenjeno da bi mogla imati komercijalnu primenu (Chaney et al., 2007). Efikasnost fitoekstrakcije zavisi od više faktora, poput koncentracije pristupačnih elemenata u zemljištu, fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta, specijacije metala u zemljištu i biljne vrste koja se koristi. Smatra se da biljke pogodne za ovu vrstu fitoremedijacije moraju zadovoljiti uslove da postižu visoku koncentraciju metala u nadzemnom delu i da proizvode značajnu količinu nadzemne biomase (Li et al., 2003; Hammer et al., 2003). Često je visok stepen usvajanja metala povezan sa supresijom rasta odnosno niskom produkcijom biomase, pa Chaney et al. (1997) diskutuju prednosti upotrebe biljaka hiperakumulatora sa niskom produkcijom biomase smatrajući da je kao takva lakša za rukovanje i odlaganje i da se njenim sagorevanjem i preradom mogu povratiti veće količine ekstrahovanih metala. Do sada je zabeleženo oko 400 vrsta biljaka hiperakumulatora, najčešće u okviru familija *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae*, i *Euphorbiaceae* (Prasad & Freitas, 2003). Divlje drvenaste, žbunaste i zeljaste vrste poseduju potencijal u fitoekstrakciji metala, dok se poljoprivredne kulture generalno smatraju neodgovarajućim za korišćenje u ove svrhe, zbog rizika od uključivanja metala u lance ishrane (Ali et al., 2013). U poslednje vreme, velika pažnja posvećena je ispitivanju potencijala autohtonih biljnih vrsta sa kontaminiranih područja, jer se one smatraju bolje adaptiranim na lokalne edafske uslove i uslove klime u kojima ostvaruju odgovarajući rast i razvoj (Smith & Bradshaw, 1979; Fernandez, 2011).

Fitostabilizacija predstavlja korišćenje biljaka za stabilizaciju zagađujućih materija u zemljištima (slika 1.2), sprečavajući njihovu dalju migraciju u podzemne vode ili lance ishrane. Biljke mogu da imobilizuju polutante sorpcijom od strane korena, precipitacijom ili kompleksacijom u rizosferi (Ali et al., 2013). Među biljkama tolerantnim na prisustvo metala naročito se ističu trave (Baker, 1981). Osnovna prednost ove vrste fitoremedijacije je ekonomičnost kao i vezivanje i stabilizacija podloge. Nedostatak metode je činjenica da zagađujuća materija ostaje *in situ*, pa naknadnim promenama u uslovima sredine može doći do promene njene rastvorljivosti ili ispiranja u dublje slojeve ispod korenovog sistema biljaka. Sa druge strane, smatra se da je fitostabilizacija trenutno realnija opcija za remedijaciju kontaminiranih lokacija, a jedna od poželjnih karakteristika za odabir vrsta koje bi se koristile u fitostabilizaciji je

tolerancija na veći broj različitih metala (Colzi et al., 2014). Primena fitostabilizacije u praksi stvara mogućnost za obnavljanje funkcija ekosistema i predstavlja jedan od savremenih pravaca u rekultivaciji rudničkih površina.

Fitovolatilizacija (slika 1.3) je proces usvajanja, transporta i oslobađanja zagađujućih materija, putem mehanizma transpiracije viših biljaka uz otpuštanje zagađujućih materija u istom ili modifikovanom obliku u atmosferu (EPA, 2000). Kada je u pitanju zagađeno zemljište neophodno je da ono ima određene osobine vezane za vodni režim kako bi se zagađujuća materija mogla usvojiti. Pošto se metoda zasniva na procesu transpiracije, svi činioci koji utiču na njegovo odvijanje kod biljaka (klimatski uslovi - temperatura, padavine, insolacija, vazdušni pritisak, vetar) utiču na efikasnost fitovolatilizacije. Ova tehnologija može se koristiti kod organskih polutanata ili određenih metala poput žive i selena, ali joj je upotreba ograničena usled činjenice da se zagađujuća materija ne uklanja u potpunosti, već se prenosi iz jednog medijuma (zemljište) u drugi (atmosfera), odakle može ponovo biti redeponovana (Sakakibara et al., 2007; Ali et al., 2013).

Fitodegradacija podrazumeva degradaciju zagađujućih materija putem metaboličkih procesa biljaka (slika 1.4), pri čemu se to razlaganje može odvijati unutar samih biljaka, u okolini biljke pod dejstvom njenih enzima ili izlučivanjem enzima u samo zemljište (EPA, 2000). Ova tehnologija ograničena je uglavnom na uklanjanje zagađujućih materija organskog porekla i sintetičkih herbicida i insekticida (Ali et al., 2013). Jedan od nedostataka metode je mogućnost obrazovanja toksičnih metabolita i međuproizvoda metabolizma prilikom procesa degradacije kontaminirajućih materija.

Fitofiltracija je tehnika remedijacije u vodenoj sredini, pri čemu se koristi metod apsorpcije polutanata od strane biljaka (slika 1.5). Usvajanjem polutanata sprečava se ili ograničava njihova dalja migracija u podzemne vode. Ispitivanja vezana za primenu fitofiltracije započela su sa korišćenjem konstruisanih akvatičnih sistema za prečišćavanje voda (Kadlee & Knight, 1996). Proces uključuje uzgajanje biljaka u hidroponicima i njihovo presađivanje u vode kontaminirane teškim metalima, da bi se po zasićenju biljke uklanjale. Biljke pogodne za ovu vrstu fitoremedijacije najčešće se odlikuju brzim rastom korenovog sistema (Dushenkov et al., 1995). Pored akvatičnih u fitofiltraciji često se koriste i terestrične biljne vrste gajene metodom vodene kulture.

Generalno, fitoremedijacija se smatra prirodnom i relativno jeftinom biotehnologijom, čijom se primenom mogu ostvariti i dodatne povoljnosti po životnu sredinu (smanjenje erozije, zaštita od buke, vetra, prašine, izvor biomase, nova staništa) (Gomes, 2012). Pored toga, ovaj proces ne zahteva dodatno ulaganje energije, jer se zasniva na fotosintezi kao pokretaču rasta, razvoja biljaka i obavljanja fitoremedijacije. Uspešnost primene zavisi od stepena i vrste zagađenja zemljišta, dostupnosti metala i sposobnosti odabranih biljnih vrsta da akumuliraju metale u svojim tkivima. Odabir biljne vrste koja će se primeniti u fitoremedijaciji je zato kritičan korak koji određuje uspešnost fitoremedijacije (Singh i Ward, 2004). Neka od osnovnih ograničenja tehnologije su stepen dostupnosti zagađujućih materija biljci kao i ograničenost dejstva na zonu rizosfere (EPA, 1999; Wenzel, 2009). Uspešna primena fitoremedijacije u praksi zahteva dodatna ispitivanja koja su često multidisciplinarnog karaktera. Savremena istraživanja kreću se u pravcu optimizacije fitoremedijacione tehnologije kroz: indukovanu fitoremedijaciju upotrebom helatnih ili drugih agenasa u svrhu povećanja mobilnosti metala u zemljištu (Romkens et al., 2002), usavršavanja procesa prerade uklonjene biomase (Lievens et al., 2008) i genetskog inženjeringa odnosno modifikacije regulacionih sistema biljke u smislu povećanja kapaciteta apsorpcije ili tolerancije na prisustvo određenih zagađujućih materija (Eapen & D'Souza, 2005).

1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Povezanost geološke podloge i živog sveta odavno je uočena. Temelje geobotanike postavio je ruski geolog i akademik Aleksandar Karpinsky (1841), koji je konstatovao vezu između određenih zajednica biljaka i geoloških formacija na kojima su nastale, dok je geolog Ososkov (1911) proučavao načine geoloških kartiranja na osnovu prirode distribucije biljnih zajednica. Baveći se problematikom indikacione geobotanike, Viktorov (1955) posebnu pažnju posvećuje upotrebi geobotaničkog metoda u geološkim i hidrogeološkim istraživanjima. Na mogućnost primene geobotaničkih i biogeohemijskih metoda u pronalaženju rudnih mineralizacija i ležišta ukazuju radovi hemičara Brooks (1972, 1995) i geohemičara Dunn (2007). Na

postojanje kompleksnih i višeznačnih veza geološke podloge i biljnog sveta u novije vreme podseća botaničar Kruckenberg (2007).

Razvoj relativno mlade interdisciplinarnе oblasti primenjenih biogeonauka, koja se temelji upravo na potrebi detaljnijeg izučavanja povezanosti žive i nežive prirode, naročito je važan za područja intenzivnih antropogenih dejstava i zagađenja životne sredine. Efekti zagađenja na biološke sisteme i njihova remedijacija jedni su od glavnih pravaca proučavanja u ovoj oblasti (Haferburg & Kothe, 2012). Među najdrastičnijim primerima antropogenog dejstva u predelu i pratećih negativnih posledica po životnu sredinu su rudnička jalovišta, nastala kao nusprodukt eksploatacije i prerade rude. Uvećan sadržaj polutanata i visok rizik od kontaminacije okolnih medijuma sredine zahtevaju iznalaženje efikasnih načina za sanaciju ovih površina. Iz ovog razloga, jalovišta ruda intenzivno su proučavana sa stanovišta različitih naučnih disciplina. Karakterizaciju, načine tretmana i uticaj na životnu sredinu različitih vrsta jalovišta nastalih savremenim rudarenjem objedinio je i prikazao Lottermoser (2003). Razvoj tolerancije biljaka na prisustvo teških metala i vegetaciju jalovišta metaličnih ruda, kao i metode i efekte biološke rekultivacije rudničkih jalovišta sistematski je, pored drugih autora, proučavao i Bradshaw (1965, 1978, 1985, 1989, 1991). Pojam fitoremedijacije vezuje se za biotehnologa Raskin koji je, na bazi ruskih geobotaničkih proučavanja, krajem XX veka postavio temelje ovoj biotehnologiji. Istraživanja biljaka hiperakumulatora, sposobnih da usvajaju visok sadržaj metala u svojoj biomasi, među prvima opsežno sprovode Baker (1989, 1991, 2000) i Reeves (1992, 2001, 2005). Proučavanje fitoremedijacionih tehnologija kao i samih mehanizama hiperakumulacije u biljkama, ali i inovativnih metoda za optimizaciju ovog procesa u današnje vreme vrše istraživači različitih oblasti proučavanja, kako fundamentalnih, tako i primenjenih.

Opšta geobotanička istraživanja u Srbiji sprovedena su do sada u relativno ograničenom obimu, zadržavajući se uglavnom na izučavanju specifičnosti flore i vegetacije serpentinitskih područja, čije osnove postavlja Pančić (1859). Imajući u vidu da se najveći serpentinitiski masivi u Evropi nalaze upravo na Balkanskom poluostrvu, obimnija istraživanja fenomena flore i vegetacije serpentinita na ovom području započinju u XIX veku (Stevanović et al., 2003). Pavlović (1962) navodi karakteristične elemente serpentinske flore Srbije, uočavajući vezu između fitogeografskog svojstva vrsta i karaktera podloge na području Zapadne Srbije. Sličan pristup primenjuju Tatić i

Veljović (1992), posvećujući veliku pažnju hemijskim osobinama zemljišta na kojima se razvijaju obligatne serpentinitofite. Fitocenološka istraživanja serpentinitičkih područja u Srbiji vršili su, između ostalih, i Blečić et al. (1969), Randelović i Ružić (1983), Jovanović et al. (1992), Kabaš et al. (2013). Istorijski pregled proučavanja flore i vegetacije na serpentinitima u Srbiji prikazali su Vasić i Diklić (2001). Biogeohehemijska proučavanja vezana za analize samoniklih biljaka na određenom geološkom supstratu i prirodno obrazovanim zemljištima u Srbiji su praktično u svom začetku. Tako sadržaje teških metala u zemljištima i u odabranim vrstama sa serpentinitičkih staništa u Srbiji proučavaju Dudić i sar. (2007), Obratov-Petković i sar. (2008), Branković i sar. (2013), Tumi i sar. (2012), Tomović i sar. (2013) i Vicić i sar. (2014).

Nešto bolji stepen proučenosti u Srbiji pokazuju antropogeno modifikovana područja, najčešće u većim industrijskim centrima i okolini rudničkih postrojenja. Kada se uzme u obzir da se veliki rudnički baseni u Srbiji nalaze u neposrednoj blizini naseljenih mesta (Lazarevac, Kostolac, Majdanpek, Bor) izučavanje problematike njihove sanacije dobija na važnosti, a sama istraživanja bivaju usmerena u više pravaca. Jedan od njih vezan je za rekultivaciju zemljišta, koja se po pravilu sprovodi radi ponovnog formiranja zemljišnog sloja i uspostavljanja biljnih zajednica na površinama na kojima je vršena eksploatacija mineralnih sirovina ili su delovali drugi snažniji antropogeni uticaji. Drugi pravac je vezan za remedijaciju ovih područja, koja se sprovodi u slučaju kada zagađenje zemljišta na određenom prostoru prevazilazi koncentracije opasnih i štetnih materija iznad propisanih remedijacionih vrednosti. U pojedinim slučajevima ove dve vrste biotehnoških intervencija u predelu mogu se delimično preklapati ili slediti jedna iz druge, u zavisnosti od karaktera biljnih vrsta koje čine njihovu osnovu.

Istraživanja procesa biološke rekultivacije, utvrđivanje njenih efekata i procesa sukcesija na području pojedinih rudničkih basena vršili su kroz doktorske disertacije, magistarske teze i stručne studije istraživači različitih profila. Problematika spontane kolonizacije biljnog sveta odnosno revitalizacije proučavana je u Srbiji na pepelištima i jalovinama u Kostolcu (Đorđević-Miloradović, 1998), Kolubarskom basenu (Dražić, 2002), kao i na deponijama pepela u Obrenovcu (Kostić, 2004). Ilić i sar. (2002), dajući pregled istraživanja procesa spontane i usmerene revitalizacije i rekultivacije deponija rudničke jalovine kao i pepela iz termoelektrana kod nas i u svetu, navode da se stepen

istraženosti sastava, strukture i dinamike (sukcesije) fitocenoza na ovim površinama u Srbiji ne može okarakterisati kao zadovoljavajući.

Dorđević-Miloradović (1998) istražuje populacionu dinamiku biljaka u procesu primarne sukcesije vegetacije na deponijama pepela termoelektrane `Kostolac`, na teritoriji kostolačkog basena uglja. Autor zaključuje da populacije vrba i topola imaju dominantnu poziciju na ovim prostorima određujući pravac sukcesije sposobnošću njihovih jedinki da tokom sezone rasta povećavaju produkciju biomase u količinama koje su neuporedivo veće od količina biomase u populacijama sa drugačijim životnim ciklusom. Dražić (1998) u svojoj doktorskoj disertaciji navodi rezultate biološke rekultivacije površinskih kopova kolubarskog basena, razmatrajući istovremeno njihovu upotrebnu vrednost. Miletić (2004) je ispitivao razvoj zemljišta kao posledicu rekultivacije različitim drvenastim vrstama u kolubarskom basenu uglja, i konstatovao da su najpovoljnije efekte na revitalizaciju deposola na ovom prostoru ostvarili lipa i bagrem, koji produkuju najveću količinu organske materije u odnosu na druge ispitivane vrste. Autor zaključuje da bi na revitalizaciju ovih deposola znatno bolje uticale mešovite kulture lišćara i četinarara od monokultura. Kostić i sar. (2012) proučavaju potencijal nekoliko drvenastih vrsta u rekultivaciji pepelišta termoelektrane u Obrenovcu. Autori ovih radova su kroz rezultate svojih istraživanja posredno ili neposredno ukazivali na odgovarajuće biljne vrste koje se mogu koristiti u daljoj rekultivaciji antropogeno modifikovanih područja. Status pogodnih vrste su sticale na osnovu određenih parametara razvoja ili uticaja koje su ostvarile na istraživane lokalitete.

Savremena istraživanja usmerena su i na proučavanje otpornosti biljnih vrsta prema povišenim koncentracijama metala, imajući u vidu da kontaminacija životne sredine ovim elementima predstavlja rastući ekološki problem. Ispitivanja mogućnosti korišćenja klonova topola u svrhu fitoremedijacije teških metala koje je vršila Nikolić (2009) bila su orijentisana na morfološke, anatomske i fiziološke promene ovih biljaka u slučaju povećanja koncentracije metala u podlozi. Rezultati su ukazali na postojanje genetske specifičnosti ispitivanih parametara, kao i na izraženu međuklonsku varijabilnost u prisustvu ispitivanih metala. Istraživanje je izdvojilo pojedine klonove koji imaju potencijal za dalje korišćenje u fitoremedijaciji. Pajević i sar. (2009) ispituju kapacitet klonova topola i vrba za fitoremedijaciju u odnosu na njihove fotosintetičke

karakteristike. Kebert (2014) daje biohemijsku i fiziološku karakterizaciju klonova topole, poredeći njihove sposobnosti da vrše fitoekstrakciju bakra, nikla i kadmijuma iz zemljišta, ali i njihove biološke odgovore na uticaj različitih koncentracija ovih elemenata.

Smiljanić i sar. (2010) diskutuju upotrebu autohtonih biljnih vrsta u fitoremedijaciji zemljišta narušenih ekosistema Srbije, konstatujući potrebu da se intenziviraju naporu u okviru istraživanja adaptivnih sposobnosti autohtonih vrsta vaskularne flore na nacionalnom nivou, čime bi se stvorila ekološki stabilna osnova za revitalizaciju zemljišta kao prirodnog resursa. Potencijal autohtonih vrsta u revegetaciji pepelišta termoelektrane u Obrenovcu proučavali su Mitrović i sar. (2008). Ekofiziološke adaptacije odabranih zeljastih biljaka na deponijama pepela termoelektrane 'Nikola Tesla A' u Obrenovcu proučavala je Gajić (2014), koja je konstatovala da spontano kolonizovane vrste poseduju različite ekofiziološke i biohemijske mehanizme tolerancije povišenih koncentracija metala u pepelu, što ih čini pogodnim kandidatima za revitalizaciju pepelišta.

1.3.1. Pregled dosadašnjih istraživanja na području Bora

Otkriću Borskog ležišta bakra prethodila su određena geološka ispitivanja. Iako su istraživanja borskog ležišta bila intenzivna, nisu ih uvek pratila i odgovarajuća ispitivanja sredine u kojoj je mineralizacija deponovana, što je rezultiralo obiljem nerešenih geoloških i geohemijskih pitanja. Detaljnu geološko-petrološku studiju šire okoline Rudnika Bor u svojoj doktorskoj disertaciji prikazao je Drovenik (1961), opisujući pritom petrohemijske karakteristike vulkanita, vulkanogeno-sedimentnih i sedimentnih stena borskog ležišta. Studiju okolorudnih alteracija u istražnom prostoru rudnika Bor dali su Karamata i sar. (1978). Banješević (2006) prilikom proučavanja gornjekrednog magmatizma u Timočkom magmatskom kompleksu i borskoj metalogenetskoj zoni sistematizuje dosadašnja geološka proučavanja, prilažući dodatne rezultate geohronoloških analiza kao i hemijsku klasifikaciju stena ovog magmatskog kompleksa na osnovu savremenih metoda proučavanja u petrologiji. Detaljnijem

poznavanju karakteristika rudnih minerala u borskoj metalogenetskoj zoni doprineli su Pačevski (2009) i Cvetković i sar. (2013).

Eksploatacija mineralnih sirovina u Boru rezultovala je formiranjem jalovišta velike površine čija je tehnička i biološka sanacija izvršena tek parcijalno i nepotpuno, što je uslovalo pojavu i širenje kontaminacije u okolne medijume životne sredine. Karakterizacija flotacijske jalovine u Boru putem definisanja osnovnih fizičko-hemijskih parametara, distribucije i izluživanja metala vršena je u novije vreme od strane nekolicine autora (Stevanović, 2012; Jonović i sar., 2013; Bugarin i sar., 2013).

Narušeno stanje životne sredine u Boru bilo je predmet brojnih studija i izveštaja, koji datiraju još iz 1908. godine (Anonymous, 1983), nedugo nakon samog početka eksploatacije bakarne rude. U njima se ukazivalo pre svega na visok stepen aerozagađenja iz obližnjih postrojenja za preradu rude i njegove razorne posledice po okolinu. Istraživanja za potrebe Rudarsko-topioničarskog basena Bor sprovedili su Institut za vodoprivredu (1952, 1954) i Centar za poljoprivredna istraživanja u Zaječaru (1991) a ona su se pretežno odnosila na ugroženost poljoprivrednih površina, ublažavanje šteta nastalih emisijama iz rudničkih postrojenja i iznalaženje pogodnih načina melioracije oštećenih zemljišta. Sadašnje pedološke odlike tehnosola formiranih na flotacijskim jalovištima i delu jalovinske otkrivke u Boru prikazali su Lilić i sar. (2014), koji su ukazali na generalno visok sadržaj krupnih zemljišnih frakcija, narušenu strukturu, nizak sadržaj humusa, nisku pH vrednost, visok sadržaj bakra i arsena, kao i slabu mikrobiološku aktivnost ovih tehnosola.

Uporedo sa ispitivanjima uticaja rudnika na zemljište vršena su i ispitivanja dejstva pratećeg zagađenja na biljni svet u Boru i okolini. Prva detaljnija istraživanja biljnog sveta na borskom području sprovedena su tridesetih godina XX veka (Anonymous, 1983) i odnosila su se na stanje poljoprivrednih površina u neposrednoj okolini rudnika. Na samim jalovištima rudnika bakra u Boru Mihailović i Krstić (1964) su vršili ogled u cilju iznalaženja najpogodnijih vrsta trava za vezivanje strmih i erodiranih terena. Randelović (2010) je ispitivala uticaj sredine na razvoj bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.), vrste kojom su vršena ozelenjavanja na području borskih flotacijskih i jalovišta otkrivke. Istraživanja su kombinovala pedološki, mikrobiološki i fitocenološki pristup, uz utvrđivanje dejstva kompleksnih faktora sredine na visinski i debljinski prirast ispitivane vrste. Autor zaključuje da je na području borskih jalovišta

ova introdukovana vrsta ostvarila melioratorsku ulogu putem fizičko-hemijskog dejstva na karakteristike supstrata, pokretanja mikrobioloških procesa u supstratu i podržavanja spontanog naseljavanja autohtone flore. Pored ovog, autor utvrđuje prisustvo 105 samoniklih vrsta vaskularnih biljaka na poljima jalovišta rekultivisanih bagremom. Daljim istraživanjima Randelović i sar. (2014) kvantifikuju vezu između edafskih faktora i razvoja vegetacije na rekultivisanim i nerektivisanim delovima borskih jalovišta, sugerišući da tip stene i tekstura podloge mogu biti korišćeni u daljem utvrđivanju potencijala za remedijaciju i rekultivaciju borskih jalovišta, dok se najuspešnije životne forme biljaka mogu primeniti u budućim biotehnoškim programima na ovom području.

Novije studije kvaliteta životne sredine u Boru (UNEP, 2004, Agencija za privatizaciju Republike Srbije, 2006) vezane su za proces ublažavanja istorijskog zagađenja u području borskog basena i stoga su orijentisane ka što preciznijim procenama stanja životne sredine i nalaženju kombinovanih načina sanacija trenutnog stanja rudničkih površina i njihove neposredne okoline. Geohemijske osobnosti zemljišta i tavanaške prašine, njihove prirodne i antropogene geohemijske asocijacije u Boru i neposrednoj okolini kao posledicu višegodišnjeg zagađenja proučavaju Šajn i sar. (2014).

Istraživanja Stevanović (2012) vezana za luženje teških metala iz borske flotacijske jalovine i njihovu disperziju u okolno zemljište i biljni svet ukazuju na to da biljne vrste sa flotacijskog jalovišta usvajaju i akumuliraju teške metale u korenu, stablu i listu. Pri tome se najveće zabeležene koncentracije u biljnom tkivu odnose na bakar, cink i arsen. Autor navodi da na području flotacijske jalovine nije pronađena izrazita veza između lokacije biljke i koncentracije jona teških metala, što ukazuje na postojanje difuzije metala iz flotacijske jalovine u okolne medijume sredine, kao i na njihovu rastvorljivost i bioakumulaciju od strane biota. Procese mobilnosti polutanata, njihov uticaj na kvalitet i produktivnost poljoprivrednih zemljišta i kultura, kao i procese spontane revegetacije degradiranih površina u dolini reke Timok, nastale kao posledice akcidentnog izlivanja flotacijske jalovine iz Borskih rudnika proučavala je Nikolić (2013). Ona zaključuje da pionirska šumska vegetacija na ovom području uspešno stabilizuje značajne količine bakra u podlozi, smanjujući rizik od dalje degradacije i širenja zagađenja.

Biljne zajednice predstavljaju svojevrzne indikatore kompleksa ekoloških faktora koji deluju na određenom staništu, pa proučavanje zakonitosti u ekološkom zoniranju i sukcesivnom razvoju spontane vegetacije, direktno uslovljenom vrstom i intenzitetom antropogenog delovanja, pruža mogućnost njenog korišćenja kao biološkog indikatora kvaliteta životne sredine u industrijskim naseljima (Jovanović i sar., 1990). Istraživanja Popović i Stefanović (1989) o uticaju aerozagađenja na vegetaciju otkrivaju visok sadržaj olova i bakra u tkivima određenih drvenastih vrsta na području naselja i industrijske zone Bora i značajne razlike koncentracija između ispitivanih vrsta. Koncentraciju teških metala u biljnom materijalu iz neposredne blizine borskih jalovišta ispitivali su Milutinović i sar. (2001), koji su utvrdili da sadržaj bakra u ispitivanim vrstama prelazi granice fitotoksičnosti. Ispitivanja briofita na području Bora i okoline (Radnović i sar., 2004), potvrdila su da pored bakra (čija srednja vrednost koncentracije u mahovinama predstavlja najvišu zabeleženu vrednost u Evropi) visoke vrednosti atmosferske depozicije u ovoj grupi organizama pokazuju i selen, arsen, olovo, kadmijum, cink, zlato, srebro, molibden i antimon. Sa druge strane, Arandelović (2013) ukazuje na pojedine autohtone vrste koje podnose uslove životne sredine u Boru i koje bi se mogle koristiti u daljem ozelenjavanju na teritoriji grada i okoline.

U novije vreme, mogućnosti primene biotehnologija u sanaciji zagađenja na području Bora dobijaju na većem značaju, pa se sprovode i početna istraživanja potencijala biljnih vrsta u remedijaciji kontaminiranih zemljišta. Tako Marić i sar. (2006) ispituju mogućnost fitoremedijacije zemljišta oštećenih nanosima piritne jalovine u blizini Rudnika bakra u Boru na ukupno 9 vrsta trava i to u odnosu na sadržaj bakra i gvožđa u biljnom tkivu, konstatujući potencijal dve vrste u akumulaciji metala na ovom području. Marić i sar. (2013) ispituju i potencijal 17 samoniklih i gajenih vrsta na lokacijama u neposrednoj okolini površinskog kopa Bor u hiperakumulaciji olova, bakra i gvožđa. Ovi autori konstatuju da sve uzorkovane vrste u izvesnoj meri akumuliraju ispitivane elemente i da se mogu primeniti u fitoremedijaciji na području Bora.

Pregled istraživanja stanja životne sredine u Boru i okolini pokazuje da je ono bilo predmet mnogih studija, kao i da u novije vreme raste broj istraživanja vezanih za biljni svet ovog područja. Ipak, dosadašnja istraživanja ovog tipa na području Bora su

uglavnom fragmentarna pa se i dalje javlja pregršt neistraženih tema. Zbog kompleksnosti samog područja i karaktera površina zahvaćenih antropogenim uticajima, kao i postojanja višestrukih izvora zagađenja, izražena je snažna potreba za osmišljenim multidisciplinarnim pristupom i iznalaženjem kombinovanih ekoloških i biotehničkih rešenja u sanaciji posledica po životnu sredinu.

2. PREDMET, ZNAČAJ I CILJ ISTRAŽIVANJA

Dosadašnja istraživanja sprovedena na jalovištima rudnika ukazuju da postoji dosta nepoznanica vezanih za razumevanje odnosa hemijskog i mineraloškog sastava podloge, načina razlaganja stenskog materijala, mehanizma spontane kolonizacije otpornih biljnih vrsta i ekologije njihove vegetacije. Iz toga jasno sledi da problematika saniranja takvih prostora zahteva složenija proučavanja i primenu inter- i multidisciplinarnih istraživanja.

Do sada nisu vršena naučna istraživanja vezana za izbor samoniklih zeljastih biljnih vrsta pogodnih za remedijaciju borskih odlagališta otkrivke, a smatrajući da ova problematika zaslužuje posebno izučavanje, za predmet istraživanja izabrano je geobotaničko i biogeochemijsko ispitivanje samoniklih vrsta na području odlagališta otkrivke u Boru. Subjekat istraživanja su samonikle ruderalne biljne vrste i geološka podloga na kojoj se razvijaju, dok objekat istraživanja predstavljaju jalovišta otkrivke borskog rudničkog kopa. Jalovišta otkrivke pripadaju basenu rudnika bakra Bor u istočnoj Srbiji. Zauzimaju površinu od preko 150 ha i formirana su dugotrajnim neselektivnim odlaganjem otkopane stenske mase. Smeštena su u perifernoj zoni gradskog naselja Bor i predstavljaju snažan izvor zagađenja čitavog područja prašinom, dok prirodno luženje koje sa njih vrše atmosferilije ugrožava okolno zemljište i vodotokove. Postupak sanacije odnosno ublažavanja dugogodišnjeg, takozvanog 'istorijskog zagađenja' na području Bora predstavlja aktuelan ekološki problem. Mogućnost biološke rekultivacije ovog područja i problem izbora adekvatnih biljnih vrsta u tu svrhu u nekoliko navrata je tretiran, ali mogućnost njihove fitoremedijacije i izbor vrsta koje bi se pri tome mogle koristiti tek odnedavno dobija na značaju.

Osnovni naučni cilj ovog istraživanja je da se detaljno istraži stepen i karakter povezanosti mineraloškog i geohemijskog sastava geološke podloge odnosno deposola borskog jalovišta, i vrste i karaktera prisutne samonikle flore. Na osnovu detaljnog poznavanja ove povezanosti, kao i na bazi rezultata uporedne biogeochemijske analize prisustva teških metala u geološkoj podlozi, deposolu i biomasi odabranih vrsta, vrši se procena potencijala biljnih vrsta u fitoremedijaciji jalovišta u Boru. Zbog složenosti same problematike, kao savremen i poželjan u bioremedijacionoj praksi izabran je

multidisciplinarni pristup kroz koji se putem proučavanja više komponenti ovih inicijalnih ekosistema utvrđuje njihova međusobna povezanost.

Istraživanje je zasnovano na hipotezi da je moguće izvršiti fitoremedijaciju jalovišta rudnika bakra u Boru. Polazni elementi te hipoteze su:

- da su određene kategorije stena - litološke podloge sa odlagališta otkrivke u Boru pogodne za naseljavanje od strane biljnog sveta
- da postoji uzročna veza između tipa litologije, pratećeg deposola kao njenog direktnog derivata i karaktera biljnih formacija koje ih naseljavaju
- da pojedine samonikle biljne vrste unutar ovih formacija poseduju potencijal za remedijaciju borske otkrivke
- da ove vrste poseduju osobine koje ih kandiduju za dalje uspešno korišćenje u procesima fitoremedijacije ispitivanog područja.

Kao ciljevi ovog istraživanja definisani su:

- utvrđivanje prisustva samoniklih ruderalnih vrsta autohtone flore na prostoru odlagališta rudničke otkrivke u Boru i njihova ekološka, fitogeografska i vegetacijska analiza
- geohemijska i mineraloška karakterizacija podloge
- uporedna biogeohemijska ispitivanja podloge i biljnog materijala odabranih vrsta
- utvrđivanje povezanosti postojećih geohemijskih procesa razlaganja podloge i prateće florističko – vegetacijske situacije
- izbor potencijalnih kandidata za fitoremedijaciju borskih jalovišta otkrivke.

Predmet ove doktorske disertacije generalno pripada oblasti zaštite i unapređenja životne sredine, koja predstavlja jedan od nacionalnih prioriteta u domenu nauke i tehnologije u Srbiji. Ispitivanje načina na koji najzastupljenije samonikle biljne vrste reaguju na prisustvo pojedinih hemijskih elemenata u podlozi, kao i izdvajanje odgovarajućih vegetacijskih stadijuma u okviru kojih se one razvijaju, značajno je i kao naučni doprinos nastojanju da se daljim usavršavanjem i primenom biotehnologije

poboljša kvalitet životne sredine industrijskih područja. Istraživanja sprovedena u okviru ove disertacije pokazuju da se ovaj savremeni remedijacioni pristup može prilagoditi našem podneblju i vrsti geološke podloge. Disertacija, pored toga, ima za cilj davanje doprinosa utvrđivanju sposobnosti autohtonih vrsta biljaka za remedijaciju, čime se na nacionalnom nivou stvara ekološka osnova za revitalizaciju zemljišta kao prirodnog resursa. Istraživanja mogućnosti za primenu fitoremedijacije na jednom od najzagađenijih područja u Srbiji posebno su značajna sa aspekta unapređenja kvaliteta životne sredine kako u lokalnim tako i u nacionalnim okvirima.

3. MATERIJAL I METODE

Ispitivano područje nalazi se u suburbanom delu gradskog naselja Bor u istočnoj Srbiji ($44^{\circ}04'25''$ N, $22^{\circ}05'26''$ E, slika 2). Prostire se na površini od oko 150 ha, sa rasponom nadmorskih visina od 335-475m. Nastalo je kao posledica otkopavanja bakarne rude iz ležišta Tilva Roš u periodu od 1912-1988 godine. Ovo područje bilo je predmet sporadičnih pokušaja biološke rekultivacije krajem sedamdesetih i tokom osamdesetih godina prošlog veka, čiji su ostaci danas prisutni u vidu pretežno izolovanih šumaraka. Na području odlagališta otkrivke pojavljuju se sporadično i delovi pod samoniklom vegetacijom, relativno proređenom i na manjim površinama. Veliki deo površine jalovišta je neobrastao, što je naročito slučaj sa kosinama jalovišta na kojima su prisutni tragovi erozije u vidu dubokih brazda i jaruga. Neujednačena distribucija različitih tipova stena i vrsta biljaka koje ih obrastaju uslovljena je neselektivnim odlaganjem otkrivke pri formiranju ovih jalovišta. U ovom istraživanju analizirano je ukupno 43 polja. Pod poljem uzorkovanja ovde se podrazumeva petrološki relativno homogena podloga obrasla samoniklim zeljastim biljkama, koja obuhvata najmanje površinu minimum areala za uzimanje fitocenološkog snimka.



Slika 2: Prikaz područja istraživanja: odlagalište

otkrivke na obodu gradskog naselja Bor
(preuzeto sa: <http://www.google.com/earth/>)

3.1. Prikupljanje i mineraloško-petrološka obrada podataka o stenama

Sa polja uzorkovanja uziman je reprezentativni primerak stene ili sedimenta. Sediment je prikupljan na dubini od 20-40 cm, ispod rizosfernog sloja deposola. Mineraloška i petrološka analiza ispitivanih uzoraka obuhvatila je makroskopski pregled uzoraka stena, izradu i pregled pokrivenih i nepokrivenih petroloških i rudnomikroskopskih preparata, kao i analizu pojedinih preparata skenirajućom elektronskom mikroskopijom sa energetske-disperzivnim spektrometrom (SEM-EDS). SEM-EDS analiza, izvršena u Laboratoriji za skenirajuću elektronsku mikroskopiju sa energetske-disperzivnim spektrometrom Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, rađena je između ostalog i radi određivanja minerala koji ne mogu biti pouzdano određeni petrografskim mikroskopskim ili rudnomikroskopskim ispitivanjem zbog njihove male zastupljenosti u uzorku, suviše male velične zrna ili nedovoljno karakterističnih optičkih osobina. Semikvantitativne mineraloške analize na sitnozrnom materijalu nevezanih sedimenta urađene su rendgenskom difrakcijom (XRD) na polikristalnom materijalu koristeći metodu prema Rietveld (1969).

3.2. Prikupljanje i obrada podataka o deposolu

Prikupljanje kompozitnih uzoraka deposola za detaljna laboratorijska ispitivanja izvršeno je u narušenom stanju iz zone rizosfere uzorkovanih biljaka na fiksnoj dubini 0-20 cm. Ukupno 67 kompozitnih uzoraka deposola uzeto je sa 43 polja.

U okviru ispitivanja uzoraka deposola borskog odlagališta izvršeno je određivanje granulometrijskog sastava 'sitne zemlje', odnosno frakcije manje od 2 mm kombinovanom metodom prosejavanja i sedimentacije. Najpre je vršeno fracionisanje pomoću sita za izdvajanje frakcija peska, dok je za izdvajanje sitnijih frakcija korišćena metoda sedimentacije u vodi, gde je pipet B metodom određivan sadržaj praha i gline.

Za podelu čestica po veličini korišćene su granične vrednosti po Attenberg (1908), i to za pesak 0.02-2 mm, prah 0.02-0.002 mm i glinu < 0.002 mm (Knežević i Košanin, 2007). Prilikom laboratorijskih ispitivanja uzoraka deposola borskog odlagališta, sprovedenih u laboratoriji Instituta za primenu nuklearne energije (INEP) u Beogradu, izvršene su sledeće hemijske analize:

- Određivanje ukupnog azota u zemljištu po modifikovanoj metodi Kjeidahl, po Internacionalnom standardu ISO 11261 (1995)
- Određivanje lakopristupačnih oblika fosfora i kalijuma AL-metodom (Egner et al., 1960), gde se dobija vrednost P_2O_5 i K_2O u mg/100g zemljišta
- Određivanje sadržaja organskog ugljenika u zemljištu metodom po Tjurinu (1965), izraženog kao procenat humusa odnosno organske materije
- Određivanje pristupačnog Ca i Mg u zemljištu (prema Van Reeuwijk, 2002)
- Određivanje sume adsorbovanih baznih katjona metodom po Kappen (S, mekv/100 gr zemljišta)
- Određivanje aktivne i supstitucione kiselosti (pH u H_2O i pH u KCl, u odnosu 1:2.5) elektrometrijski pomoću pH-metra, prema Internacionalnom standardu ISO 10390 (1994)
- Određivanje hidrolitičke kiselosti zemljišta po Kappen (1929), u meq H^+ jona/100 g zemljišta
- Kapacitet razmenjivih katjona (CEC) određen je empirijski kao zbir hidrolitičke kiselosti i sume adsorbovanih baznih katjona (meq /100 g zemljišta)
- Određivanje oksido-redukcionog potencijala (Eh) vršeno je Iskra MA 5730 pH-metrom sa platinastom elektrodom, dok je kao referentna korišćena kalomelova elektroda (0.241 mV at 25 °C).
- Određivanje elektičnog konduktiviteta (EC) vršeno je električnim koduktometrom CyberScan con 110 u vodenom rastvoru zemljišta u odnosu 1:2.5.

3.3. Prikupljanje i obrada podataka o flori i vegetaciji područja

U okviru geobotaničkih ispitivanja samoniklo obraslih delova borskog odlagališta otkrivke tokom jula 2011. godine izvršeno je fitocenološko snimanje odabranih površina po metodologiji Braun-Blanquet (1964), korišćenjem kombinovane sedmostepene skale za ocenu brojnosti i pokrovnosti pojedinačnih biljnih vrsta. Primerci popisanog biljnog materijala su sakupljeni, obeleženi i determinisani. Herbarijumska zbirka uzorkovanih primeraka deponovana je u Institutu za botaniku Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu (BEOU). Identifikacija biljaka je obavljena u skladu sa standardnom botaničkom literaturom, dok je nomenklatura, sa manjim izuzecima, usklađena prema Flora Europaea (Tutin et al. 2001).

Florni elementi biljnih vrsta određeni su, uz manje izmene, prema principima podele Meusel et al. (1965, 1978) dok su za adventivne i kosmopolitske vrste njihovi izvorni areali posebno određeni. Klasifikacija flornih elemenata u osnovne areal grupe i tipove izvršena je po formacionom principu florističko – vegetacijske biljnogeografske rejonizacije Srbije (prema Jovanović, 1994). Životne forme biljaka određene su prema Ellenberg i Mueller-Dambois (1967). Sintaksonomska pripadnost vrsta odnosno njihova vegetacijska preferenca određena je prema Kojić i sar. (1997). Bioindikatorske vrednosti odnosno ekološki indeksi biljnih vrsta i njihove indikatorske vrednosti prikazani su i analizirani prema podeli koju daje Borhidi (1995). Srednje indikatorske vrednosti pojedinačnih cenoza za navedene faktore sredine izračunate su na osnovu metodologije koju su prikazali Kojić i sar. (1997).

Sa 43 polja prikupljeno je ukupno 67 kompozitnih uzoraka biljnog materijala za biogeoheмиjske analize u okviru 10 biljnih vrsta za koje je utvrđeno da na samoniko obraslim delovima borskog jalovišta otkrivke poseduju najveću brojnost i pokrovnost.

3.4. Analiza hemijskih elemenata u stenama, deposolu i biljnom materijalu

Odlomci skeleta (odlomci stena frakcije > 2 mm) iz zone rizosfere usitnjeni su u ahatnom mlinu i na njima su sprovedene hemijske analize glavnih oksida, elemenata u tragovima i elemenata iz grupe retkih zemalja u Acme Analytical Laboratories, Kanada. Razlaganje uzoraka izvršeno je litijum-boratom. Glavni elementi određeni su metodom emisije spektrometrije sa indukovano spregnutom plazmom (ICP-ES), dok su elementi u tragovima i elementi retkih zemalja određeni metodom indukovano spregnutne plazma-masene spektrometrije (ICP-MS). Određivanje gubitka žarenjem vršeno je na 1000°C , dok su ukupan sumpor i organski ugljenik određivani Leco instrumentima.

Od stenskih uzoraka predviđenih za analizu pripremljeni su mikroskopski preparati impregnisanjem i utapanjem uzoraka u epoksidnu smolu, brušenjem silicijum-karbidom različitih granulacija (400, 800 i 1200 meša) i poliranjem dijamantskim pastama (granulacija 9, 6, 3 i 1 μm). Uzorak je naparen slojem grafita debljine 15 nm na uređaju Leica EM SCD005. Preparati su ispitivani u Laboratoriji za skenirajuću elektronsku mikroskopiju sa energetske-disperzivnim spektrometrom Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM), model JEOL JSM-6610LV, povezanim sa energetske-disperzivnim spektrometrom (EDS), model Oxford Instruments X-Max SDD 20 mm^2 , u uslovima visokog vakuuma. Merenja su izvršena koristeći volframsku katodu kao izvor elektrona, pri naponu od 20 kV, jačini struje elektronskog snopa od 0,7 nA i u uslovima visokog vakuuma (≈ 20 μPa). Elektronski snimci su dobijeni pomoću detektora za povratno-rasute (eng. *backscattered*) elektrone (BSE) – koji naglašava razlike u hemijskom sastavu ispitivanih zona na uzorku, i detektora za sekundarne elektrone (SE) koji naglašava razlike u morfologiji. Hemijske analize su izvršene uz upotrebu unutrašnjih standarda instrumenta, a semikvantitativni hemijski sastav dobijen tom prilikom prikazan je kao suma sadržaja elemenata iskazanih u masenim procentima, normalizovana na 100. Granica detekcije sadržaja analiziranih elemenata je 0.1 mas.% (1000 ppm), pa postoji mogućnost prisustva hemijskih elemenata u preparatu koji nisu detektovani ovom metodom jer su prisutni u koncentracijama ispod graničnih. Laki

elementi, tj. elementi sa rednim brojem od 1 do 6 (H, He, Li, Be, B i C) nisu određivani usled ograničenja metode.

Razaranje uzoraka deposola za određivanje pseudoukupnih koncentracija elemenata vršeno je metodom US EPA Method Study 37 – SW-846 Method 3050 (1988), dok je razaranje uzoraka deposola za određivanje pristupačnih metala vršeno EDTA ligandom, metodom koju je opisao McGrath (1996), u laboratoriji Instituta za primenu nuklearne energije (INEP) u Beogradu. Koncentracije ispitivanih elemenata (As, Cr, Cu, Pb, Zn i S) u matriksu deposola određene su metodom induktivno-spregnute plazme u kombinaciji sa optički-emisionom spektrometrijom (ICP-OES; SpectroGenesis EOP II, Spectro Analytical Instruments GmbH, Kleve, Germany) na odseku za prirodne resurse i životnu sredinu Instituta za Multidisciplinarne studije u Beogradu.

Uzorkovan biljni materijal za biogehemijske analize je ispran vodom sa česme i destilovanom vodom. Potom je svaki primerak razdvojen na koren i nadzemni deo, osušen i sprашen. Za mikrotalasnu digestiju biljnog materijala korišćene su HNO_3 i H_2O_2 u odnosu 3:2. Koncentracije ispitivanih elemenata (As, Cr, Cu, Pb, Zn i S) određene su) na odseku za prirodne resurse i životnu sredinu Instituta za Multidisciplinarne studije u Beogradu metodom induktivno-spregnute plazme u kombinaciji s optički-emisionom spektrometrijom (ICP-OES; SpectroGenesis EOP II, Spectro Analytical Instruments GmbH, Kleve, Germany), pri čemu je referentni uzorak SRM 1547 Peach Leaves (NIST, Gaithersburg, MD, USA) korišćen za validaciju analiza biljnog materijala.

3.5. Numerička i statistička obrada podataka

Faktori obogaćenja za deposole borskog odlagališta izračunati su kao odnos srednje vrednosti sadržaja hemijskog elementa u uzorcima iz sloja rizosfere i srednje vrednosti sadržaja istog elementa za površinske slojeve zemljišta Evrope ($\text{FO} = \frac{\text{Element}_{\text{uzorak}}}{\text{Element}_{\text{refEU}}}$). Ovaj odnos pokazuje koliko puta je koncentracija posmatranog elementa u uzorku veća od prirodnog fona, odnosno sadržaja tog elementa u nezagađenim zemljištima.

Kod izdvajanja vegetacijskih stadijuma dominantne vrste određivane su na osnovu indeksa pokrovnosti I_c (Laussi et al., 1982), dok su dijagnostički značajne vrste utvrđene na osnovu fideliti indeksa ϕ (Chytry et al., 2002). Vrste koje imaju vrednost fideliti indeksa $\phi > 0.2$ u ovom istraživanju smatraju se dijagnostičkim za određeni vegetacijski stadijum.

Procena koncentracije, akumulacije i translokacije metala i metaloida iz zemljišta u biljku izvršena je putem izračunavanja nekoliko faktora, čije definicije i izrazi glase (Yoon et al., 2006; Li et al., 2007):

Biokoncentracioni faktor (BCF) predstavlja odnos između sadržaja elementa u korenu i sadržaja koncentracije elementa u deposolu ($\text{Element}_{\text{koren}}/\text{Element}_{\text{zemljište}}$), čijim određivanjem se pruža uvid u mogućnost usvajanja određenog elementa iz medijuma na kojem biljka raste.

Bioakumulacioni faktor (BAF) predstavlja odnos između sadržaja elementa u nadzemnom delu i sadržaja koncentracije elementa u deposolu ($\text{Element}_{\text{nadzemni deo}}/\text{Element}_{\text{zemljište}}$), čijim određivanjem se pruža uvid u mogućnost usvajanja određenog elementa iz medijuma na kojem biljka raste u njene nadzemne organe.

Translokacioni faktor (TF) predstavlja odnos između sadržaja nekog elementa u nadzemnom delu biljke i sadržaja tog elementa u korenu ($\text{Element}_{\text{nadzemni deo}}/\text{Element}_{\text{koren}}$), čime se pruža uvid u efikasnost određene biljne vrste u transportu elementa iz korena u svoje nadzemne delove. Treba napomenuti da se u ovom istraživanju ne može zanemariti faktor atmosferske depozicije čestica ispitivanih elemenata na nadzemne delove biljaka. S obzirom na pojavu folijarnog usvajanja elemenata u ovakvim slučajevima, veličinu translokacionog faktora izraženog u ovom radu treba posmatrati kao meru razlike sadržaja elementa u nadzemnom delu i korenu, a koja ne mora u celosti biti uzrokovana transferom elementa iz korena u nadzemni deo.

Prateće statističke analize sprovedene su u softverima Statistica Statsoft 8.0, Flora (Karadžić & Marinković 2009) i Canoco for Windows 4.5 (ter Braak, Smilauer, 2002). Dobijene vrednosti sadržaja hemijskih elemenata u deposolu i biljkama, kao i vrednosti fizičko-hemijskih parametara deposola transformisani su Box—Cox tranformacijom u cilju stabilizovanja varijanse. Pri tome su u paketu Statistica Statsoft

8.0 sprovedene jednofaktorske analize varijanse (ANOVA) i prateći post-hoc testovi (u slučaju ispunjenosti uslova homogenosti varijanse, što je proveravano Leven-ovim testom, korišćen je Tukey-ov ili Fisherov LSD test, dok je u slučaju nehomogenosti varijanse upotrebljen Dunett-ov test), kao i faktorijalne analize. Diskriminantna analiza sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listu, kao i prateći prikaz koeficijenata kanonijskih skorova takođe su sprovedeni u ovom softveru. Kada su u pitanju vegetacijske analize, korespondentna analiza (CA) i diskriminantna analiza (DA) sprovedene su u Flora softverskom paketu. Multivarijantna kanonijska korespondentna analiza (CCA) sprovedena je u Canoco 4.5 softveru. Multikolinearnost između varijabli sredine utvrđena je na osnovu VIF faktora, pri čemu su za visoko multikorelisane varijable smatrane one kod kojih je $VIF \geq 20$ (ter Braak and Smilauer, 2002).

4. OPŠTE ODLIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

U ovom poglavlju prikazan je opis geoloških, klimatskih, pedoloških i florističko-vegetacijskih odlika područja Bora i okoline, kao i samog užeg područja istraživanja. Pored toga, radi bolje ilustracije karaktera i posledica dugogodišnjeg zagađenja na različite medijume životne sredine, prikazani su i osnovni podaci o zagađenju vazduha i voda u Boru i njegovom neposrednom okruženju.

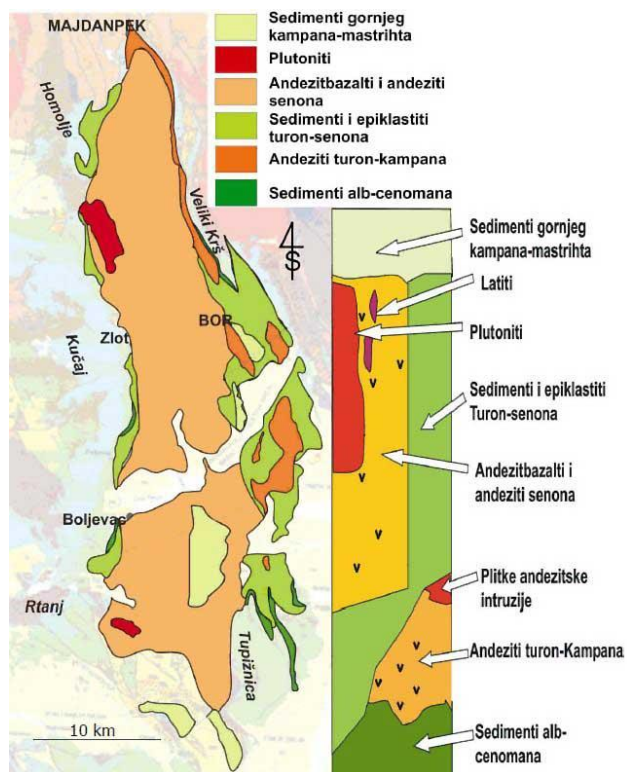
4.1. Geološka istorija šireg područja Bora

Područje Bora i okoline odlikuje se kompleksnom geološkom građom i istorijom. U doba paleozoika ova teritorija bila je pod morima, jezerima i močvarama, uslovljavajući formiranje moćnih naslaga sedimentata. U vodenoj sredini često su se odvijali magmatski procesi. U periodu mezozoika ova oblast nalazila se povremeno pod morem, a povremeno na kopnu. Područje Bora bilo je u to vreme centar jake vulkanske aktivnosti, nalazeći se u središtu većeg niza vulkana. Magma i gasovi mešali su se sa sedimentima koji su se stvarali u moru, stvarajući vulkanogeno-sedimentnu formaciju na kojoj danas leži gradsko naselje Bor. Krajem mezozoika dolazi do povlačenja vode, a veoma snažna tektonska kretanja zahvataju istočnu Srbiju izazivajući uzdizanje morskog dna i formirajući delove planinskog venca Karpat-Balkanida. U toku kenozoika vulkanska aktivnost na ovom području skoro prestaje, a naslage vulkanogeno-sedimentnih formacija trpe snažna tektonska kretanja usled kojih dolazi do formiranja velikog tektonskog rova istočne Srbije, odnosno Timočkog rov-sinklinatorijuma (Nikolić i sar., 1975).

4.1.1. Timočki magmatski kompleks

Na području istočne Srbije magmatska aktivnost u periodu gornje krede razvijala se duž dva subparalelna magmatska pojasa koja pripadaju Timočkom magmatskom kompleksu (TMK) na istoku i Ridanjsko-krepoljinskoj zoni na zapadu (Pecskay et al., 1992; Karamata et al., 1997; Banješević et al., 2003). Timočki magmatski kompleks je deo gornjokrednog sedimentno-vulkansko-plutonskog pojasa Karpat-balkanida, koji se prostire od severnih delova Apusena i Banata u Rumuniji preko Timočke krajine u

istočnoj Srbiji do Srednjegorja i Crnog mora u Bugarskoj, u dužini od oko 1500 km i širini do 70 km. Ovo područje smatra se najpoznatijim i najznačajnijim aktivnim rudarskim i eksploatacionim područjem u Evropi, koje pripada tetijskom evroazijskom metalogenetskom pojasu (Janković, 1977).



Slika 3: Timočki magmatski kompleks (modifikovano iz: Banješević, 2006)

Timočki magmatski kompleks leži na kontinentalnoj kori (Andrić i sar., 1972) izgrađenoj od različitih stena proterozojske do donjokredne starosti. Podlogu gornjokrednih stena TMK čine prekambrijske, paleozojske, jurske i donjokredne stene, a povlatu paleogene, neogene i kvartarne naslage. Kompleks je dugačak oko 80 km i širok do 20 km i grubo uzev sastoji se od tri vulkanske serije, pri čemu je svaka praćena sub-vulkanskim intruzivima (slika 3).

Vulkanizam TMK karakteriše relativno kontinuirana aktivnost od najmanje deset miliona godina, migriranje vulkanskog fronta od istoka prema zapadu, izrazita dominacija ekstruzivnih vulkanskih facija u odnosu na intruzivne i eksplozivne, ogromne količine emitovanog vulkanskog materijala i promene sredina deponovanja naslaga u toku vulkanske aktivnosti (Banješević, 2006; Kolb et al., 2013).

Geohronološki podaci pokazuju da je vulkanizam u turon-kampanu započeo brojnim emisijama lave. Nakon ili za vreme ovih događaja sledi obrazovanje vulkanskih doma. Po završetku ove vulkanske faze prethodno aktivni dovodni kanali bivaju zapunjeni finalnim rastopima i na taj način nastaju manji individualni proboji ili sistemi subvertikalnih dajkova. Potom dolazi do postvulkanskih procesa, odnosno do cirkulisanja mineralizovanih rastvora koji stvaraju ekonomski najznačajnija porfiriska ležišta bakra u TMK i alterišu okolne stene (Janković, 1977).

Magmatska aktivnost prve vulkanske faze započela je u cenomanu i trajala do kampana. Najvećim delom smeštena je u istočnom delu Borskog ležišta i čine je hornblenda-biotit andeziti, hornblenda-andeziti, timaciti i hornblenda-biotit daciti. Vulkaniti ove faze (andeziti turon-kampana) kristalisali su iz kalko-alkalnih magmi zasićenih silicijumom i relativno bogatih vodom. Emisija ovih magmi izvršena je najčešće u subaerskim uslovima ili u subvulkanskom nivou. Andeziti turon-kampana su pretežno izgrađeni od plagioklasa, ređe i alkalnog feldspata, amfibola, biotita i retko monoklinočnog i rombičnog piroksena i kvarca. Akcesorni minerali su apatit, metalni minerali i cirkon. Varijetet andezita sa krupnim kristalima biotita i hornblende izdvojen je kao poseban podtip i nazvan timacitom (Breithaupt, 1861), dok čitava ova asocijacija nosi naziv 'timocitska asocijacija'. Sedimenti koji prate andezite turon-kampana predstavljani su pelitima i konglomeratima koji su veoma često nastali pretaložavanjem samih vulkanskih stena. Najvažnija i ekonomski najznačajnija ležišta u TMK genetski su vezana za vulkanizam kojim su obrazovani andeziti turon-kampana.

Tvorevine druge vulkanske faze predstavljaju andezitbazalti i andeziti senona. Ovi vulkaniti se nalaze zapadno od andezita turon-kampana i u njima dominiraju piroksen- i piroksen-hornblenda andeziti. Nastali su takođe iz kalko-alkalnih magmi koje su bile siromašnije vodom i s nešto manjom količinom silicije nego magme prve vulkanske faze. Za drugu vulkansku fazu vezuje se i pojava plutonita, posebno tela Valja Strž, najveće intruzivne mase u TMK. Vulkanska aktivnost u vreme senona odvijala se i u kopnenim i u morskim uslovima (Đorđević i Banješević, 1997). Andezitbazalti i andeziti senona su veoma često hidrotermalno promenjeni na širokom prostoru, ali do sada bez utvrđene značajnije bakrove mineralizacije i većih ležišta.

Velike mase sedimentnih stena TMK su obrazovane tokom senona, grubo istovremeno sa nastankom senonskih andezitbazalta i andezita. Ove stene su predstavljene facijama laporaca, glinaca i peščara i veoma često se smenjuju sa senonskim vulkanitima i vulkanoklastitima. Najmlađi sedimenti TMK su borski konglomerati i sprudni krečnjaci. Početak njihovog taloženja ukazuje na postepeno izdizanje i oplićavanje depozicionih prostora. Borski konglomerati su izdvojeni u širem području Bora i to između Krivelja, Slatine, Brestovca i Metovnice. Poznati su i kao sedimenti koji su reversnim borskim rasedom dovedeni u isti nivo sa masivnim bakrovim orudnjenjem i otkriveni na površinskom kopu u Boru. Borski konglomerati predstavljaju sedimente debljine nekoliko stotina metara, još uvek nedovoljno ispitane geneze. To su slojeviti do bankoviti klastični sedimenti sa prelazima od sitnozrnih peščara do blokovskih konglomerata uz česta proslojavanja. Jedna od karakteristika borskih konglomerata je izuzetna raznovrsnost sastava valutaka i veoma slaba sortiranost. U njima se javlja materijal u velikim količinama poreklom van basenskog prostora TMK. Izdvojeni su valuci metamorfita visokog i niskog stepena metamorfizma, gabroidnih i granitoidnih stena, vulkanita van TMK, paleozojskih sedimenata i metasedimenata, jurskih i donjokrednih krečnjaka i svih stena koje ulaze u sastav TMK (Đorđević i Banješević, 1997). Među fragmentima stena u borskim konglomeratima nalaze se i odlomci hidrotermalno promenjenih andezita - facije sekundarnih kvarcita (Đorđević i Banješević, 1997), koje su obrazovane u uslovima visoke sulfidacije iz gornjeg dela Borskog ležišta. Smatra se da su borski konglomerati nastali u okviru post-rudnih tektonskih pokreta, u gornjem senonu (Veselinović i sar., 1975).

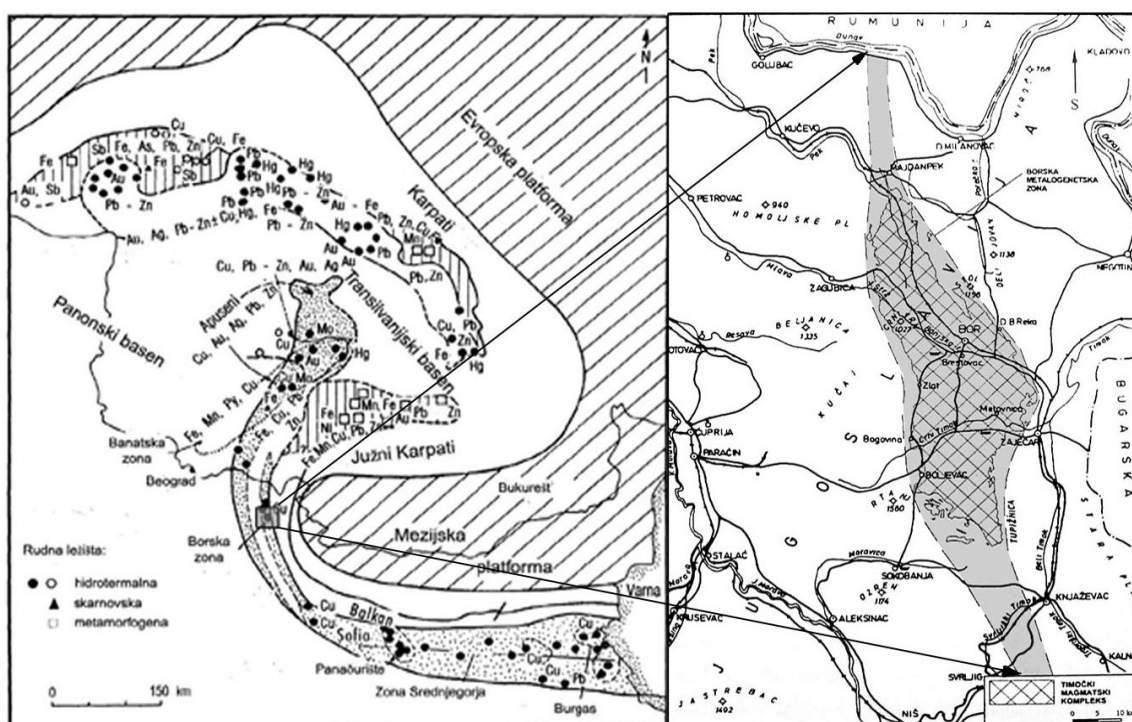
Produkti treće vulkanske faze nalaze se u krajnjim jugozapadnim delovima TMK. Čine ih pretežno latiti (tzv. 'latitska asocijacija'), a rede se javljaju i trahibazalti. Latiti najčešće probijaju senonske andezitbazalte i andezite i njihove vulkanoklastite. Vulkaniti ove faze imaju nešto niže sadržaje CaO i nešto više koncentracije K₂O i Na₂O u poređenju sa starijim vulkanskim stenama TMK.

4.1.2. Borska metalogenetska zona

U okviru TMK, Borska metalogenetska zona predstavlja jedan vid koridora, koji se na dužini od 50 km i širini od 5 km prostire na području od Bora do Majdanpeka

(slika 4). Hidrotermalne alteracije i rudna ležišta su jedna od najznačajnijih obeležja ove zone. Rudna ležišta su formirana u delovima u kojima je došlo do snažnog opadanja temperature i pritiska hidrotermalnih, odnosno rudonosnih rastvora u odgovarajućoj litološkoj sredini (Janković, 1977).

Hidrotermalne izmene zapažaju se u andezitima turon-kampana, andezitbazaltima i andezitima senona, plutonitima, sedimentima i epiklastitima senona. Hidrotermalno izmenjeni andeziti turon-kampana pokrivaju površinu od oko 30 km², uglavnom oko glavnih rudnih polja u ovom prostoru (Majdanpek, Čoka Marin, Mali Krivelj, Cerovo, Veliki Krivelj, Bor–Brestovac). Andezitbazalti i andeziti senona su izmenjeni na znatno većoj površini, duž celog zapadnog dela TMK, koja zauzima prostor od oko 125 km². Epiklastiti, sedimenti i plutoniti su izmenjeni na ukupnoj površini od oko 10 km². Hidrotermalne promene se manifestuju kroz procese biotitizacije, feldspatizacije, silifikacije, sericitizacije, argilitizacije, pirofilitizacije, kaolinizacije, alunitizacije, hloritizacije, kalcitizacije, sulfatizacije i zeolitizacije okolnih stena (Karamata, 1969; Milovanović, 1979/1980; Knežević i sar., 1982; Karamata i sar., 1983; Đorđević i Banješević, 1997; Janković, 1990).



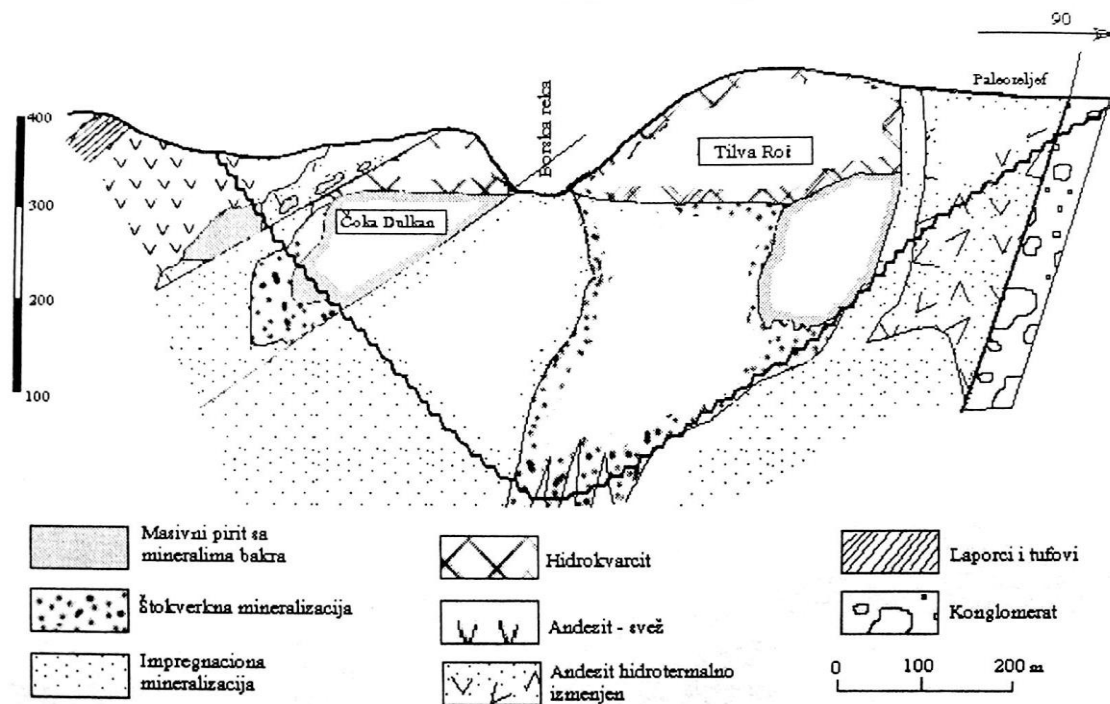
Slika 4: Prikaz Karpatsko-Balkanskog metalogenetskog pojasa sa Borskom metalogenetskom zonom (levo) i položaj Timočkog magmatskog kompleksa unutar Borske metalogenetske zone (desno) (modifikovano iz: Janković, 1997 i Koželj, 2002)

Rudna ležišta bakra u borskoj metalogenetskoj zoni nastajala su u širem vremenskom intervalu od gornje krede do paleogena, tj u periodu od pre oko 100 miliona do pre oko 60 miliona godina (Janković, 1967). Ekonomski značajna mineralizacija u Borskoj metalogenetskoj zoni vezana je po starosti i po položaju upravo za andezite turon-kampana. Prema morfogenetskim tipovima i mineralnim asocijacijama izdvojene su dve najznačajnije grupe ležišta bakra (Janković, 1990; Janković i dr., 2002): porfiriska ležišta i ležišta masivno-sulfidnog i štokverkno-impregnacionog tipa mineralizacije.

Porfiriska ležišta bakra se prema sadržaju bakra svrstavaju u pretežno siromašna, ali se zbog svojih velikih razmera u njima nalazi najveća ukupna količina bakra u borskoj metalogenetskoj zoni. Njihova osobenost je i lokalizacija ispod ležišta ili rudnih tela masivnih sulfida sa kojima mogu biti vezana postepenim prelazima (Janković, 1990; Janković i sar., 2002).

Ležišta masivnih sulfida i ležišta štokverkno-impregnacionog tipa su, za razliku od porfirskih ležišta, malih dimenzija ali visokih koncentracija bakra i zlata. Minerali bakra su predstavljeni kovelinom, halkozinom, enargitom, bornitom i halkopiritom (Janković, 1990; Janković i sar., 2002). Ovom tipu ležišta pripada najveći broj rudnih tela borskog ležišta (npr. Tilva Roš, Tilva Mika, Čoka Dulkan, Brezanik itd.).

Borsko ležište je najkompleksnije i najveće ležište borske metalogenetske zone (slika 5). Karakteristično je po prisustvu različitih morfogenetskih tipova mineralizacije, asocijaciji elemenata i minerala, kao i po različitom stepenu koncentracije bakra. Ležište je definisano kao izbivanje masivnog sulfidnog orudnjenja iznad prelazne naslage koja leži preko porfirsko bakarne mineralizacije na dubini. Nastalo je u gornjokrednim andezitima u zoni dužine 5 km, a širine nekoliko stotina metara (Janković i sar., 2002). Smešteno je u porfirskim hornblenda-biotitskim andezitima s podređenim dacitima i njihovim vulkanoklastičnim ekvivalentima, a na zapadu je ograničeno borskim rasedom (5 do 15 m širine), gde je u kontaktu sa borskim konglomeratima. Sastoji se od najmanje 25 individualnih ležišta različitog tipa, veličine i ekonomskog značaja, kao što su 'Čoka Dulkan', 'Tilva Mika', 'Tilva Roš', 'Borska reka' i druga.



Slika 5: Poprečni geološki profil centralnih rudnih tela borskog ležišta

(preuzeto iz: Koželj, 2002)

Rudno polje Bor nalazi se u istočnom delu Borske metalogenetske zone u prostornoj i genetskoj vezi sa gornjokrednim magmatskim kompleksima i to: ležišta bakra i zlata Bor (Tilva Roš sa brojnim rudnim telima koja su uglavnom izvađena), Borska Reka i Borski Potok (Bugarin i sar., 2012). Najveću zastupljenost u rudnom polju Bor imaju andeziti (varijetet timacit), daciti i njihovi vulkanoklastični ekvivalenti. Centralni deo polja obrazuju andeziti i izmenjeni andeziti, dok se od tipova hidrotermalnih alteracija javljaju: kaolinizacija, hloritizacija, silifikacija, sulfatizacija i piritizacija. Andeziti i dacito-andezitski vulkanoklastiti su usled uticaja vodene pare, sumpornih para i gasova postali trošni. Feromagnezijski silikati pretvoreni su u hlorite, a staklasta masa i feldspati u kaolin (grupa autora, 1987).

4.2. Klimatske odlike područja

Područje Bora leži u zoni u kojoj su zastupljene karakteristike tri klimatska tipa: stepsko-kontinentalnog, kontinentalnog i umereno-kontinentalnog. Klima Bora i njegove okoline u osnovi je umereno kontinentalna sa prelazom u subplaninsku.

Odlikuje se dugim, suvim i toplim letima, hladnim zimama sa obiljem snega kao i jasno izraženim prelaznim godišnjim dobima. Zbog položaja grada koji je širom otvoren ka Vlačkoj niziji, veoma su jaki klimatski uticaji sa istoka. Zato su klimatske karakteristike Bora i njegove okoline često sasvim drugačije od onih koje preovlađuju u centralnoj Srbiji. Klima je umereno kontinentalna prelazeći u najvišim zonama okolnih planina u srednje planinsku klimu. Za analizu klimatsko - meteoroloških faktora korišćeni su podaci mete orološke stanice Bor, a analizom je obuhvaćen period od 1980-2013. godine. Meteorološki podaci upotrebljeni za prikaz osnovnih karakteristika klime korišćeni su iz godišnjih meteoroloških izveštaja Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru (1980-2013).

Srednje mesečne **temperature vazduha** imaju uglavnom pravilan godišnji tok, gde vrednosti rastu od januara do jula, a prema kraju godine opadaju (tabela 1). U pojedinim godinama prosečna mesečna temperatura raste do avgusta, kada dostiže svoj maksimum, i potom opada do kraja godine.

Srednja godišnja temperatura vazduha za ovo područje u periodu od 1980-2013. godine iznosi 10,5° C, što je u proseku najpribližnije srednjoj oktobarskoj temperaturi. Amplituda srednjeg godišnjeg kolebanja temperature iznosi 22 °C. Najhladniji mesec je januar, sa srednjom mesečnom temperaturom od -0,3 °C, a najtopliji juli sa srednjom temperaturom od 21,6° C. Zime su znatno hladnije, a leta toplija od mesta u središnjoj i zapadnoj Srbiji na istim nadmorskim visinama (Maćejka, 2001). Velika razlika između najviše i najniže srednje mesečne temperature vazduha posledica su hladnih januarskih prodora košave dolinom Timoka. Jeseni su nešto hladnije od proleća, uz izraženo kolebanje temperature. Niske zimske temperature (negativne prosečne temperature javljaju se u mesecu januaru) uslovljene su izloženošću ovog prostora uticaju hladnih severoistočnih prodora iz unutrašnjosti evroazijskog kontinenta. Mraz se javlja od oktobra do maja. Period jakih mrazeva ($t < -10$ °C) ograničen je na zimske mesece, sa njihovom izuzetnom pojavom i u martu.

Temperaturni prelaz od zime ka letu neznatno je oštriji od prelaza leta u zimu. Tako porast prosečne temperature od marta do maja iznosi 11,1 °C, a sniženje temperature od septembra do novembra iznosi u proseku 11,8 °C. Prosečna godišnja temperaturna amplituda između najtoplijeg i najhladnijeg meseca iznosi 22 °C.

Tabela 1: Prosek srednjih mesečnih temperatura u °C (izvor: Godišnji izveštaji o meteorološkim merenjima u Boru za period od 1980-2013 godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor)

God.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Prosek
1980-2013	-0,3	0,8	4,7	10,8	15,8	19,4	21,6	21,0	16,2	10,4	4,3	0,3	10,5

Temperatura predstavlja jedan od najznačajnijih ekoloških faktora. Pod uticajem veoma visokih temperatura nastaju poremećaji ćelijskog metabolizma, sintetski procesi u ćeliji slabe a procesi razlaganja postaju intenzivniji. Sa porastom temperature intenzitet fotosinteze raste do izvesne granice, a potom opada. Disanje se, međutim, intenzivira svo vreme rasta temperature. Na taj način u uslovima povišenih temperatura prestaje produkcija organskih materija, dok je njihovo trošenje ubrzano. Niske temperature utiču na osnovne fiziološke procese u biljci tako što ih usporavaju, a potom, pri daljem sniženju temperature i prekidaju. Hladnoća takođe utiče na smanjenu apsorpciju vode iz podloge putem korenovog sistema, dok sa druge strane ne sprečava transpiraciju, tako da se biljke pri niskim temperaturama istovremeno i suše (Jablanović, 2003).

Od svih pokazatelja vlažnosti vazduha najveći praktični interes predstavlja **relativna vlažnost vazduha** koja govori o stepenu zasićenja vazduha vodenom parom. Srednja relativna vlažnost vazduha utiče dvojako: na biljke i na zemljište. Njene niže vrednosti utiču na povećanje transpiracije, ali i na povećanje evapotranspiracije, što se negativno odražava na vodni režim. Srednja godišnja vlažnost vazduha u Boru iznosi 69%, što na prvi pogled predstavlja dosta visoku vrednost, međutim, ona je rezultat velikih kolebanja vlažnosti vazduha u toku godine (tabela 2). Razlika između meseca sa najmanjom i najvećom relativnom vlažnošću, odnosno godišnja amplituda, iznosi u proseku 25%. Jesenji meseci pokazuju nešto veću prosečnu vrednost relativne vlažnosti vazduha (71%) u odnosu na prolećne mesece (63%).

Tabela 2: Objedinjena prosečna relativna vlažnost vazduha za period od 1980-2001. i 2007-2013. (izvor: Godišnji izveštaji o meteorološkim merenjima u Boru za period od 1980-2001 i 2007-2013. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor)

Relativna vlažnost vazduha (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	prosek
	80	76	67	61	64	62	58	61	66	76	81	83	69

Maksimum **padavina** na području Bora je u maju, što ukazuje na kontinentalni pluviometrijski režim (tabela 3). Uzroci obilnijih padavina u prolećnim mesecima su cikloni u donjim delovima troposfere, a nestabilne vazdušne mase često uzrokuju pojavu kratkotrajnih intenzivnih pljuskova. Glavni minimum padavina je u januaru i iznosi u proseku 38 mm. Mesečne i godišnje količine padavina znatno variraju od godine do godine, pa su padavine na ovom području jedan od meteoroloških elemenata sa najvećom amplitudom. Godišnja količina padavina iznosi u proseku 579 mm. Padavine su uglavnom ravnomerno raspoređene po godišnjim dobima. U prvoj polovini godine izluči se 49,8 % godišnje količine padavina sa maksimumom u maju i junu. Minimum padavina izluči se u januaru, martu i avgustu. U toku vegetacionog perioda (mart-novembar) izluči se u proseku 297 mm, odnosno 51,3 % od ukupne godišnje količine padavina.

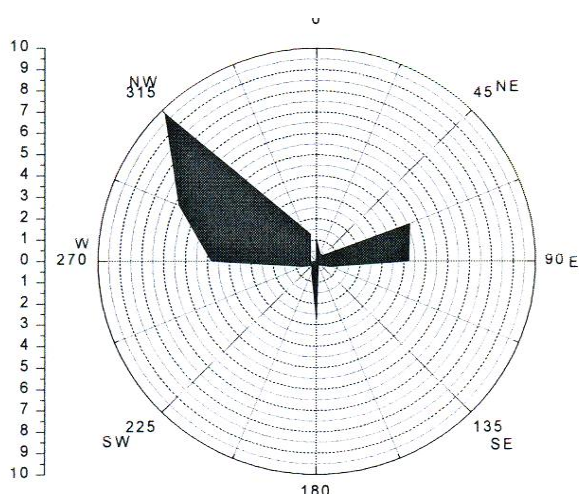
Suma padavina u prolećnom periodu od marta do maja iznosi u proseku 148 mm, a u jesen od septembra do novembra prosečno 147 mm, što ukazuje na gotovo izjednačene povoljnosti prelaznih perioda za razvoj vegetacije. Najveći broj dana sa snežnim pokrivačem je u januaru, a druga polovina zime ima više snežnih dana od prve. Prosečan broj dana sa snežnim pokrivačem je 58. Sneg je najčešći u periodu od novembra do marta, a češći je u aprilu nego u oktobru.

Tabela 3: Srednja mesečna količina padavina u mm (izvor: Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period od 1980-2013. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor)

God.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	suma
1980-2013	38,0	46,8	39,7	47,9	60,8	53,4	49,8	39,4	45,4	48,8	52,9	55,8	578,6

Vetar je važan klimatski faktor, jer sve vremenske promene stoje u tesnoj vezi sa vazдушnim strujanjima - kretanjima velikih vazдушnih masa. U slučaju industrijskih područja u kojima je prisutno aerorozagađenje ovaj klimatski faktor direktno utiče na pravac i radijus prostiranja polutanata. Zbog toga je potrebno analizirati podatke o preovlađujućem pravcu i srednjoj brzini vetra.

Podaci o čestini pravaca vetrova prikazani ružom vetrova (slika 6) pokazuju da od svih pravaca vetrova na području Bora preovlađuju severozapadni, zapadni i istočni vetar (tabela 4). Bor i okolina nalaze se u oblasti velike godišnje čestine vetrova. Odnos godišnje čestine vetrova prema čestini tišine iznosi 624 : 376 ‰. Jačina vetrova kreće se od slabe do umerene, a najjači su severozapadni i istočni vetar. Dok severozapadnog vetra ima ravnomerno tokom cele godine, istočni vetar je češći u zimskoj polovini godine, a severni u letnjoj. U toplijem delu godine dominiraju severozapadni i zapadni vetrovi.



Slika 6: Ruža vetrova za period 1980-2000.god.

Tabela 4: Čestina vetrova i tišina u Boru (izvor: Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period od 1980-2007. godine, Institut za bakar Bor)

Strane sveta	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Tišine
‰	148	40	186	57	22	7	25	153	361

Ukoliko je opterećen čvrstim i gasovitim česticama polutanata, vazduh može imati štetno dejstvo na vegetaciju. Najveći značaj u provetravanju grada imaju severozapadni i jugoistočni vetar. Period bez vetra pogoduje stvaranju i zadržavanju magle, te se tišine smatraju izuzetno nepovoljnim po prečišćavanje borskog vazduha.

Područje Bora je oblast nešto većeg prosečnog godišnjeg stepena **oblačnosti** od 5.4 desetina neba. Najveći broj oblačnih dana je u novembru i januaru, a najmanji od jula do septembra (tabela 5).

Tabela 5: Iznos srednje mesečne oblačnosti za područje Bora (izvor: Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period od 1980-2007. godine, Instytut za bakar Bor)

Srednja mesečna oblačnost	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	sred.god.
	6,9	7,0	6,4	5,6	5,1	4,4	3,3	3,2	3,4	4,8	7,2	7,0	5,4

Sunčeva svetlost predstavlja izvor energije u procesu fotosinteze biljaka. Godišnja vrednost **insolacije**, izvedena na osnovu parametara obližnjih klimatskih stanica višeg reda, iznosi oko 2 000 časova sa srednjim dnevnim trajanjem od preko 5 sati. Najveća vrednost insolacije je u avgustu (preko 300 sati), a najmanja u decembru (ispod 60). Najviše sunčanih sati u proseku imaju jul i avgust (oko 10), a najmanje decembar i januar (oko 2). Prolećni meseci imaju veću vrednost osunčavanja od jesenjih. Specifičnosti mikroklima Bora ukazuju na potrebu detaljnijeg osmatranja insolacije, kao klimatskog pokazatelja od značaja za razvoj vegetacije.

4.2.1. Klimatski faktori

Procena klimatskih karakteristika određenog mesta pored prikaza osnovnih klimatskih podataka zahteva i određivanje dodatnih klimatskih parametara odnosno faktora. U tu svrhu najčešće se koriste faktori vezani za temperaturu vazduha i količinu padavina.

Kišni faktor predstavljen je odnosom između godišnje sume padavina i srednje godišnje temperature vazduha. Vrednost kišnog faktora po Lang (1920) za područje Bora za period od 1980 - 2013. godine iznosi 55,6. Prema proračunu sa podacima na osnovu bioklimatske klasifikacije po Lang ovo područje pripada aridnom

bioklimatskom tipu odnosno semiaridnim područjima, zastupljena je klima koja u izvesnoj meri odgovara vegetaciji stepe, što implicira zaključak da ovde ne vladaju optimalni klimatski uslovi za razvoj šumske vegetacije u toku godine.

Vrednosti potencijalne evapotranspiracije računata formulom Ivanova (1949) ovde su najveće u periodu od aprila do avgusta, sa maksimumom u julu (tabela 6). Najveća razlika između potencijalne evapotranspiracije i količina padavina javlja se u julu mesecu, a veća potencijalna evapotranspiracija u odnosu na količinu padavina karakteriše period od marta do oktobra.

Tabela 6: Potencijalna evapotranspiracija za područje Bora u periodu od 1980-2013. godine

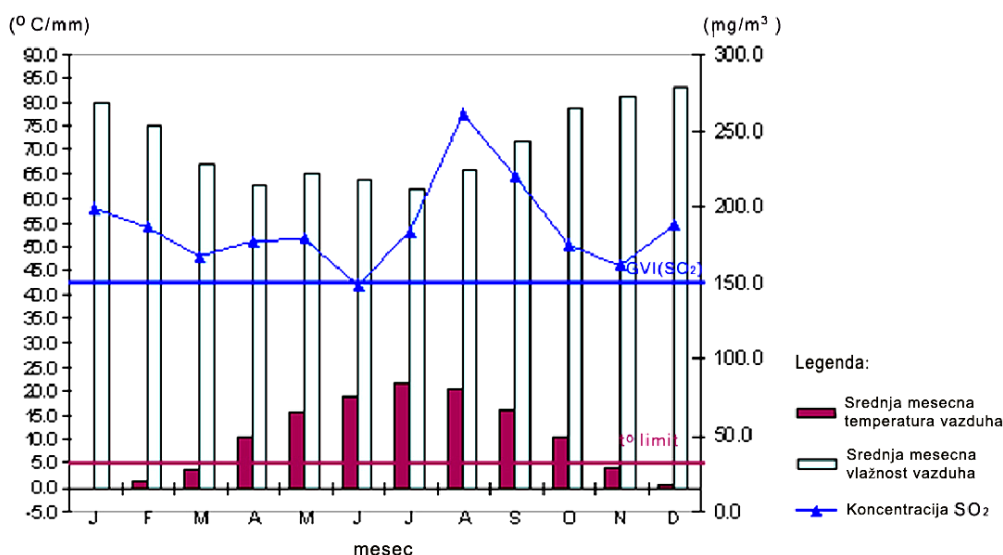
mesec	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PET (mm/mesečno)	22,4	28,6	51,7	90,1	108,2	133,2	165,2	147,6	103,2	55,2	29,7	19,3

Indeks suše po De Martonn (1926) za područje Bora iznosi 28,3, što prema klasifikaciji ovog autora označava oblasti egzoreizma, gde vegetacija trpi određeno isušivanje u toplijem delu godine. Oticanje vode je smanjeno u toku sušnih letnjih meseci, pa postoji izvesna potreba za dodatnim navodnjavanjem vegetacije.

Jalovišta rudnika u Boru pokazuju izvesne mikroklimatske specifičnosti u odnosu na okolna područja u delovima jalovišta na kojima nema vegetacije ili je ona tek sporadično razvijena. Temperaturni ekstremi ovde su izraženiji, a usled povećane temperature u površinskim slojevima u toku letnjih meseci, podloga se jače isušuje. Izdignute površine jalovišnih kipa izložene su snažnim naletima istočnog i severozapadnog vetra, pogotovu u drugoj polovini godine. Zagađivači vazduha u urbanim i industrijskim sredinama u određenoj meri modifikuju klimu stvarajući specifičan mikroklimat na ograničenom prostoru. Ove promene kreću se najčešće u pravcu povišenja temperature, smanjenja relativne vlažnosti vazduha i umanjenja insolacije.

4.2.2. Uticaj klimatskih i faktora zagađenja sredine na razvoj vegetacije

Interakcije klimatskih uslova i uslova životne sredine, pre svega zagađenja, često sinergistički deluju na razvoj vegetacije. Klimatske varijacije modifikuju efekat sumpor-dioksida na biljni svet. Uopšteno, isti oni uslovi koji pogoduju rastu biljaka pogoduju i apsorpciji sumpor-dioksida. Povećanje vlažnosti vazduha povećava apsorpciju utičući na otpornost stoma, dok varijacije u temperaturi intenziviraju biljnu podložnost delovanju sumpor-dioksida. Ovo je naročito izraženo kod temperatura ispod 5°C i iznad 30°C, gde se javlja sinergistički efekat temperature i sumpor-dioksida (Jablanović, 2003).



Slika 7: Podaci sa merne stanice 'Elektroistok' za period 1985.-2000. (oznake:

GVI (SO₂)- granična vrednost imisije za SO₂, t° limit – granična vrednost temperature za negativno sinergističko dejstvo sa SO₂ na biljni svet)

(preuzeto i modifikovano iz: Randelović, 2010a)

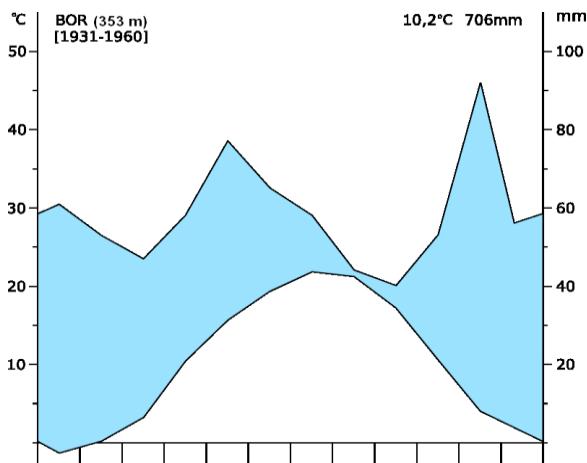
Izmerene vrednosti prosečnih mesečnih temperatura, vlažnosti i koncentracije sumpor-dioksida u vazduhu ukazuju na to da se sinergističko dejstvo niskih temperatura, povećane vlažnosti i visokih koncentracija emitovanog sumpor-dioksida na biljni svet u Boru i okolini može očekivati u periodu od novembra do marta, kao i u avgustu mesecu (slika 7), gde je uočljiva visoka koncentracija emitovanog sumpor-

dioksida uz prateću povišenu prosečnu mesečnu temperaturu vazduha i njegovu umerenu vlažnost (Randelović, 2010a). Negativno kombinovano dejstvo ovih parametara na vegetaciju javlja se u periodu ranih prolećnih fenofaza (kao što su pupljenje, klijanje i nicanje), ali i u periodu letnjih fenofaza u koje biljke ulaze pod stresom suše i uvećane koncentracije polutanata u vazduhu.

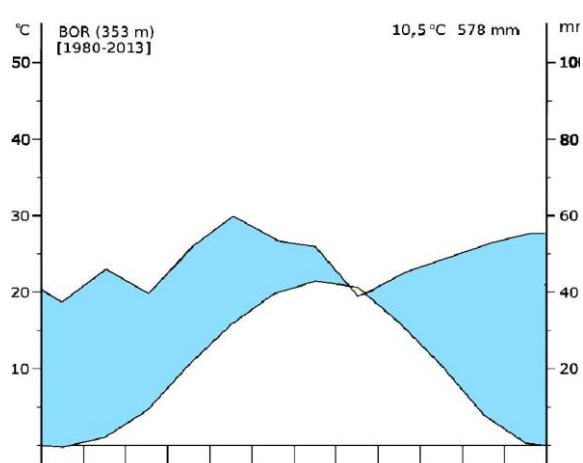
4.2.3. Trend klimatskih promena

Globalne klimatske promene, prema prognozama Međuvladinog panela za promenu klime iz 2007. godine, kreću se u pravcu zagrevanja troposfere, što će uticati na povišenje temperature vazduha i generalno smanjenje količine padavina. Na teritoriji Srbije se u narednim periodima očekuje smanjenje broja dana pod snegom i globalno smanjenje visine snežnog prekrivača, ali i padavina u toplim periodima godine, praćeno smanjenjem vlažnosti zemljišta i raspoloživosti vodnih resursa. Uz prateće povećanje koncentracije štetnih gasova u atmosferi, prognozirano je da će doći do povišenja temperature vazduha za oko 2⁰C u zimskom periodu i 2 – 3 ⁰C u letnjem periodu. Prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine (2007) sledi da je intenzitet povećanja temperature uz smanjenje količine padavina u periodu od 1951-2000. godine najveći upravo na prostoru istočne Srbije.

Iz klimadijagrama po Walter izrađenim za područje Bora za periode od 1931 - 1960. (slika 8) i 1980 - 2013. godine (slika 9) uočava se povećanje ukupne prosečne godišnje temperature i smanjenje ukupne prosečne godišnje količine padavina. Poređenjem klimadijagrama uočava se smanjenje količine padavina u maju i novembru kao i pojava sušnog perioda u avgustu za vremenski interval od 1980 - 2013. godine.



Slika 8: Klimadijagram po Walter za područje Bora u periodu od 1931-1960. godine



Slika 9: Klimadijagram po Walter za područje Bora u periodu od 1980-2013. godine

Ukoliko se ovakav trend nastavi, postojeća vegetacija u Borskom području razvijace se u uslovima povišene temperature i smanjene količine padavina u odnosu na dosadašnje prilike. Ovakav trend promena ukazuje i na pojačanje temperaturnih ekstrema na samom području borskih odlagališta, što dodatno otežava uslove za razvoj vegetacije i intenzivira sinergističko dejstvo klimatskih faktora i aerogađenja. Promene u sastavu vegetacije izazvane klimatskim uslovima favorizuju razvoj kserotermnih i termofilnih biljnih vrsta. Uočenim i prognoziranim klimatskim promenama potrebno je prilagoditi radove na biološkoj sanaciji jalovišta, između ostalog i kroz izbor odgovarajućih biljnih vrsta za njihovu remedijaciju.

4.3. Pedološke odlike područja

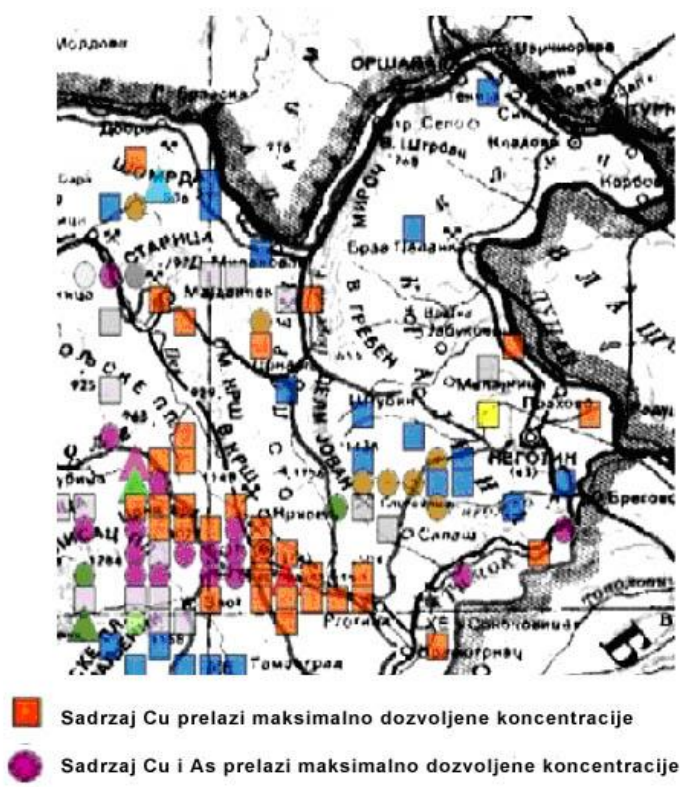
Pedogeneza je proizvod efekata fizičkih, hemijskih i bioloških procesa koji deluju na matičnu stenu. Raznovrsni antropogeni uticaji, poput obrade, iskopavanja, odlaganja materijala i zagađenja snažno utiču na način formiranja i izmene postojećeg zemljišnog kompleksa, uzrokujući nastanak zemljišnih tipova različitih fizičkih i hemijskih karakteristika. Na teritoriji opštine Bor ne postoji permanentno i sistematično praćenje kontrole kvaliteta zemljišta, a dosadašnja ispitivanja karakteristika i stanja

zemljišta vršena su periodično u okviru tematskih projekata različitih državnih institucija ili preduzeća.

Studija zemljišta basena Timoka izdvojila je različite tipove zemljišta na teritoriji istočne Srbije, a na osnovu svojih morfoloških, fizičkih i hemijskih karakteristika zemljišta Bora i okoline okarakterisana su kao regresivno antropogenizovana i razdvojena prema stepenu oštećenja rudarskim aktivnostima na: blago oštećena, srednje oštećena i jako oštećena zemljišta (Antonović i sar., 1974). Prema ovoj studiji, osnovni tipovi zemljišta koji se javljaju u neposrednom okruženju ispitivanog područja borske otkrivke su smonica na andezitu i smeđa kiselna zemljišta na peščaru i andezitu, srednje do jako oštećena sumpornim gasovima. Generalno, u pitanju su zemljišta sa udelom gline 20 do 50%, supstitucione kiselosti 3,5 - 4,3, sadržajem humusa 1-7 %, sadržajem pristupačnog fosfora 1-16.2 mg/100 g i sadržajem pristupačnog kalijuma 10 - 25 mg/100 g. Zajedničke osobine analiziranih zemljišta unutar različitih stepena antropogenih oštećenja su snižena pH vrednost i narušena struktura, što dovodi do podložnosti eroziji. Godišnji izveštaj Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije (AZŽS) za 2005. godinu prikazao je rezultate procene kvaliteta zemljišta za teritoriju istočne Srbije. Kompozitni zemljišni uzorci uzimani su za mrežna polja veličine 1000 ha tako da dobijeni rezultati pokazuju prosečne vrednosti uzorka za svako polje. Prema podacima ovog izveštaja, prosečne vrednosti rezultata ispitivanja uzoraka na teritoriji koja obuhvata jalovišta rudnika Bor pokazuju da supstituciona kiselost varira između 4,5 i 6,5. Sadržaj humusa kreće se u intervalu 2-4%. Količina pristupačnog fosfora iznosi 10- 40 mg/100g zemljišta, dok sadržaj pristupačnog kalijuma iznosi 20-50 mg/100g zemljišta.

Centar za poljoprivredna i tehnološka istraživanja u Zaječaru sproveo je 1997. godine obimna ispitivanja zemljišta na teritoriji borske opštine u okviru pod-projekta 'Uticao industrijskog kompleksa RTB Bor na zemljišta Borske opštine' kao sastavnog dela projekta 'Uticao industrijskog kompleksa RTB Bor na životnu sredinu i zdravlje ljudi na teritoriji opštine Bor'. Sadržaj teških metala u poljoprivrednim zemljištima pojedinih katastarskih opština pokazivao je povišene vrednosti bakra i arsena, koje su pojedinim uzorcima prelazile granične vrednosti propisane nacionalnim Pravilnikom o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (Sl. glasnik RS br. 23/94). Zabeležene vrednosti arsena i

bakra za Bor i Veliki Krivelj su u proseku ispod standarda Republike Srbije za kvalitet zemlje. Sadržaj bakra je iznad maksimalnih dozvoljenih koncentracija u Oštrelju, Slatini i Bučju. Sadržaj arsena blizu maksimalne dozvoljene koncentracije je konstatovan u atarima Krivelja, Slatine i Metovnice. Slični rezultati dobijeni su i analizama koje je sproveo Institut za zemljište iz Beograda u okviru projekta ‘Kontrola plodnosti i utvrđivanje sadržaja opasnih i štetnih materija u zemljištima Republike Srbije’ (Agencija za zaštitu životne sredine, 2006, slika 10).



Slika 10: Klase zemljišta prema potencijalnoj kontaminiranosti štetnim i opasnim materijama (Agencija za zaštitu životne sredine, 2006)

Eksploatacijom bakra i drugih sirovina direktno je uništena površina od 1125 ha u Boru. Ukupna površina uništena vađenjem rude nemetala u Srbiji je 13479 ha, pa gornja brojka predstavlja 8.34 % od ukupne površine uništene tom aktivnošću u Srbiji (Agencija za privatizaciju, 2006). Proces površinske eksploatacije rude bakra u potpunosti je izmenio prvobitnu sliku predela a prirodna zemljišta na području eksploatacije su nestala. Na njihovom mestu formirane su tehnogene tvorevine -

flotacijska jalovišta i jalovišta otkrivke. Prilikom otvaranja ležišta rudnog tela stena koja ne sadrži rudu, ili je sadrži u malom procentu naziva se 'jalova stena' ili 'jalovina', i transportuje se na odlagališta otkrivke.

U rudniku bakra u Boru, zbog uštede na transportu otkrivke, u blizini kopova formirana su velika odlagališta kupastog oblika visine 40-200m sa nagibom kosina 32-45°, bez etažnih ravni (Miljković i Stojković, 1998). Ovakav tip odlagališta zauzima manju površinu, pa su i troškovi formiranja manji, ali je zato proces biološke sanacije skuplji i teže izvodljiv nego na terasastim (etažnim) odlagalištima. Nagib kosina jalovišnih kipa omogućava brzo površinsko spiranje rastresitog materijala čime se obrazuju jaruge. Sama podloga, bilo na zaravnjenim delovima ili na nagibu, izuzetno je erodibilna. Upravo iz ovog razloga gornji, završni deo kipe ne ravna se, već se na njemu formiraju manji brežuljci od usitnjenih stena koji sprečavaju vodnu eroziju koja počinje sa vrha kipe. Formiranjem brežuljaka voda se zadržava u udubljenjima između njih istovremeno vršeći prirodno luženje koje otiče u donji deo kipe, umesto niz padinu. Dodatnu otežavajuću okolnost na ovom području predstavlja činjenica da, iako je period eksploatacije bakarne rude u Boru duži od jednog veka, ni u jednom trenutku procesa rudarenja nije vršeno selektivno odlaganje koje podrazumeva očuvanje plodnog zemljišnog sloja. Formirana jalovišta otkrivke sastoje se od krupnijih komada izmrvljenih stena, grubog su granulometrijskog sastava a njihova podloga, formirana nabacivanjem slojeva stena sa različitih dubina, izrazito je heterogena. Prisutna je određena količina teških metala koji se oslobađaju oksidacijom stena iz dubljih slojeva, koje su dospele na površinu jalovišta, a kao glavni hemijski problem u većini jalovišta rudnika bakra navodi se i opadanje pH vrednosti uzrokovane oksidacijom pirita (Dželetović i sar., 1994). Zbog razlike u veličini kontaktne površine čestica, problem naknadnog zakišeljavanja kod jalovina raskrivke slabije je izražen u poređenju sa flotacijskom jalovinom.

Tehnogeni materijali, nastali industrijskim procesima, često imaju ekstremne fizičko-hemijske osobine, koje otežavaju razvoj živih organizama na njima. Međutim, onog trenutka kada na njima započne proces naseljavanja biljnih organizama, počinje i proces pedogeneze. Zbog heterogenosti sastava, različitog načina postanka i stepena razvijenosti postoji problem klasifikacije rudarskih zemljišta koji ni do danas u potpunosti nije razrešen. Iz tog razloga, u ovom istraživanju upotrebljavaće se termin

'deposol', koji predlaže Škorić (1985) za klasu tehnođenih zemljišta odnosno jalovinskih materijala kod kojih se proces pedogeneze odvija u prirodnim uslovima, bez prethodno izvršene rekultivacije. Rezultate novijih pedoloških ispitivanja na području borskih jalovišta navode Lilić i sar. (2014), koji ukazuju da se, u odnosu na prirodna zemljišta, ovi tehnosoli odlikuju sniženim sadržajem gline i organske materije. Konstatovana poroznost i mikrobiološka aktivnost po dubini profila posledica su njihovog antropogenog porekla. Autori pokazuju da postoji jasna diferencijacija tehnosola flotacijskog jalovišta, jalovinske otkrivke i prirodnih zemljišta u odnosu na ispitivane fizičko-hemijske pedološke parametre. Randelović i sar. (2014) ispituju osobine rudničkog zemljišta na obraslim, rekultivisanim i nerektivisanim delovima borskih jalovišta otkrivke i flotacijskih jalovišta, konstatujući da je na rekultivisanim površinama došlo do povećanja procentualnog učešća čestica gline, kao i da se zemljišta rekultivisanih površina odlikuju manjim varijacijama u pH vrednosti u odnosu na prirodno kolonizovane površine jalovišta.

4.4. Florističke i vegetacijske odlike područja

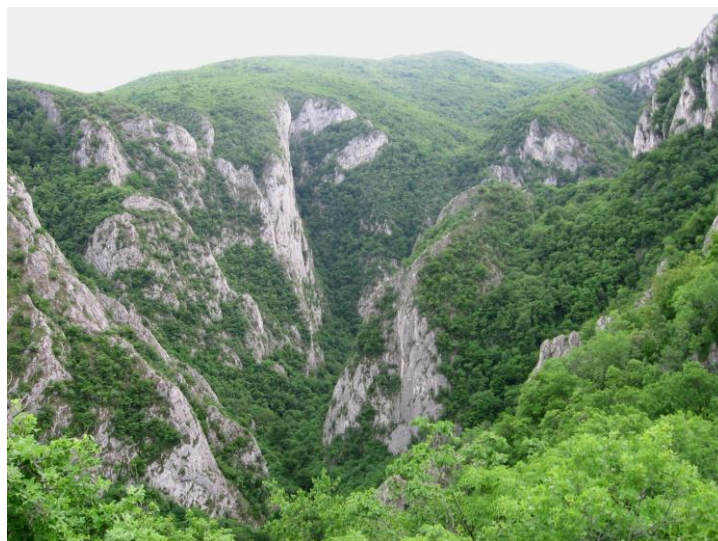
Teritorija Bora i okoline pripada pojasu klimatogene šumske zajednice hrastova sladuna i cera (*Quercetum farnetto-cerris* Rud.), uz mestimičnu pojavu subasocijacije sa grabićem (*Quercetum farnetto-cerris* Rud. subas. *carpinetosum orientalis* Jov.), koja se javlja na nešto strmijim, uglavnom krečnjačkim padinama. Klimatogena šuma uglavnom je iskrčena ili devastirana, pa se njeni ostaci najčešće nalaze u vidu šumaraka ili zabrana na blago nagnutim padinama između oranica (slika 11). Pored edifikatora ove zajednice (*Quercus farnetto* – sladun, i *Quercus cerris* - cer), kao karakteristične vrste nalaze se i: *Acer campestre* (klen), *Pirus piraster* (divlja kruška), *Ulmus campestris* (brest), *Crataegus monogyna* (glog) i druge. Karakteristične vrste hrastovo-grabovih šuma su: *Carpinus orientalis* (grabić), *Fraxinus ornus* (crni jasen), *Acer monspesulanum* (maklen), *Syringa vulgaris* (jorgovan), *Viburnum lantana* (crna udika) i druge. Nešto veće kraške površine u okolini Bora pokrivene su niskom šumom grabića, čistom ili u smeši sa drugim vrstama. Najčešće su to reliktna zajednica se jorgovanom (*Ass. Carpineto-Syringetum*) ili mečijom leskom (*Ass. Carpineto-*

Coryletum). U nižem planinskom regionu, na krečnjaku ili silikatima, nalaze se bukove šume, čiste ili pomešane sa vrstama nižeg hrastovog pojasa. Različiti tipovi livada i pašnjaka prisutni su u dolinama reka, tako i u podnožju planina i na samim planinama. Na plitkoj krečnjačkoj podlozi zastupljene su termofilne livade submediteranskog i stepskog karaktera, dok su planinske livade obrazovane na nešto dubljim zemljištima. Planinski pašnjaci zauzimaju velike površine na većini planinskih masiva i njihovih padina u okolini Bora (Nikolić i sar., 1975).



Slika 11: Bor sa okolinom

Područje Bora poseduje gustinu od 750 – 1000 vaskularnih biljnih taksona po kvadratu 10 x 10 km UTM (Univerzalne Transverzalne Merkatorove) mreže (Stevanović, 2002). Kanjon Lazareve reke, koji se nalazi na udaljenosti od deset kilometara od gradskog naselja Bor i borskih rudnika, jedan je od najvažnijih florističkih centara u ovoj oblasti sa ukupno 720 utvrđenih biljnih vrsta (što iznosi oko 20% od ukupne flore Srbije), od kojih je 57 endemičnih i 50 reliktnih vrsta (slika 12). Iz tog razloga ovaj kanjon proglašen je za Spomenik prirode Republike Srbije (I kategorije), kao i područje od međunarodnog značaja za biljke (IPA područje) – lokacija na kojoj postoji značajno florističko bogatstvo i/ili značajna kombinacija retnih, ugroženih i/ili endemičnih biljaka i/ili vegetacija visoke botaničke vrednosti na evropskom ili globalnom nivou (Stevanović, 2005) .



Slika 12: Kanjon Lazareve reke, Spomenik prirode RS
(I kategorija) i IPA područje

Šumsku vegetaciju neposredne okoline ispitivanog područja danas čine devastirani ostaci prirodne klimatogene zajednice sladuna i cera, kao i veštački podignuti zasadi bagrema na degradiranom zemljištu. U okviru programa sanacije zemljišta degradiranih sumpor-dioksidom, u periodu od 1955. do 1958. godine vršeno je pošumljavanje bagremom površine od 850 hektara u Boru i okolini (LEAP Bor, 2013). Na vegetaciju neposredne okoline grada i prigradskih delova nadovezuje se sistem zelenila gradskog naselja Bor. Naselje je planski ozelenjavano, pa ovaj sistem pripada klinastom tipu, koji se smatra i najpogodnijim sa stanovišta provetravanja grada. Bor je, međutim, smešten na uskom delu rečne doline i okružen planinskim vrhovima, pa su uslovi za strujanje svežeg vazduha nepovoljni. Nepravilnim nasipanjem jalovišnih kipa u borskom basenu izmenjena je i ruža vetrova, što je dodatno uticalo na provetravanje grada (Gburčik i sar., 1994). Prosečna veličina javnih zelenih površina u Boru iznosi 13,8 m² po stanovniku (Đorđević, 2005), što se, uzevši u obzir da u gradu postoje i površine koje nisu unete u katastar, u izvesnoj meri približava evropskom proseku. Sa druge strane, formiranje gustih 'tampon zona' zelenila u centru grada i oko idustrijskih postrojenja izostalo je zbog hroničnog zagađenja i akcidentnih naleta dima kojima je vegetacija izložena (Randelović, 2005). Arandelović (2013) navodi najzastupljenije autohtone i alohtone vrste u sistemu javnog zelenila grada Bora procenjujući njihovu

pogodnost za dalju upotrebu na gradskim zelenim površinama, i predlažući autohtone zeljaste vrste iz neposredne okoline grada koje bi se mogle koristiti sa većom učestalošću u postupku ozelenjavanja gradskog naselja.

Prema Stevanović (1995), prva krčenja šuma na prostorima nekadašnje Jugoslavije bila su povezana sa otvaranjem rudnika i topionica. Kao što je već izneto, na prostorima današnjih jalovišta rude u Boru nekada su se nalazili šumski ekosistemi čiji su glavni edifikatori bili sladun (*Quercus frainetto*) i cer (*Quercus cerris*), a i određenoj meri i grabić (*Carpinus orientalis*). Devastirani ostaci ovih zajednica (slika 15, 16) i danas se mogu naći u neposrednoj okolini istraživanog područja (Iskustva u ozelenjavanju jalovišta i terasa površinskog kopa u Boru, 1988). Ova nekada prirodna staništa prekrivena su otpadnim materijalima iz rudničkih procesa čineći danas antropogene prostore sa limitiranim uslovima za razvoj živog sveta.

Nakon zatvaranja površinskog kopa 'Bor' krajem 80-tih godina vršena je masovnija biološka rekultivacija dela jalovišnih kipa Borskog rudnika i formiranje zaštitnog pojasa oko oboda krune flotacijskog jalovišta kako bi se pojedini delovi grada zaštitili od nanosa flotacijske prašine. Korišćen je pretežno bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.), a deo površina plaža flotacijskih jalovišta je zatravnjen. U ovim poduhvatima, pored stručnjaka, učestvovala je vojska i učenici osnovnih i srednjih škola (Randelović i sar., 2008).

Na samim jalovinskim materijalima u Boru zvanična rekultivacija drvenastim vrstama započela je takođe upotrebom bagrema 1979. godine kada je izvršena opitna sadnja jednogodišnjih sadnica i setva semena bagrema. Krajem naredne godine procenat primanja iznosio je svega 10% od ukupnog broja posađenih sadnica (Šumska sekcija Bor, 1988). Naredna etapa rekultivacije odigrala se u periodu od 1982-1986. godine, sađenjem dvogodišnjih sadnica bagrema. Nadležne institucije daju podatke o procentu prijema ovih sadnica od 40% na kraju prve godine po sadnji (Milijić, 1997). U periodu od 1992-1996. na borskim jalovištima vršeni su opiti sadnjom različitih drvenastih vrsta (bagrem, platan, breza, lipa, topola, jasen, brest, vrba, tamariks). Ukupan procenat prijema ovih sadnica nakon prve godine iznosio je 48,8% (Milijić, 1997). Najveći broj ovih vrsta, međutim, izuzev bagrema (slika 13), nije konstatovan na zabeleženim mestima sadnje naknadnim rekognosciranjem terena (slika 14).



Slika 13: Rekultivacija odlagališta otkrivke u Boru bagremom (*Robinia pseudoacacia* L.)



Slika 14: Proređeni ostaci nekadašnjih opitnih zasada *Carpinus orientalis* Mill. na odlagalištu otkrivke u Boru

I pored činjenice da je prirodno obrazovanje vegetacijskog pokrivača na jalovištima ometeno različitim abiotičkim faktorima (kao što su visoka temperatura, nizak nivo zemljišne vlage, nestabilna struktura podloga od kojih su izgrađene jalovišne kipe, njihova podložnost eroziji, prisutno aerozagađenje), antropogeno izmenjene površine u rudarskom kompleksu predstavljaju staništa sa specifičnim biljnim vrstama i zajednicama. Prisustvo 105 vrsta vaskularne flore (što čini oko 3,3% od ukupnog broja biljnih vrsta u Srbiji) ustanovljeno je istraživanjima Ranđelović (2010) na teritoriji flotacijskih jalovišta i jalovišta otkrivke u Boru rekultivisanih bagremom. Na padinama ili usecima u kojima se zadržava organska materija i voda mogu se pronaći i određene drvenaste vrste, pripadnici pionirske ili okolne prirodne vegetacije (slika 17). Na jalovištima otkrivke u Boru mogu se zapaziti i samonikle zeljaste biljne vrste na mestima gde je stenska podloga pogodnija za njihov razvoj (slika 18), a ovo opažanje upravo čini i jednu od polaznih osnova za obavljanje ovog istraživanja.



Slika 15: Devastirani ostaci klimatogene zajednice *Quercetum-farnetto cerris* Rud. u okolini odlagališta otkrivke u Boru



Slika 16: Podnožje odlagališta otkrivke u Boru obraslo vegetacijom



Slika 17: Samonikle breze (*Betula alba* L.) na odlagalištu otkrivke u Boru



Slika 18: Samonikle biljne vrste na odlagalištu otkrivke u Boru

4.5. Ostali antropogeno indukovani uslovi sredine

Različiti medijumi životne sredine industrijskih naselja i njihovog okruženja u određenoj meri su modifikovani u odnosu na okolnu sredinu zahvaljujući višestrukome dejstvu antropogenog faktora (slika 19). Ruda je u okolini Bora eksploatisana još u praistorijsko i antičko doba, a savremena eksploatacija bakarne rude započela je 1903. godine. Kao posledica neprestanog odvijanja industrijske aktivnosti u dugom vremenskom periodu, gradsko naselje Bor danas karakteriše zagađenost različitih segmenata životne sredine, kao što su vazduh, voda i zemljište. Prema podacima Lokalnog ekološkog akcionog plana za Bor (LEAP Bor, 2013) zagađenje vazduha predstavlja najveći i najuočljiviji problem u Borskom području. Dominantne zagađujuće

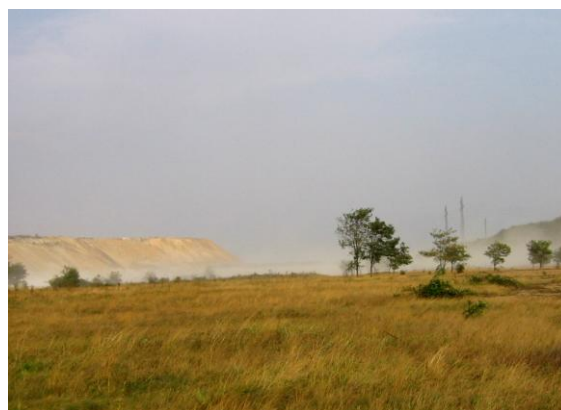
materije u vazduhu su sumpor dioksid i čestice teških metala, koji se emituje iz pogona topionice bakra, a potom i čestice mineralne prašine koje se vetrom raznose sa jalovišta u neposrednu okolinu (Agencija za privatizaciju, 2006).



Slika 19: Panorama grada Bora sa pogledom na industrijski kompleks
(preuzeto sa : www.bor030.net)



Slika 20: Topionički dim nad gradom



Slika 21: Mineralna prašina
sa flotacijskih jalovišta u Boru

U procesu topljenja rude bakra još uvek se koristi zastarela tehnologija plameno-pećnog topljenja, gde se kao nusproizvod oslobađa sumpor dioksid koji se delom odvodi u fabriku sumporne kiseline a delom ispušta u atmosferu. Sadržaj sumpor-

dioksida u vazduhu direktno zavisi od dinamike rada fabrike sumporne kiseline. Od 60-tih godina prošlog veka, kada je ova fabrika izgrađena, koncentracija SO₂ u vazduhu se smanjuje ali ekonomska kriza tokom 90-tih i izostanak ulaganja u dotrajalu opremu izazvala su stagnaciju prosečnog nivoa sumpor-dioksida uz njegove povremene akcidentne ispuste u vazduh nad gradom (slika 20).

Iz topionice bakra emituje se prašina sa visokim sadržajem teških metala, koji direktno zavisi od obima proizvodnje i sadržaja ovih metala u sirovinama. Prema podacima Lokalnog ekološkog akcionog plana za Bor (2003), svake godine u atmosferu se u proseku emituje 5,3-19,6 kg arsena, 4,86-7,99 kg cinka i 6,27-25,1 kg olova po glavi stanovnika. Sadržaj teških metala u suspendovanim (lebdećim) česticama je naročito povećan na mernim mestima koja se nalaze na pravcima sa najvećom čestinom vetrova i bližim industrijskoj zoni. Prosečna koncentracija arsena u Borskoj oblasti veća je od standarda Republike Srbije za kvalitet vazduha (2,5 ng/m³) na svim mestima uzorkovanja u Boru i njegovoj okolini (LEAP, 2013).

U sušnim periodima godine značajni zagađivači vazduha su i izvori mineralne prašine - flotacijska jalovišta i jalovišta otkrivke (slika 21). Istraživanja Lekovske i sar. (1999) konstatuju da domet koncentracije prašine iznad maksimalno dozvoljene koncentracije za ove objekte (MDK= 0,15mg/m³) sa suvih površina flotacijskog jalovišta 'Bor' u okolnu sredinu iznosi do 3208 metara. Jalovišta otkrivke takođe predstavljaju značajan izvor prašine, a istraživanja Gburščik i sar. (1994) pokazuju da u uslovima složene topografije borskog površinskog kopa, kao i njegove neposredne okoline, dolazi do slabljenja jačine vetrova, što za posledicu ima zadržavanje primesa u vazduhu kao i njihovu povećanu koncentraciju na ovom području.

Čestice zagađujućih materija se transportuju na više desetina kilometara u donjim slojevima atmosfere. Analiza rezultata proračuna prostorne raspodele pokazuje da su u Boru najveća nagomilavanja zagađujućih materija severozapadno i jugoistočno u odnosu na industrijsku zonu. Domet zagađenja sumpor-dioksidom na ovim pravcima, do nivoa graničnih vrednosti imisije, iznosi 15 km a lebdećim česticama 2-3 km (LEAP, 2003). Duž puta čestice se uklanjaju iz atmosfere procesima mokre i suve depozicije. Receptori su površinski sloj zemljišta, vegetacija, površinske vode, odnosno sve površine koje su u kontaktu sa vazduhom. Prema podacima Šajna i sar. (2014), visoke koncentracije bakra (u odnosu na kritične vrednosti iz The New Dutch List, 2000) u

površinskim slojevima zemljišta prostiru se na površini od 180 km² u Boru i okolini. Na ovaj način, topioničkim gasovima u većoj ili manjoj meri oštećeno je ukupno 21905 ha zemljišta na teritoriji borske opštine. Površina oštećenog poljoprivrednog zemljišta u borskoj opštini je procenjena na oko 60,6% od ukupnog poljoprivrednog zemljišta (Agencija za privatizaciju, 2006). Najvećim delom zemljišta su oštećena emisijom SO₂ iz metalurških pogona, zatim akcidentnim izlivanjem flotacijske jalovine, a potom i fizičkom degradacijom terena rudarenjem.

Ispuštanjem otpadnih voda iz flotacija i sa jalovišta kao i incidentnim izlivanjem flotacijske jalovine oštećeno je blizu 2500 ha plodnog zemljišta u priobalju Borske reke i Velikog Timoka (slika 22). Na području grada i okoline Borska i Kriveljska reka predstavljaju otvorene kolektore za industrijsku i gradsku otpadnu vodu (slika 23), i kao takve nalaze se van svih postojećih propisanih klasa kvaliteta voda. Industrijske otpadne vode koje se ulivaju u Borsku reku potiču iz rudarskih i tehnoloških procesa, prirodnog luženja i podzemnih voda kopova (LEAP Bor, 2013). Luženje flotacijske jalovine na njihovim obalama dovodi do širenja zagađenja i na podzemne vode. Tretman otpadnih voda je takav da se one samo delimično prečišćavaju, ili se ispuštaju iz industrijskih pogona bez ikakvog prečišćavanja. Otpadne vode Bora zato predstavljaju prekogranični i regionalni problem (LEAP Bor, 2003).



Slika 22: Nanos flotacijske jalovine u dolini Velikog Timoka



Slika 23: ušće Borske u Kriveljsku reku (foto: T. Marijanović)

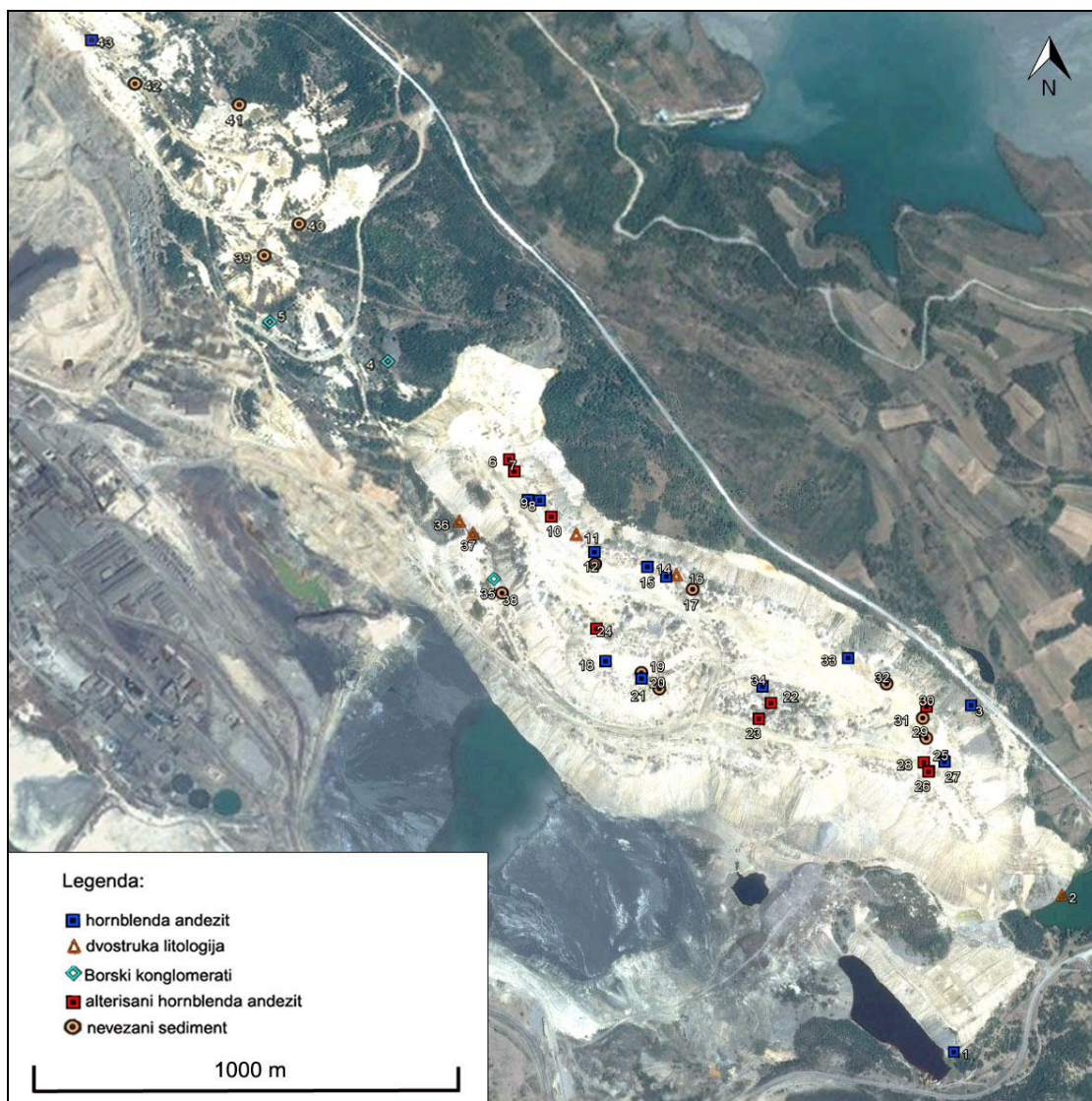
5. REZULTATI

5.1. Analiza stenske podloge

Na području odlagališta rudničke otkrivke u Boru terenskim istraživanjima konstatovano je i izdvojeno ukupno šest različitih litoloških grupa stena, imenovanih na sledeći način: hornblenda andeziti, alterisani hornblenda andeziti, borski konglomerati, dvostruka litologija, nevezani sediment i orudnjene stene. Prvih pet litoloških grupa odlikuje prisustvo samonikle vegetacije, dok na orudnjenim stenama vegetacijski pokrivač izostaje.

Čitavo područje odlagališta bilo je predmet neselektivnog odlaganja otkopanog materijala do svog zatvaranja 1986. godine, što je rezultiralo deponovanjem heterogenog stenskog materijala (slika 24). Sveži hornblenda andeziti zabeleženi su i deponovani u većim ili manjim nakupinama na području Istočnog i Severnog borskog odlagališta, kao i na njihovom prelazu. Najveće nakupine borskih konglomerata nalaze se u delu Stare otkrivke, na prelazu između Istočnog i Severnog odlagališta, koja obuhvata srazmerno malu površinu odlagališta. Shodno tome, relativna zastupljenost ove litološke grupe na borskom odlagalištu otkrivke je i najmanja. Deponovanje konglomerata na Staroj otkrivci završeno je još 1960-te godine, te je ova litologija najduži vremenski period bila izložena spoljašnjim uticajima u poređenju sa ostalim konstatovanim litološkim grupama. Nevezani sedimentni materijal naknadno je formiran raspadom i erodovanjem otkopanog stenskog materijala.

U narednim pogavljima dat je prikaz petroloških, mineraloških i geohemijskih karakteristika izdvojenih litoloških grupa.



Slika 24: Prikaz lokacija uzorkovanja na borskom odlagalištu otkrivke sa rednim brojem i oznakama litoloških grupa

5.1.1. Hornblenda andeziti

5.1.1.1. Petrološke karakteristike

Sveži, hemijski neizmenjeni andeziti na teritoriji Borskog eksploatacionog polja predstavljani su hornblenda andezitima, koji su u geološkoj literaturi poznati kao timaciti (Breithaupt, 1860), odnosno andeziti I vulkanske faze (Drovenik i sar., 1962), andeziti turona (Đorđević i Banješević, 1997) i andeziti turon-kampana (Banješević, 2006).

Na odlagalištu jalovine u Boru ova litološka grupa ima različite načine pojavljivanja koji zavise od stepena fizičke dezintegriranosti. Zapaža se prisustvo relativno koherentnih stenskih masa, koje liče na prirodne izdanke ovih stena van zone odlagališta (slika 25), a primetno je i prisustvo andezita koji pokazuju izvestan stepen fizičke usitnjenosti (slika 26), kao i onih koji su sasvim pretvoreni u sitnozrni grus (slika 27). Pored toga, javljaju se i sveži hornblenda andeziti kod kojih se na pojedinim mestima može primetiti pojava limonitskih skrama i prevlaka (slika 28). Tragovi limonitizacije predstavljaju začetke hemijske izmene, ali su oni uglavnom lokalnog karaktera i vezani su za površinske delove stenske mase, dok je unutrašnjost stene sveža. Hornblenda andeziti u svežem stanju se odlikuju svetlosivom do plavičastostosivom bojom.

Karakteriše ih porfirna struktura, u kojoj se izdvajaju krupni minerali uronjeni u sitnozrnu i holokristalastu osnovnu masu. Porfirna struktura je naročito jasno izražena u slučaju timacita, varijeteta andezita sa krupnim amfibolima. Tekstura ovih stena je pretežno masivna, ali se na pojedinim mestima nalaze i hornblenda andeziti koji se odlikuju brečiranom teksturom (slika 25). Ovaj brečiran izgled stenske mase posledica je primarnih procesa drobljenja užarene lave tokom tečenja (Banješević, 2006). Osim vrlo krupnih fenokristala hornblende, makroskopski se zapaža i prisustvo mlečno belih fenokristala plagioklasa i, podređeno, biotita, dok je osnova stene afanatična, odnosno u njoj se mineralna zrna ne mogu zapaziti golim okom.



Slika 25: Svež hornblenda andezit s tragovima primarnog brečiranja sa polja 3



Slika 26: Sveža andezitska stenska masa s prvim naznakama fizičkog raspadanja sa polja 14



Slika 27: Grusifikovan hornblenda andezit sa polja 11



Slika 28: Svež andezit sa limonitskim prevlakama sa polja 5

Hornblenda andeziti pokazuju najčešće hipo- do holokristalasto porfirsku strukturu (Slike 29a,b; 32a,b) i masivnu i relativno homogenu teksturu. Zbog velikog broja fenokristala pojedini primerci pokazuju i polifirsku strukturu, kao i elemente glomeroporfirске strukture koja se ogleda u formiranju nagomilanja fenokristala nepravilnog oblika. Sklop određenih primeraka ima i elemente fluidalnosti. Nešto ređi su sitnoporfirski varijeteti, u kojima izostaju veoma krupni fenokristali hornblende. Ove stene su pretežno izgrađene od fenokristala plagioklasa, amfibola i, podređeno, biotita i mikrofenokristala metaličnih minerala, koji su smešteni u fino-zrnu osnovnu masu uglavnom izgrađenu od istih sastojaka. Akcesorni minerali su Fe-Ti oksidi, sfen, apatit i cirkon, dok su sekundarni sericit, hlorit, epidot, albit, kalcit, kvarc, zeolit, minerali glina i praškasti neprovidni minerali. Retki su primerci u kojima je u osnovnoj masi primarno bila i manja količina stakla. Ukupna količina fenokristala varira od 35 do 50 vol%.

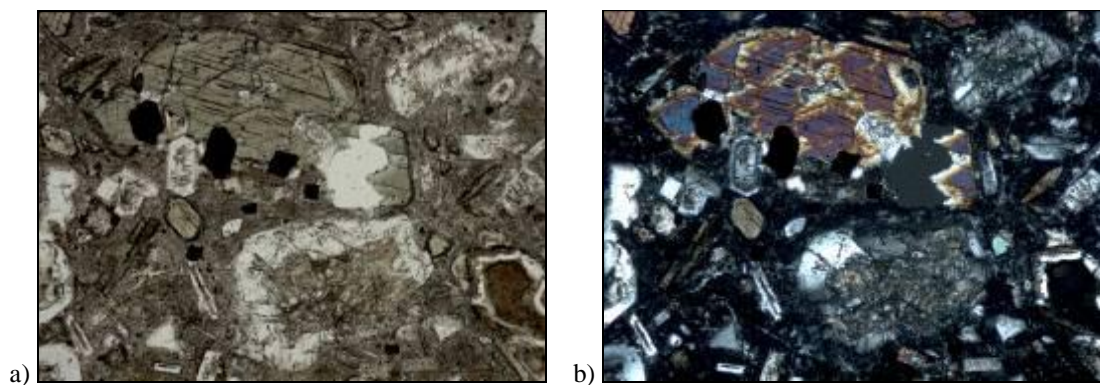
Plagioklasi čine preko 60 % ukupne količine fenokristala i predstavljaju najzastupljeniji sastojak ove stene. Javljaju se u vidu pretežno idiomorfnih, ponegde i hipidiomorfnih fenokristala koji su izometrični ili prizmatičnog oblika. Veličina im varira od preko 4 mm u prečniku, kod izduženih fenokristala i do oko 5 mm dužine, do ispod 0,5 x 0,3 mm. U određenim primercima postoji prelaz u veličini kristala plagioklasa prema mikrolitima iz osnovne mase. Fenokristali plagioklasa redovno pokazuju bližnjenje i izrazitu optičku zonarnost (slika 31). Iako se nalaze u svežim andezitima, fenokristali plagioklasa najčešće pokazuju izvestan stepen alteracija (slika

33a,b). Tragovi alteracija, uglavnom veoma sitnozrni agregati sosirita (asocijacija kvarca, epidota i albita) obično više zahvataju centralne delove zrna, dok su obodni delovi bistri i sveži (slika 30). U izvesnim primercima, međutim, javlja se sericitizacija i kalcitizacija plagioklasa, koje su po pravilu razvijene tako da prate pravce optičke zonarnosti.

Hornblenda čini oko 40 % ukupne količine fenokristala. Prisutna je u vidu idiomorfni do hipidiomorfni, obično izrazito izduženih ili pritkastih fenokristala. Oni pokazuju veoma širok opseg veličina, od nekoliko cm dužine do sasvim sitnih mikrofenokristala čija je preovlađujuća dužina oko 0,2-0,3 mm. Lokalno, svojim izduženjem, fenokristali hornblende markiraju pravac tečenja lave, definišući elemente fluidalne teksture. Kristali hornblende su u najvećem broju primeraka sveži, bistri i pokazuju veoma izražen polihroizam u različitim nijansama zelene boje. U pojedinim primercima se po obodu kristala hornblende zapažaju opacitski rubovi od fino-zrni agregata oksida i hidroksida gvožđa. Izuzetno, u nekim primercima hornblenda pokazuje i tragove sekundarne promene u hlorit.

Prisustvo fenokristala biotita je zapaženo kod pojedinih primeraka, ali u količinama koje nikada ne prelaze 5 - 10 % ukupne količine fenokristala. Biotit se javlja u crnim liskama dužine do 2 mm. Najčešće je svež i pokazuje dobro izražen polihroizam u braon i crvenobraon boji, a ređe pokazuje opacitske rubove. Metalični minerali su zastupljeni do oko 5 vol% stene. Pojavljuju se kao idiomorfni do hipidiomorfni mikrofenokristali magnetita i, podređeno, ilmenita, relativno homogeno raspoređeni u stenskoj masi. Pored toga, u nekim primercima se zapaža i pojava izrazito idiomorfni kristala pirita. Sfen je konstatovan samo u pojedinim primercima, u vidu izolovanih submilimetarskih kristala uglavnom pravilnog oblika romba. Apatit i cirkon se javljaju kao individualna zrna i obično su uklopljeni u fenokristalima mafičnih sastojaka.

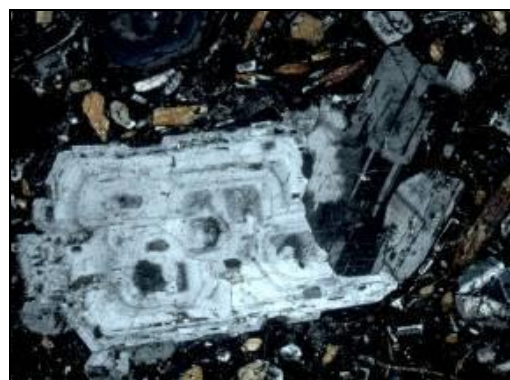
Pojavljivanje sekundarnih minerala je vezano za alteracije koje su u ovim stenama uglavnom imale slab uticaj. Najzastupljeniji sekundarni minerali vezani su za sosiritske alteracije po plagioklasima i praškaste okside i hidrokside gvožđa, koji izgrađuju opacitske rubove oko fenokristala mafičnih minerala.



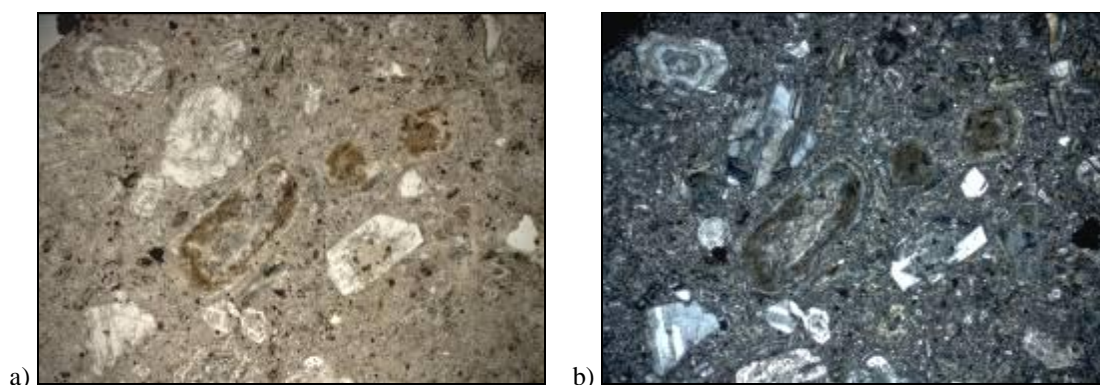
Slika 29: Hipokristalasto porfirna struktura svežeg hornblenda andezita sa polja 3 (a- pod paralelnim, b – pod ukrštenim nikolima), horizontalna ivica snimka 1,5 mm;



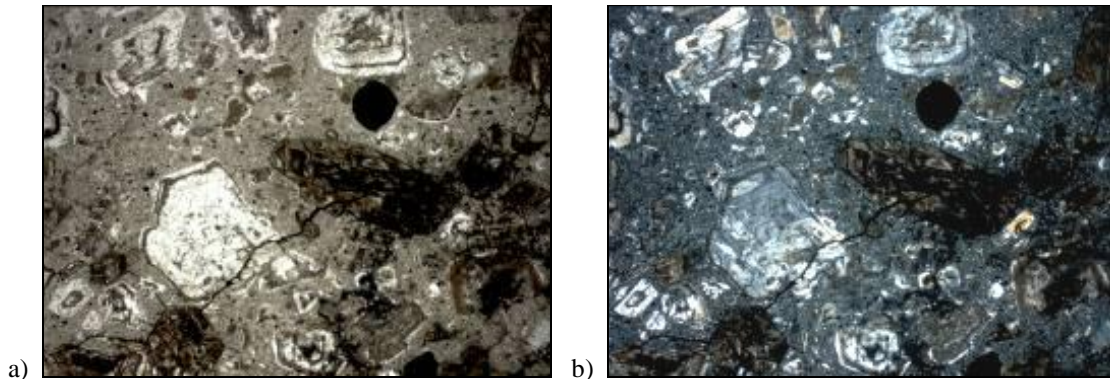
Slika 30: Fenokristal plagioklasa tabličastog habitusa, koji pokazuje tragove alteracija u središnjim partijama dok su marginalne partije bistre i sveže pod paralelnim nikolima, polje 3, horizontalna ivica snimka 1,5 mm;



Slika 31: Glomeroporfirski agregat plagioklasa pod ukrštenim nikolima, polje 3, horizontalna ivica snimka 3 mm;



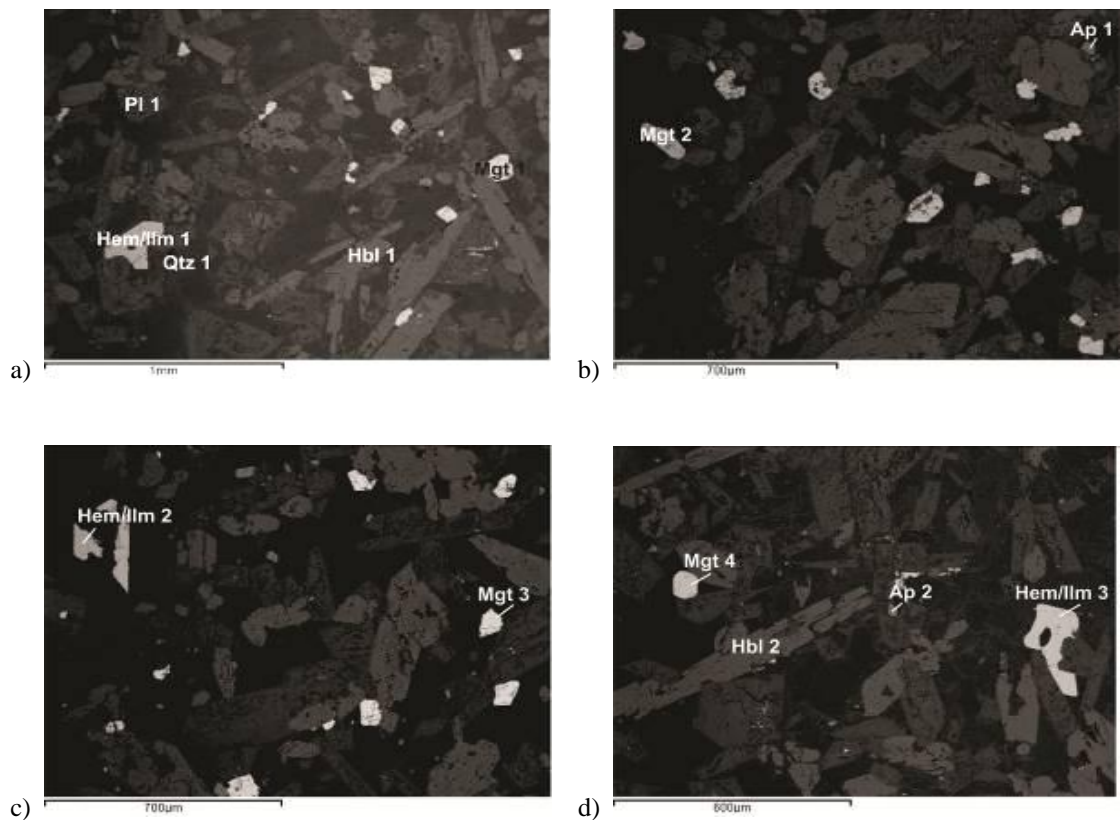
Slika 32: Holokristalasto porfirna struktura svežeg hornblenda andezita sa polja 20, (a- pod paralelnim, b – pod ukrštenim nikolima) horizontalna ivica snimka 6 mm;



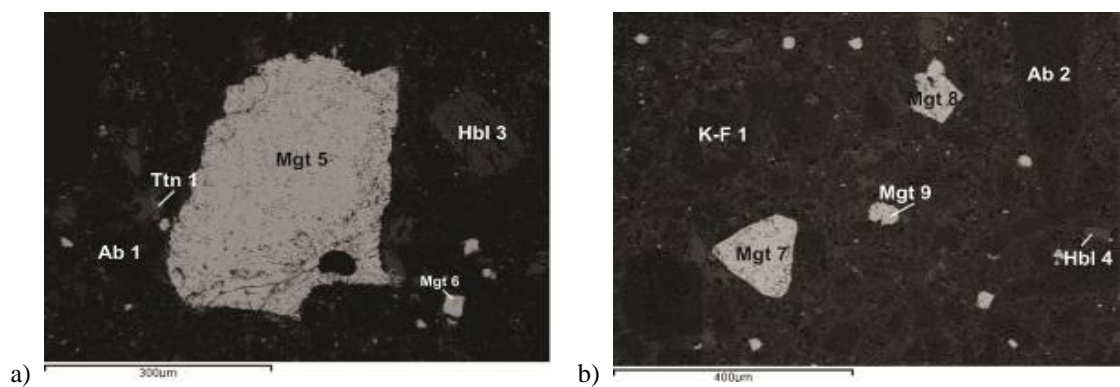
Slika 33: Delimično oksidisao hornblenda andezit polja 16 s fenokristalima plagioklasa kod kojih produkti alteracija prate primarnu magmatsku zonarnost (a- pod paralelnim nikolima, b- pod ukrštenim nikolima), horizontalna ivica snimka 6 mm.

5.1.1.2. Hemijski sastav minerala

Ispitivanja hemijskog sastava minerala obuhvatila su SEM-EDS analize dva primerka hornblenda andezita (polja 3 i 5). Urađeno je ukupno 25 SEM-EDS hemijskih analiza minerala na glavne okside. Rezultati su prikazani u tabeli 7, a mesta analiziranja su ilustrovana fotografijama koje su dobijene analizom odbijenih i rasutih elektrona (BSE – back-scatter electron) (slike 34 i 35). Hemijskim analizama konstatovano je prisustvo intermedijarnog plagioklasa - andezina, magneziohornblende, apatita, titanomagnetita, minerala iz hematit-ilmenitske serije, sfena, kvarca, albita i kalijskog feldspata. Rezultati su potvrdili da se primerci hornblenda andezita odlikuju visokim stepenom svežine, čak i kada je reč o finoizrnoj osnovnoj masi u kojoj je konstatovano prisustvo svežih mikrolita kalijskog feldspata i kiselog plagioklasa. O svežini najzastupljenijih silikata, plagioklasa i hornblende svedoči njihov veoma homogen hemijski sastav, što je takođe praćeno nepromenjenim oksidima, magnetitom i mineralom iz grupe hematit-ilmenit. U primerku sa polja 3 utvrđeno je zajedničko prisustvo svežih kristala Ti-magnetita (~5 % TiO_2) i smeše hematita-ilmenita (~30 % TiO_2) (slika 34). Ovo svedoči o tome da ove stene nisu podvrgnute promenama, jer navedeni minerali predstavljaju magmatske faze koje se u hidrotermalnom ciklusu veoma lako transformišu u smešu rutila i hidroksida gvožđa.



Slika 34: BSE slike osnovne mase svežih hornblenda andezita sa polja 3 (a,b,c,d). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 7). Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.



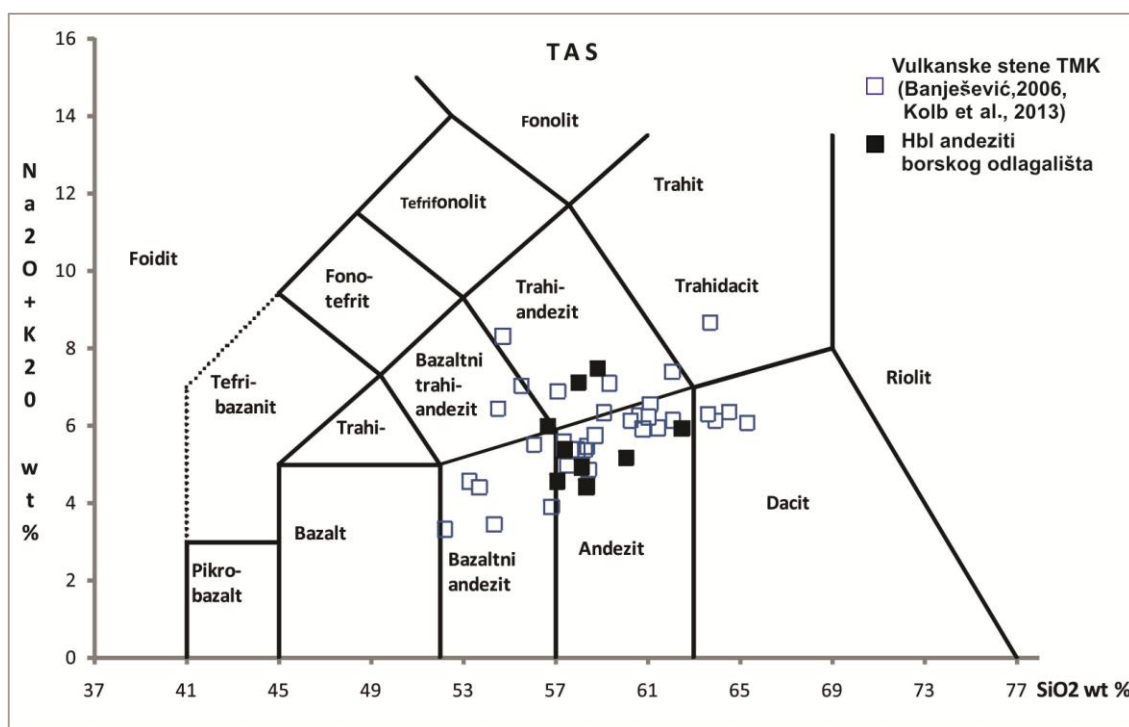
Slika 35: BSE slike osnovne mase svežih hornblenda andezita sa polja 5 (a i b). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 7). Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.

Tabela 7: Rezultati hemijskih analiza minerala prikazani kroz sadržaj glavnih oksida i elemenata (u tež %)

min,	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	F	Cl	V ₂ O ₅	SO ₃
POLJE 3														
Slika 34a														
Hem/ilm 1		31,5	0,72	64,7	2,06								1,08	
Mgt 1		5,81	3,32	87,3	1,05					1,3			1,17	
Hbl 1	44	1,87	13,5	12,5	14	11,1	1,99	0,59		0,31				
Pl 1	49,8		32,2	0,59		14,9	2,49							
Qtz 1	100													
Slika 34b														
Mgt 2		5,22	4,52	84,8	2,78					1,26			1,39	
Ap 1				0,45		51,6	0,42		42		3,35	1,44		0,69
Slika 34c														
Mgt 3		5,15	3,65	86,5	2,91					0,64			1,19	
Hem/ilm 2		32,7	0,61	64	2,2					0,42				
Slika 34d														
Hem/ilm 3		31,1	0,71	65,1	1,84								1,19	
Mgt 4		5,96	3,3	87,2	1,44					0,71			1,34	
Ap 2				0,38		50,3			44,2			1,79		0,79
Hbl 2	48,5	1,38	10,7	12,19	15,12	9,75	1,78	0,23		0,38				
Pl 2	53,9		29,05	0,27		12,9	3,88							
POLJE 5														
Slika 35a														
Mgt 5		4,91	2,87	89,6						1,38			1,23	
Mgt 6		4,34	1,23	92,3						1,21			0,91	
Hbl 3	45,6	1,69	13,24	8,38	16,6	11,7	1,97	0,77						
Ab 1	67,8		20,2			1,96	9,81	0,2						
Ttn 1	34,9	23,5	8,48	2,35		27,6					3,08			
Slika 35b														
Mgt 7		5,15	2,1	90,6						1,1			1,04	
Mgt 8		5,44	1,52	90,9						1,27			0,87	
Mgt 9		4,94	1,67	92,2									1,15	
Hbl 4	48	1,36	10,8	12	14,8	10,9	1,6	0,48						
Ab 2	69,1		19,1			0,61	11,1							
K-F1	66,7		17,8				1,99	13,5						

5.1.1.3. Geohemijske karakteristike

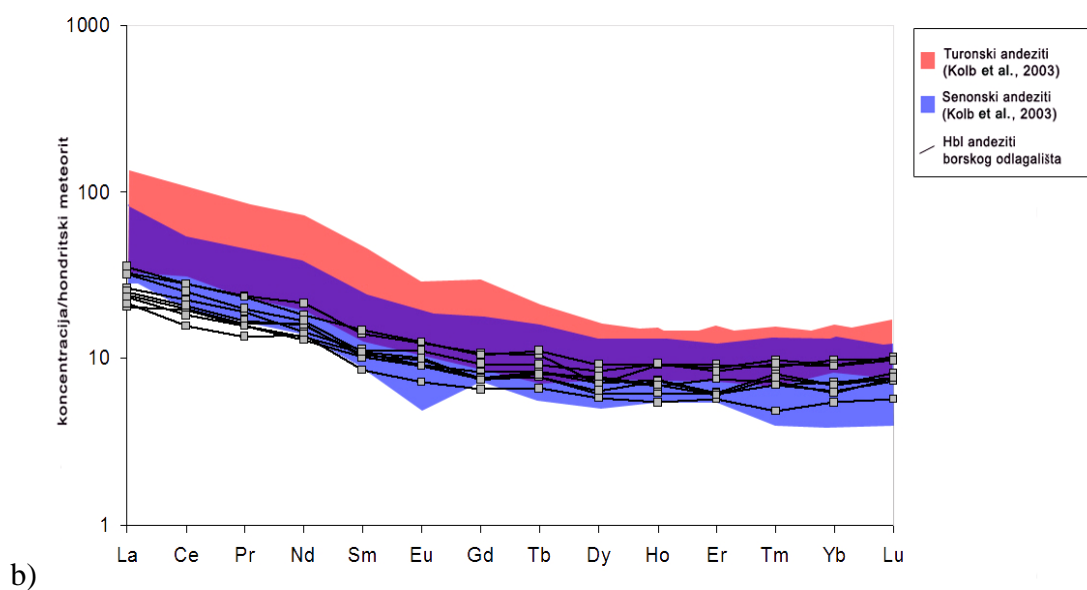
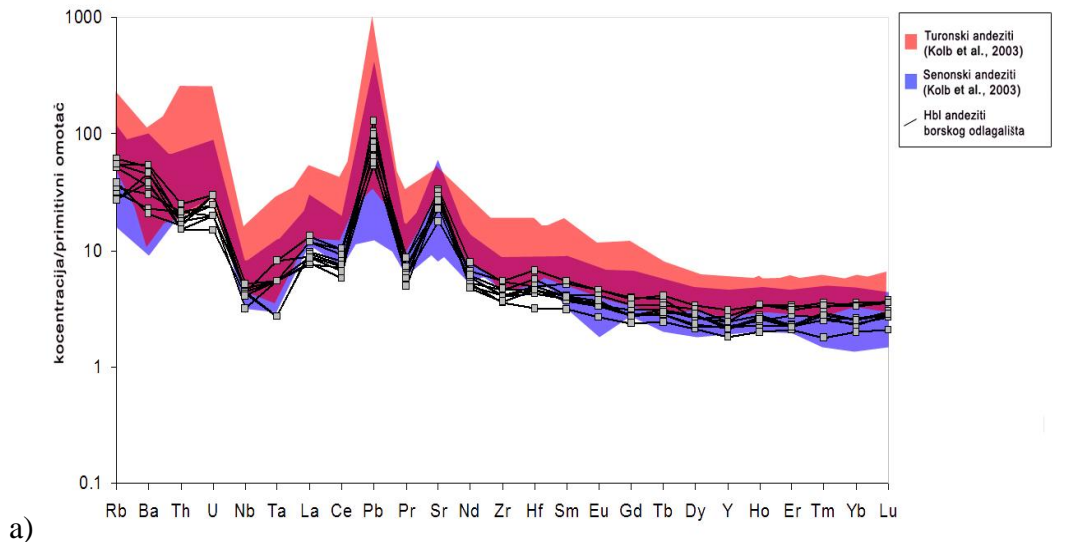
Prikaz osnovnih geohemijskih odlika izdvojene litološke grupe svežih hornblenda andezita dat je u tabeli 8. Analizirano je devet primeraka hornblenda andezita sa pet polja uzorkovanja. Svi analizirani primerci pokazuju relativno uniforman geohemijski karakter koji je sličan postojećim geohemijskim podacima o andezitima Timočkog magmatskog kompleksa (Banješević, 2006; Kolb et al., 2013). Na tzv. TAS dijagramu klasifikacije vulkanskih stena (TAS – total alkali vs silica; Le Maitre et al., 2002) analizirani primerci pretežno odgovaraju andezitima do trahiandezitima (slika 36). Vrednosti za LOI (loss on ignition - gubitak žarenjem) su uglavnom oko 5 % tež, uz tri primerka kod kojih ove vrednosti variraju između 8 i 10 % tež. Ove probe pokazuju i povišene koncentracije kalcijuma, pa se može pretpostaviti da je povećanje gubitka žarenja posledica prisustva submikroskopskih kalcitskih žilica u ovim stenama.



Slika 36: TAS-dijagram klasifikacije vulkanskih stena prema Le Maitre et al. (2002)

Na slikama 37a i 37b prikazani su multielementni dijagrami sadržaja elemenata u tragovima i elemenata iz grupe retkih zemalja, čije su koncentracije normalizovane na

sastav primitivnog omotača, odnosno hondritskih meteorita. Zapaža se da proučavani sveži hornblenda andeziti pokazuju generalno obogaćenje litofilnim elementima velikog jonskog radijusa (npr. Rb, Ba, Sr) kao i da pokazuju prisustvo tipične Nb-Ta negativne, odnosno Pb i Sr pozitivne anomalije. Pored toga, ispitivani primerci pokazuju povišene koncentracije elemenata lakih i srednjih retkih zemalja (La-Dy). S druge strane, primerci pokazuju ujednačene i relativno niske koncentracije onih elemenata čije obogaćenje bi ukazivalo na prisustvo petrogenetske veze s orudnjenjem. Tako su koncentracije bakra uglavnom ispod 180 ppm, cinka ispod 80 ppm, arsena ispod 10 ppm (izuzev jednog primerka), dok koncentracije kadmijuma ne prelaze 0,9 ppm.



Slika 37: Multielementni dijagrami sadržaja elemenata u tragovima (a) i elemenata iz grupe retkih zemalja (b) za turonske i senonske andezite Timočkog magmatskog kompleksa (Kolb et al., 2013) i sveže hornblenda andezite Borskog odlagališta; koncentracije elemenata u tragovima su normalizovane na sastav primitivnog omotača, a sadržaji elemenata iz grupe retkih zemalja na sastav hondritskih meteorita (koeficijenti normalizacije prema Mc Donough & Sun, 1995).

Tabela 8 : Sadržaj glavnih oksida i elemenata u tragovima u svežim hornblenda andezitima Borskog odlagališta

Lokacija		Polje 3	Polje 3	Polje 5	Polje 5	Polje 16	Polje 16	Polje 17	Polje 17	Polje 20
Uzorak		DS 3	DS 4	DS 8	DS 9	DS 18	DS 19	DS 20	DS 21	DS 24
SiO ₂	%	53,8	53,7	56,1	55,2	56,8	53,3	51,4	53,5	59,9
TiO ₂	%	0,56	0,53	0,43	0,48	0,49	0,45	0,38	0,4	0,39
Al ₂ O ₃	%	20	19,1	18,7	18,7	18,5	17,4	16,9	17,1	17,8
*Fe ₂ O ₃ ^t	%	5,27	5,39	5,42	5,83	5,41	5,61	4,69	4,94	4,73
MnO	%	0,09	0,11	0,09	0,1	0,09	0,12	0,08	0,09	0,08
MgO	%	2,97	2,75	2,6	2,97	3,64	3,31	2,56	2,89	2,77
CaO	%	6,44	6,78	4,81	4,97	4,66	6,97	9,83	8,34	4,39
Na ₂ O	%	4,63	3,74	4,77	4,4	2,97	2,57	2,69	3,03	3,19
K ₂ O	%	1,05	1,29	2,35	2,37	1,92	1,47	1,42	1,5	2,48
P ₂ O ₅	%	0,17	0,15	0,13	0,12	0,13	0,13	0,1	0,11	0,12
Cr ₂ O ₃	%	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
LOI	%	4,8	6,3	4,5	4,6	5,2	8,5	9,7	7,9	4
Sum	%	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,9	99,8	99,8	99,8
Sc	ppm	23	21	18	20	20	18	16	19	16
Ba	ppm	151	199	302	345	240	135	252	304	356
Be	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	11,8	10,2	10,5	13,3	11,6	11,6	10,1	11,4	9,6
Cs	ppm	0,8	0,6	0,6	0,8	1,5	2,4	0,6	0,5	1,3
Ga	ppm	15,3	14,5	14,2	14,8	15,7	14,2	11,8	13,1	14,5
Hf	ppm	1,4	1,9	1,3	1,4	1,6	1,2	0,9	1,3	1,3
Nb	ppm	3,1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,1	3,4
Rb	ppm	18,8	20,9	32,9	36,6	30,9	23	16,6	16,3	33,2
Sn	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	ppm	665	492	614	635	451	349	552	583	531

Ta	ppm	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Th	ppm	1,7	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	2
U	ppm	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6
V	ppm	205	209	214	221	199	191	178	182	164
W	ppm	<0,5	0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zr	ppm	55,9	57	43,1	43	47,6	41,9	37,3	38,1	49
Y	ppm	11,6	13,1	9,5	9,7	10,5	10,4	7,8	9,3	9,1
La	ppm	7,7	8,5	5,7	4,9	6,3	6	5,1	5,6	7,6
Ce	ppm	17,2	17,2	12,2	12	13,8	12,7	9,6	11,1	15,4
Pr	ppm	2,2	2,18	1,51	1,45	1,77	1,56	1,25	1,46	1,84
Nd	ppm	9,8	8,3	7,4	6,2	6,6	7,3	6,4	5,9	7,7
Sm	ppm	2,09	2,19	1,52	1,61	1,67	1,55	1,27	1,51	1,63
Eu	ppm	0,7	0,71	0,52	0,52	0,63	0,55	0,41	0,51	0,57
Gd	ppm	2,14	2,08	1,53	1,66	1,86	1,52	1,3	1,51	1,48
Tb	ppm	0,38	0,4	0,28	0,3	0,33	0,3	0,24	0,28	0,29
Dy	ppm	1,72	2,25	1,52	1,85	2,08	1,76	1,43	1,58	1,92
Ho	ppm	0,5	0,5	0,34	0,37	0,51	0,41	0,3	0,4	0,38
Er	ppm	1,48	1,41	0,99	1,21	1,34	1	0,91	0,98	0,97
Tm	ppm	0,22	0,24	0,17	0,18	0,23	0,2	0,12	0,17	0,19
Yb	ppm	1,58	1,48	1,04	1	1,45	1,11	0,88	1,16	1,11
Lu	ppm	0,24	0,25	0,18	0,19	0,24	0,2	0,14	0,19	0,19
TOT/S	%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,44	0,46	<0,02	<0,02	<0,02
Mo	ppm	0,1	0,2	0,9	0,6	0,2	0,6	0,2	0,3	0,4
Cu	ppm	99,4	124	118	127	178	179	224	65,6	159
Pb	ppm	9,5	12,7	11,2	11,2	8	15,7	19,5	8,4	14,8
Zn	ppm	41	44	49	58	52	77	53	31	71
Ag	ppm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ni	ppm	2,2	2,1	2,7	3	3	3,6	2,4	2,4	5,8
As	ppm	4,1	5,3	15,6	9,1	2,6	7,8	9,9	5,9	7,5
Au	ppb	2,2	2,5	0,9	4,1	1	5,7	2,3	8	4,6
Cd	ppm	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,9	<0,1	0,4
Sb	ppm	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Bi	ppm	<0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,2	0,2	0,4	0,2
Hg	ppm	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	<0,01	0,01
Tl	ppm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	0,6	<0,5	<0,5	<0,5
OBJAŠNJENJE: *Fe ₂ O ₃ ^t – Ukupno gvožđe kao Fe ₂ O ₃ , mešavina oksida i hidroksida; LOI – gubitak žarenjem										

5.1.2. Alterisani hornblenda andeziti

5.1.2.1. Petrološke karakteristike

U grupu alterisanih hornblenda andezita na ovom području svrstani su hidrotermalno, odnosno okolorudno promjenjeni andeziti. Ovakve mase alterisanih hornblenda andezita su po pravilu intenzivno grusifikovane, tako da se na odlagalištu pojavljuju u obliku manjih ili većih stenskih blokova koji 'izviruju' iz sitnozrnog grusa (slika 42). Pored toga, u grusu koji prati alterisane andezite često se nalaze odlomci agregata kristala gipsa koji predstavlja čest produkt alteracija hornblenda andezita.

Alterisani hornblenda andeziti pokazuju različitu boju, najverovatnije zavisno od vrste i stepena hidrotermalnih alteracija kojima je primarno svež andezit bio podvrgnut, kao i od kasnijih procesa površinskog raspadanja. Najčešći su alterisani andeziti žućkaste (slika 41) i crvenkaste boje ili boje rđe (slika 38), pri čemu je intenzitet crvenkaste boje direktno povezan sa pojavom limonita. Na nekim mestima se zapaža i prisustvo zona različite boje, najčešće jedne od prethodno pomenutih i sive, koja predstavlja boju svežih andezita (slika 39). U slučaju prisustva ovih različito obojenih zona reč je najverovatnije o blokovima andezitske stenske mase koja je nehomogeno zahvaćena hidrotermalnim promenama (slika 40).

Delovi koherentnih alterisanih andezita pokazuju takođe različitu strukturu. U pojedinim slučajevima se mogu zapaziti ostaci porfirske strukture, kada se prema veličini i obliku kristala može zaključiti da je primarna stena isključivo odgovarala hornblenda andezitu. U drugim slučajevima struktura stene je potpuno prekrivena, što znači da su primarni magmatski minerali potpuno promjenjeni u agregate sekundarnih faza, kao što su sericit, hlorit, minerali glina, zeolit, gips, kalcit, epidot, oksidi i hidroksidi gvožđa i dr. Alterisani andeziti po pravilu sadrže i izvesnu količinu rudnih minerala, najčešće pirita i halkopirita, koji se pretežno pojavljaju u vidu sitnozrnih mlazeva i žilica.



Slika 38 : Rđasti i fizički delimično raspadnut andezit sa polja 8



Slika 39: Sivi i fizički delimično raspadnuti andezit na polju 9



Slika 40: Sivi raspadnuti andezit i grusifikovani izmenjeni andezit sa polja 12



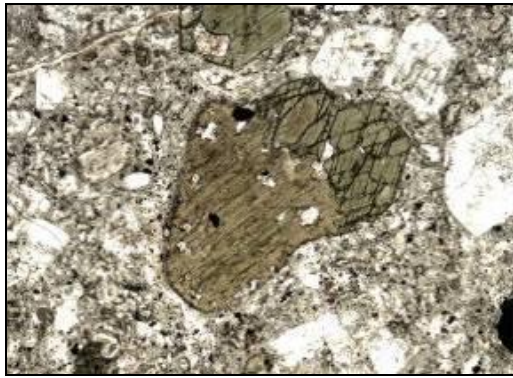
Slika 41: Grusirani hidrotermalno izmenjeni andezit sa polja 28



Slika 42: Delimično alterisani i limonitisani andezit sa polja 26

Primerici alterisanih hornblenda andezita po pravilu pokazuju različite vrste reliktnih porfirskih struktura. Pretežno je to hipokristalasto-porfirska struktura, ponekad sa elementima poikilitske i serijatne strukture, kao i holokristaporfirska struktura sa holokristalastom osnovnom masom. Tekstura ovih stena je masivna i homogena, a homogenost je kod nekih primeraka narušena prisustvom traka i gnezda sekundarnih minerala. Od primarnih sastojaka, nastalih u magmatskoj fazi, ove stene sadrže relikte fenokristala plagioklasa, amfibola i biotita, kao i akcesorne minerale, pretežno Fe-Ti okside, sfen, apatit i cirkon. Osnovna masa je bila primarno izgrađena od istih sastojaka, ali je najčešće potpuno alterisana u hidrotermalnoj fazi. U pojedinim primercima su fenokristali ostali prilično sveži, dok je samo osnova intenzivno propilitisana (slika 43). Sekundarni minerali su veoma zastupljeni i predstavljeni su sericitom, hloritom, epidotom, kalcitom, kvarcom, mineralima glina i praškastim neprovidnim mineralima.

Plagioklasi čine dominantni sastojak stene i alterisani su u različitom stepenu, ali im je forma najčešće očuvana. Najvažniji procesi alteracije plagioklasa su kalcitizacija (delimična ili potpuna), a podređeno i sericitazija i epidotizacija (slika 44). Veoma često i pored alteracija pokazuju sačuvane tragove polisintetičkog bližnjenja i izraženu zonarnost.

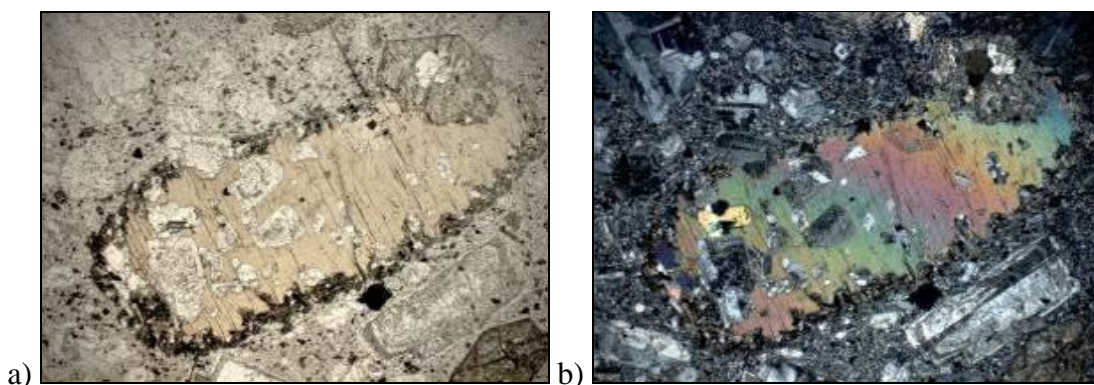


Slika 43: Dobro očuvana porfirna struktura andezita sa polja 8 čija je osnova intenzivno alterisana; ppl, horizontalna ivica snimka 3 mm.

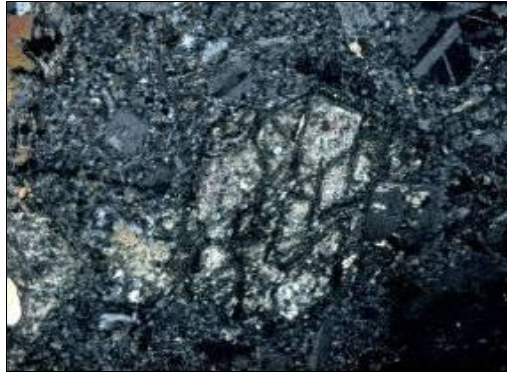


Slika 44: Relikti porfirne strukture u propilitisanom andezitu sa polja 9; zapaža se veći stepen alteracije plagioklasa nego na slici 43; ppl, horizontalna ivica snimka 6 mm

Hornblenda je obično veoma pravilnog oblika i u nekim primercima pokazuje veoma dobro sačuvan polihroizam. Ponegde je ispucala ili dezintegrisana, oksidisala ili sa promenom boje, što je uglavnom posledica hloritizacije. Kod pojedinih primeraka hornblenda je i kalcitizirana, kada se jedino prema sačuvanim tragovima cepljivosti može zaključiti da je reč o bivšem amfibolu (slika 46). Biotit je u mnogim primercima u velikom stepenu očuvan, uz čestu pojavu opacitizacije po rubovima krupnih kristala. Pojedini takvi kristali biotita sadrže uklopljene kristale plagioklasa (slika 45a, b).



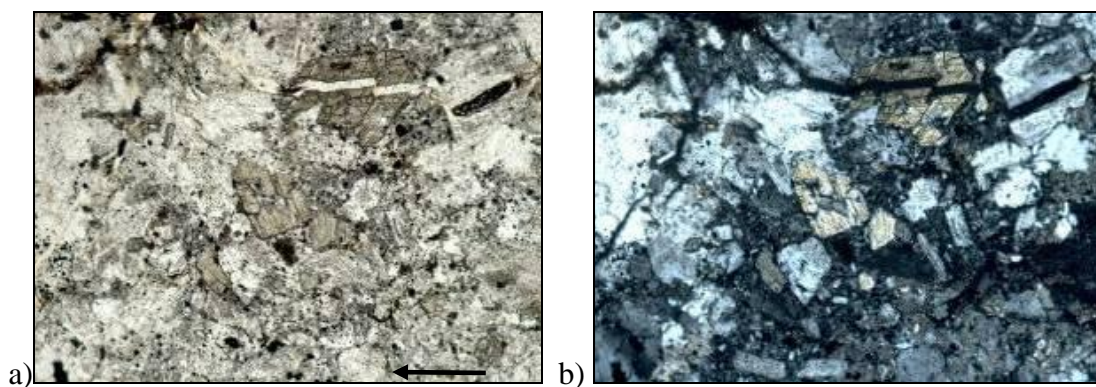
Slika 45: a) Svež fenokristal biotita s opacitkim rubom i sa uklopljenim euhedralnim kristalima plagioklasa, polje 12, ppl, horizontalna ivica snimka 6 mm, b) 21 Slika 45a pod ukrštenim nikolima



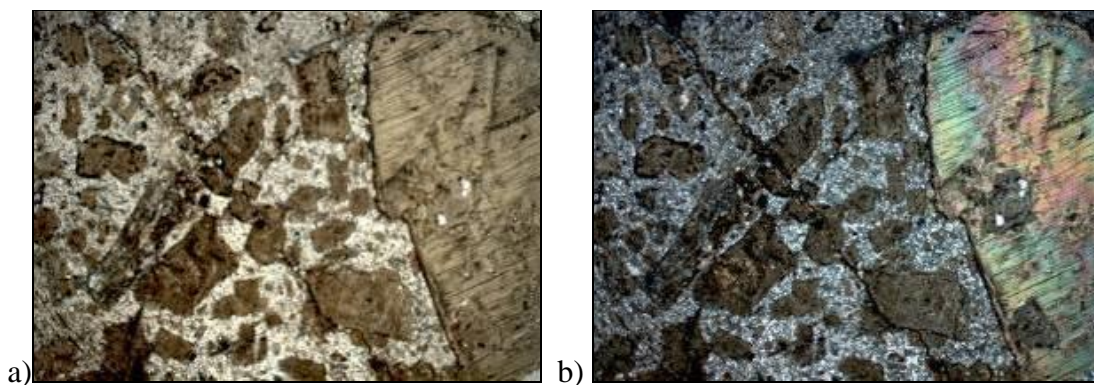
Slika 46: Potpuno kalcitisan i hloritisan fenokristal hornblende sa dobro vidljivim tragovima amfibolske cepljivosti, polje 12, xpl, horizontalna ivica snimka 3 mm

Metalični minerali javljaju se kao sporedni ili retki, u količini <1% ukupne zapremine. Pojavljuju se dvojako: kao praškasta faza u opacitskim rubovima oko biotita, po amfibolima i u osnovnoj masi ili u vidu individualnih krupnijih zrna. Čine ih uglavnom magnetit, hematit, ilmenit i titanit, dok pojedini primerci alterisanih andezita sadrže pirit i halkopirit u vidu slabih impregnacija.

Sekundarni minerali su veoma zastupljeni u ovoj litologiji. Njihovo obrazovanje je vezano za procese alteracija primarnih magmatskih minerala andezita. Najvažniji tipovi konstatovanih alteracija jesu propilitizacija, koja se odlikuje obiljem hlorita, epidota, kalcita, leukoksena i praškastih oksida i hidroksida gvožđa (sl. 2, 3), zatim sericitizacija, adularizacija (sl. 47a,b) i neobiotitizacija (sl. 48a,b).



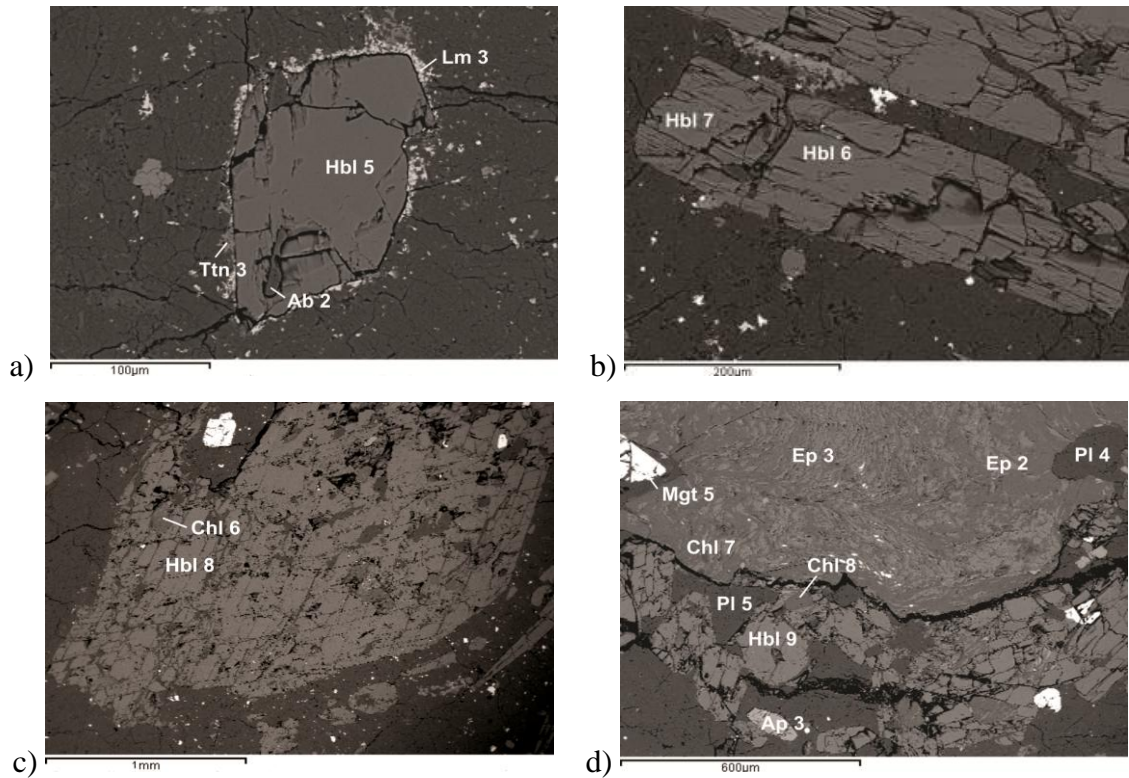
Slika 47: a) Propilitisan i K-feldspatisan andezit s vidljivim kristalima adulara (strelica), polje 25, ppl, horizontalna ivica snimka 1.5 mm, b) Slika 47a pod ukrštenim nikolima.



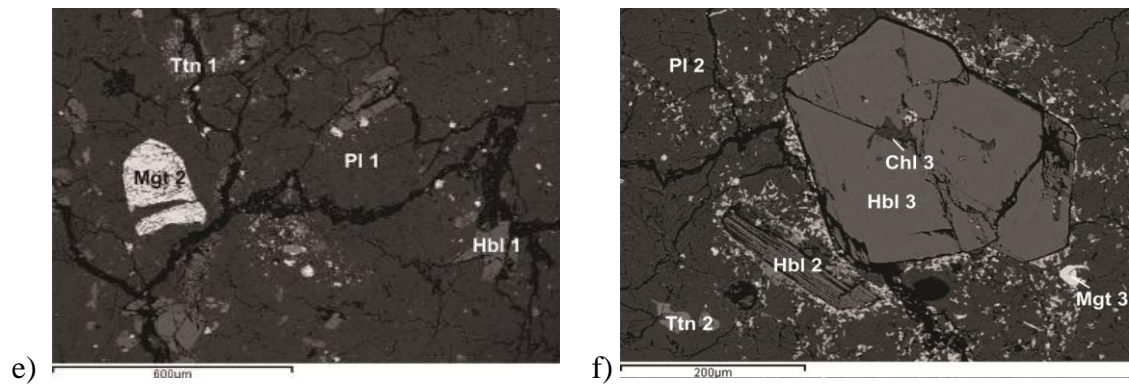
Slika 48: a) Neobiotit u alterisanom andezitu, polje 26, ppl, horizontalna ivica snimka 6 mm, b) Slika 48a pod ukrštenim nikolima.

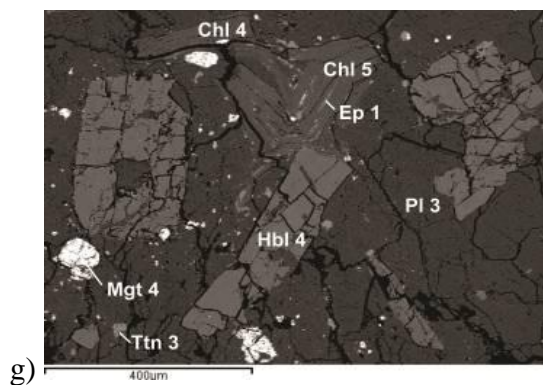
5.1.2.2. Hemijski sastav minerala

Ispitivanja hemijskog sastava minerala obuhvatila su SEM-EDS analize primeraka alterisanih andezita (polja 3 i 5). Rezultati su prikazani u tabeli 9, a BSE fotografije na slikama 49 - 51. Ispitivanja skenirajućim elektronskim mikroskopom su pokazala da su najčešći tipovi hidrotermalnih promena kaolinitizacija, sericitizacija, silifikacija i propilitizacija, a da se povremeno javlja i neobiotitizacija. Kaolinit i sericit često grade agregate koji pseudomorfno zamenjuju nekadašnje fenokristale plagioklasa (npr. slika 51 h,j,k,l,o,p) ili, ređe, nepravilna nagomilanja udružena s hidrotermalnim kvarcom i zrnima halkopirita (slika 51n). Propilitizacija je predstavljena prisustvom hlorita, epidota, ankerita i kalcita, koji grade agregate nepravilnog oblika (npr. slika 49d). Ankerit se javlja i u vidu mlazeva i žilica koji su često raspoređeni oko nekadašnjih fenokristala (slika 51o,p). Limonit se nalazi u vidu praškastih nagomilanja i najverovatnije je nastao u površinskom ciklusu.



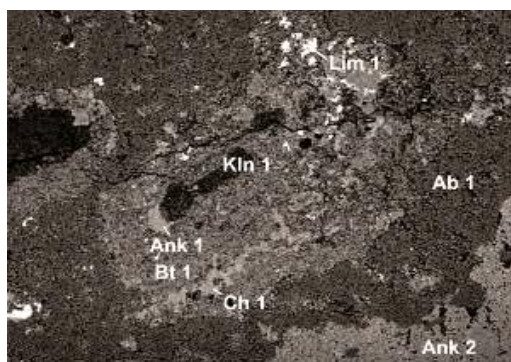
Slika 49: BSE slike osnovne mase alterisanih hornblenda andezita sa polja 9 (a,b,c,d). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 9). Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.



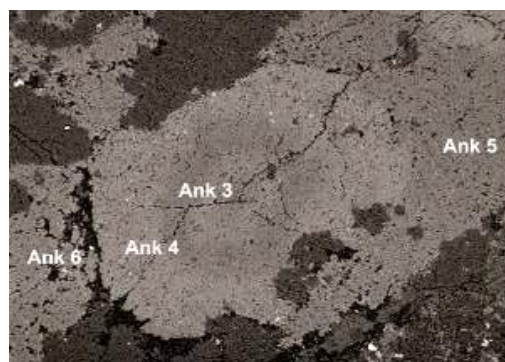


g)

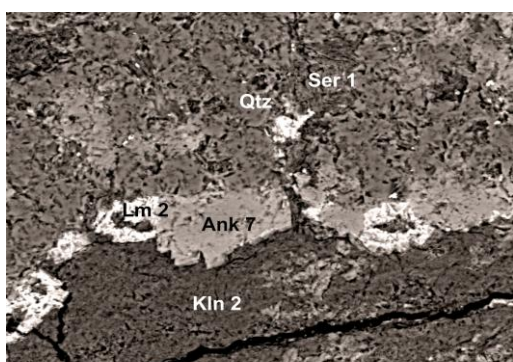
Slika 50: BSE slike osnovne mase alterisanih hornblenda andezita sa polja 25 (e,f,g). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 9). Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.



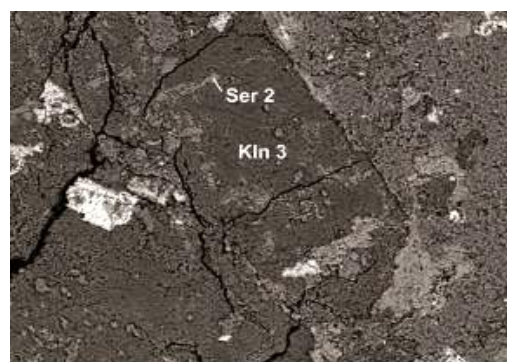
h)



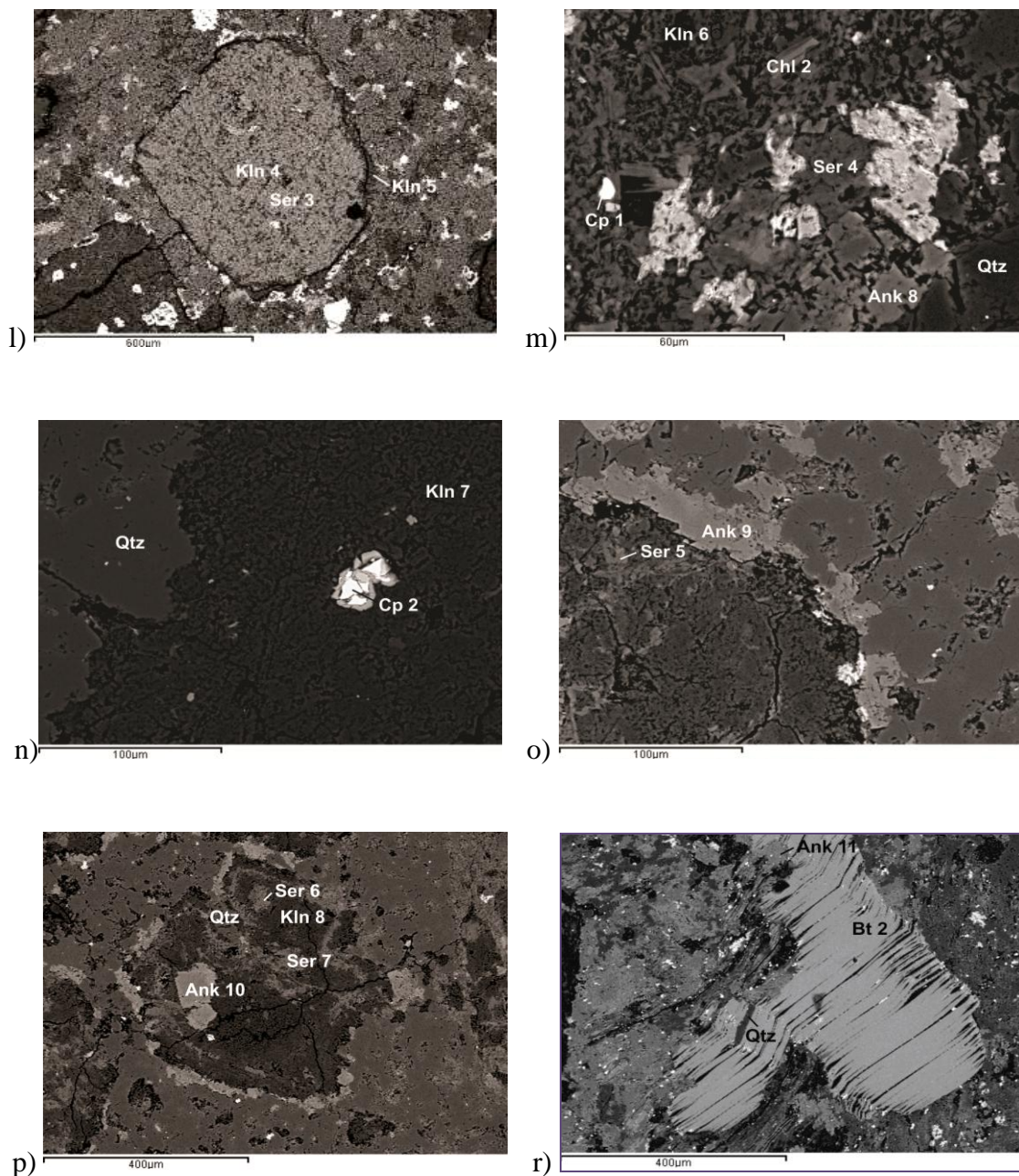
i)



j)



k)



Slika 51: BSE slike osnovne mase alterisanih hornblenda andezita sa polja 26 (h,i,j,k,l,m,n,o,p,r). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 9). Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.

Tabela 9: Rezultati hemijskih analiza minerala prikazani kroz sadržaj glavnih oksida i elementa (u tež%)

min.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	CuO	V ₂ O ₅	SO ₃	F	Cl	P	S	Fe	Cu
POLJE 9																		
Slika 49a																		
Hbl 5	1,42	15,3	9,89	49,2	0,18	10,1	0,84	0,56	12,6									
Lm 3	1,15	1,5	4,09	10,3		0,97	1,64		80,4									
Ab 2	11,3		19,1	68,7		0,88												
Ttn 3	1,13		7,04	38,4		25,7	23,6		4,03									
Slika 49b																		
Hbl 6	1,71	14,7	10,7	47,6	0,3	10,4	1,19	0,55	12,8									
Hbl 7	1,53	15,2	9,85	48,9	0,31	10,1	1,14	0,53	12,5									
Slika 49c																		
Hlb 8	1,15	14,9	8,5	49,7	0,34	10,4	0,89	0,83	13,3									
Chl 6		23,6	17,8	37		0,75	2,56	0,73	17,6									
Slika 49d																		
Chl 7		23,8	17,6	37,7		0,71	2,92	0,94	16,3									
Ep 2		2,5	19,8	42		23	0		12,8									
Chl 8		24	17,8	38,2		0,58	2,87	1,07	15,4									
Hbl 9	1,23	15,9	9	49,8	0,25	10	1,13	0,56	12,1									
Ap 3						51,2			0,52				2,15	1,39	44,7			
Mgt 5		2,7	3,5				5,31	0,66	87,1		0,71							
Pl 4	0,91		22,3	64,9	0,54	11,4												
Pl 5	0,63		22,8	64,1	0,52	12												
Ep 3		2,98	22,1	42,3		23,3			9,36									
POLJE 25																		
Slika 50e																		
Mgt 2		1,58	3,39				4,88	0,9	88,3		0,94							
Hbl 1	2,17	15,5	12,2	45,2	0,5	11,8	2,07		10,6									
Pl 1	5,65		21,5	65,1	0,18	7,65												
Ttn 1	0,59		7,32	38,1		24,3	23,5		2,8				3,33					
Slika 50f																		
Hbl 2	1,48	14,9	9,95	48,5	0,32	10,6	1,64	0,53	12,1									
Chl 3	23,1	15,7	48,1	0,57	1,39			10,7	100				0,41					
Pl 2	2,95		22,3	64,4	0,39	9,99												
Hbl 3	1,64	14,6	11,3	47,6	0,44	11,2	1,6		11,6									
Ttn 2			5,81	35,2		27,1	25,6		3,15				3,23					
Mgt 3		0,8	1,32				5,38	1,07	90,6		0,86							
Slika 50g																		
Mgt 4		0,69	3,48				5,99	1,06	87,7		1,08							
Hbl 4	1,55	14,7	10,6	48,4	0,41	10,7	1,09	0,46	12									

Chl 4		20,3	17,5	39,8		3,06	3,97	0,83	14,5									
Ep 1		3,84	19,4	42,3		23,1			10,9		0,53							
Chl 5		20	17,2	41,9		1,95	2,72	0,91	15,2									
Pl 3	0,29		23,9	62,2	0,29	13,3												
Ttn 3	0,38		6,26	35		27,4	25,1		2,96							2,9		
POLJE 26																		
Slika 51h																		
Bt 1		6,33	28,6	51,3	7,84		0,35		5,58									
Ank 1		28,7				52,1		0,62	18,6									
Chl 1		16,7	24,2	40	2,73				16,4									
Kln 1		0,43	41,1	56,2	1,47				0,82									
Ab 1	9,21		17,9	72,5		0,37												
Lm 1		12,8	8,13	17,4	1,9	0,86		2,44	55,4	1,07								
Ank 2		29,7				52,8		0,8	16,7									
Slika 51i																		
Ank 3		30,5		15,5		54		0										
Ank 4		24,5		20,8		54,7		0										
Ank 5		29,2		17		52,5		1,27										
Ank 6		28,4		18		52,5		1,1										
Slika 51j																		
Kln 2	0,81	38,3	58		1,47	0,55			0,88									
Ank 7	27,3					52,9		0,62	19,2									
Lm 2	20,4	1,02	1,68			2,07		4,12	70,8									
Ser 1	2,17	30,7	56,8		7,69				2,65									
Slika 51k																		
Ser 2	1,04	33,9	53,6		10,1				1,36									
Kln 3	0,56	41,1	56,5		0,61	0,4			0,75									
Slika 51l																		
Kln 4	0,87		43,5	53,5	0,43	0,37						0,62		0,74				
Kln 5		0,67	39,6	57,5	1,08	0,45			0,7									
Slika 51m																		
Ank 8		25,2				51,6		1,53	21,7									
Chl 2		12,4	25,8	44,1	3,51				14,2									
Ser 4	0,34	1,73	31,8	54,5	9,59				2,04									
Qtz				100														
Kln 6	0,56	0,32	39,1	58	1,01	0,3			0,65									
Slika 51n																		
Kln 7			42,8	57,2														
Cp 2																38,2	29,6	32,2
Slika 51o																		
Ank 9		30,7				51,5			17,8									
Ser 5		0,89	33,6	54,5	10				1,05									
Slika 51p																		
Kln 8		0,35	41,6	56,9	0,32	0,3			0,49									

Ser 6		1,25	34,7	53	10				1,01								
Ank 10		30,8				50		0,53	18,7								
Ser 7		1,7	32,8	54,6	9,66				1,27								
Slika 51r																	
Bt 2	0,52	17,8	15,6	41,2	9,17				12								
Ank 11		26,2						1	18,7								

5.1.2.3. Geohemijske karakteristike

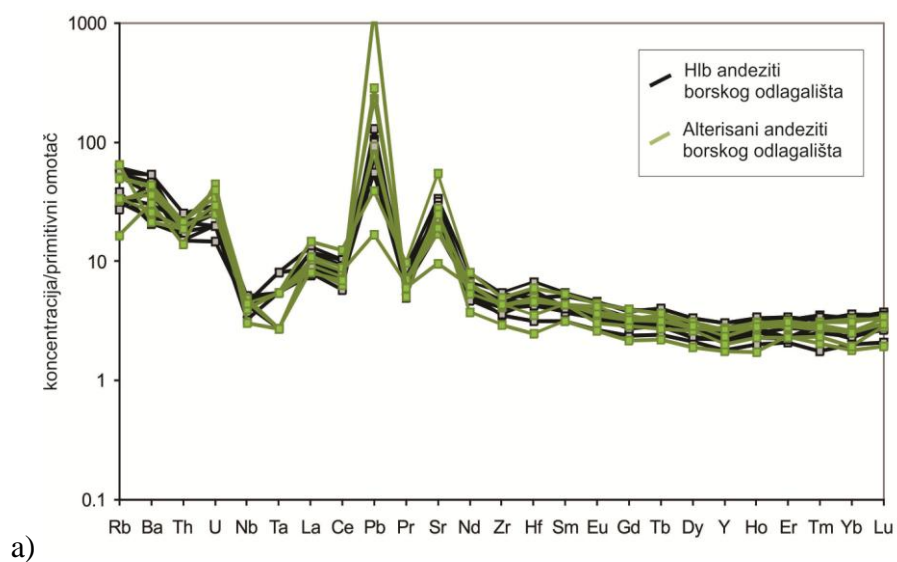
U tabeli 10 su dati sadržaji glavnih oksida i elemenata u tragovima za sedam primeraka alterisanih hornblenda andezita sa pet različitih polja. Prema multielementnim dijagramima elemenata u tragovima i elemenata iz grupe retkih zemalja, čije su koncentracije normalizovane na sastav primitivnog omotača, odnosno na sastav hondritskih meteorita (slika 52a,b), proizilazi da su izmenjeni andeziti geohemijski slični svežim hornblenda andezitima, odnosno tipičnim turonskim andezitima Timočkog magmatskog kompleksa.

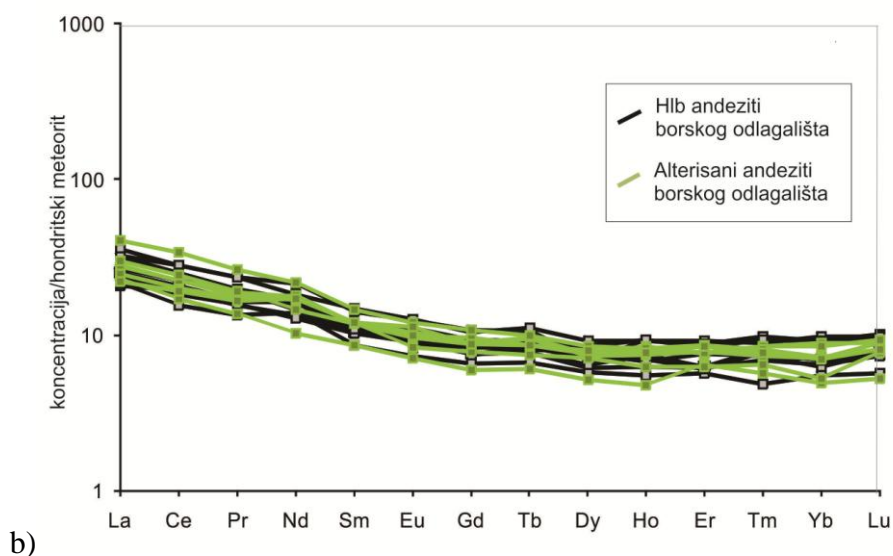
Tabela 10 : Sadržaj glavnih oksida i elemenata u alterisanim andezitima Borskog odlagališta

Lokacija		Polje 8	Polje 9	Polje 9	Polje 12	Polje 25	Polje 25	Polje 26
Uzorak		DS 13	DS 14	DS 15	DS 16	DS 25	DS 26	DS 27
SiO ₂	%	42,2	51,8	54,8	54,8	52,2	63	55,8
TiO ₂	%	0,33	0,49	0,44	0,48	0,51	0,4	0,55
Al ₂ O ₃	%	13,6	18,4	16,9	18	17,6	16,8	18,7
Fe ₂ O ₃	%	3,51	5,55	5,16	5,52	5,28	4,06	6,39
MgO	%	1,36	3,51	3,71	2,46	3,08	1,25	2,75
CaO	%	18,7	7,13	5,35	7,39	7,96	3,38	2,86
Na ₂ O	%	1,88	2,69	3,71	2,91	2,74	1,55	2,56
K ₂ O	%	0,73	1,34	1,36	1,54	1,04	1,56	1,47
P ₂ O ₅	%	0,07	0,12	0,11	0,11	0,17	0,09	0,13
MnO	%	0,05	0,12	0,12	0,18	0,1	0,05	0,14
Cr ₂ O ₃	%	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

LOI	%	17,3	8,7	8,2	6,4	9	7,6	8,3
Sum	%	99,7	99,8	99,8	99,8	99,8	99,7	99,6
Sc	ppm	14	21	19	22	20	15	24
Ba	ppm	202	169	263	278	240	289	142
Be	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	6,2	12,9	12,7	13,8	11,3	6,3	13,1
Cs	ppm	0,4	1	1,1	5,6	0,7	1,7	3,6
Ga	ppm	11,4	16,2	13,6	15,5	14,7	13,3	16,3
Hf	ppm	0,7	1	1,4	1,3	1,7	1,4	1,3
Nb	ppm	2	2,6	2,6	3	2,6	3,2	2,9
Rb	ppm	9,8	20	19,3	30,3	20,3	29,7	38,5
Sn	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	2	1
Sr	ppm	549	336	460	498	1085	383	190
Ta	ppm	<0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Th	ppm	1,1	1,5	1,5	1,7	1,6	1,7	1,5
U	ppm	0,9	0,6	0,6	0,7	0,5	0,8	0,6
V	ppm	118	216	191	206	186	148	209
W	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2	1,3
Zr	ppm	30,6	45,3	42,7	45,5	52,3	44,7	45,6
Y	ppm	7,6	11,4	11,4	12	11,5	8,7	10,1
La	ppm	5,4	6,6	5,9	6,7	9,6	7,1	5,2
Ce	ppm	10,5	13,8	12,4	13,8	20,7	14,8	11,7
Pr	ppm	1,27	1,74	1,62	1,67	2,45	1,78	1,53
Nd	ppm	4,7	8,1	8,2	7,7	10	6,7	7,8
Sm	ppm	1,28	1,76	1,75	1,76	2,17	1,76	1,77
Eu	ppm	0,4	0,59	0,54	0,56	0,68	0,47	0,64
Gd	ppm	1,18	1,77	1,74	1,92	2,14	1,56	1,75
Tb	ppm	0,22	0,35	0,34	0,31	0,36	0,27	0,31
Dy	ppm	1,28	1,85	1,82	1,85	2,09	1,76	1,95
Ho	ppm	0,26	0,46	0,41	0,45	0,45	0,34	0,42
Er	ppm	1,03	1,22	1,25	1,23	1,38	1	1,35
Tm	ppm	0,14	0,21	0,18	0,21	0,2	0,16	0,19
Yb	ppm	0,79	1,44	1,14	1,37	1,16	0,85	1,12
Lu	ppm	0,13	0,22	0,22	0,23	0,2	0,19	0,2

TOT/C	%	3,08	0,54	0,53	0,76	0,34	0,7	0,78
TOT/S	%	0,7	0,03	0,13	1,27	<0,02	0,44	0,66
Mo	ppm	0,6	0,2	0,2	0,7	0,1	1,8	4,9
Cu	ppm	922	478	236	185	212	1481	2028
Pb	ppm	196	11,7	13,9	2,5	5,8	34,8	43
Zn	ppm	207	100	74	55	35	49	149
Ag	ppm	3,3	0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,6	0,1
Ni	ppm	1,8	4,4	4,6	4,6	2,6	20,1	6,2
As	ppm	22,8	6,6	4,4	2,3	3,9	190,6	37,6
Au	ppb	57,6	4,3	5,1	8,4	2,8	36,3	20,8
Cd	ppm	1,8	1	0,9	0,2	<0,1	0,4	2,5
Sb	ppm	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	<0,1
Bi	ppm	3,5	0,1	0,2	0,1	<0,1	0,8	0,7
Hg	ppm	0,2	0,07	0,04	0,06	0,02	1,08	0,05
Tl	ppm	0,5	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	0,2	0,1
Se	ppm	1,2	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	1,8	1,7





Slika 52: Multielementni dijagrami sadržaja elemenata u tragovima (a) i elemenata iz grupe retkih zemalja (b) za sveže hornblenda andezite i izmenjene andezite Borskog odlagališta; koncentracije elemenata u tragovima su normalizovane na sastav primitivnog omotača, a sadržaji elemenata iz grupe retkih zemalja na sastav hondritskih meteorita (koeficijenti normalizacije prema Mc Donough & Sun, 1995).

5.1.3. Dvostruka litologija

5.1.3.1. Petrološke karakteristike

Grupu dvostrukih litologija čine polja u kojima je konstatovano kombinovano prisustvo andezita i sedimentnih stena, bilo kao posledica prirodnog rasporeda stenskih masa u procesu otkopavanja, bilo kao slučajni proizvod nanošenja otkopanog stenskog materijala. Sedimente u istraživanom prostoru čine konglomerati, breče, krupnozrni do sitnozrni peščari, alevroliti, peskoviti i alevrolitski krečnjaci, laporci i glinci pretežno turonske i senonske starosti. Na ispitivanim poljima sa dvostrukom litologijom preovlađuje kombinacija andezita i laporca i kombinacija andezita i sitnozrnih klastičnih sedimenata (alevrolita ili peščara).



Slika 53: Crveni laporac i sivi andezit, raspadnut na polju 13



Slika 54: Blokovi peščara ispred silifikovane i piritisane stene na polju 38



Slika 55: Timocit i alevrolitski sediment sa polja 4

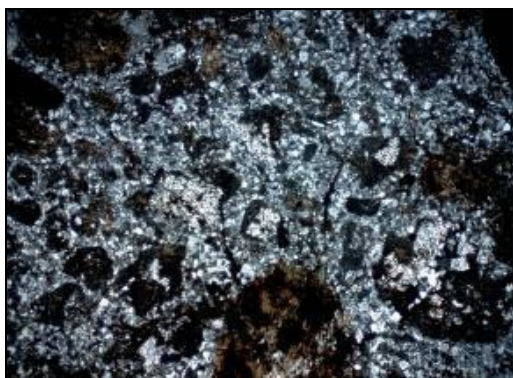


Slika 56: Peščar i andezit na polju 39

Polja koja su svrstana u grupu dvostrukih litologija karakterišu se prisustvom hornblenda andezita, uglavnom svežih do slabo promenjenih i različitog sklopa (slike 53 i 56), koji su udruženi sa sedimentnim stenama (slike 53-56). Ove sedimentne stene su predstavljene laporcima, alevrolitima, sitnozrnim peščarima i krečnjacima.

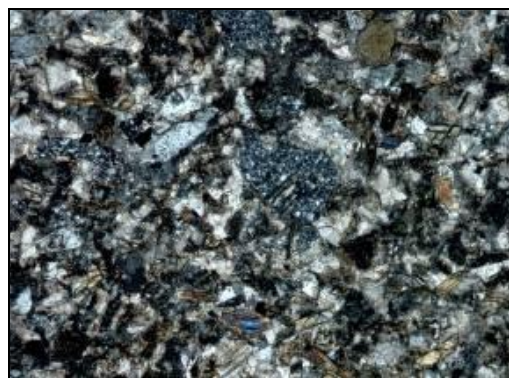
Andezitske stene pokazuju porfirsku strukturu s hipo- do holokristalastom osnovnom masom. Pored mikrolita i stakla, koji su nastali u magmatskoj fazi, osnovna masa ovih andezita često sadrži i kvarc i kalcit koji su hidrotermalnog porekla. Andeziti

su generalno izgrađeni od plagioklasa, hornblende i, ređe, biotita, dok su akcesorni magnetit i apatit. Pored kalcita i kvarca, od sekundarnih minerala zapažaju se hlorit i oksidi i hidroksidi gvožđa. Kod pojedinih primeraka andezita izdvajanje gvožđa je toliko intenzivno da im je porfirna struktura jedva prepoznatljiva (slika 57). Plagioklasi, hornblenda i biotit pokazuju očuvane forme fenokristala, ali su uvek u izvesnom stepenu alterisani (slika 59 i 60). Na pojedinim mestima može se zapaziti i da su fizički dezintegrisani. Plagioklasi su uglavnom kalcitisani, hornblenda je opacitirana i hloritisana ili se po njoj javljaju prsline ispunjene limonitom, dok je biotit ili dezintegrisan, sa još uvek uočljivim listastim agregatima, ili je po obodu intenzivno hloritisan.



Slika 57: Reliktna porfirna struktura u andezitu sa polja 4 kod kojeg je došlo do intenzivnog izdvajanja oksida i hidroksida gvožđa, xpl, horizontalna ivica snimka 6

mm



Slika 58: Alevrolitski odlomci na polju 4 vezani karbonatnim vezivom, xpl, horizontalna ivica snimka 1,5 mm

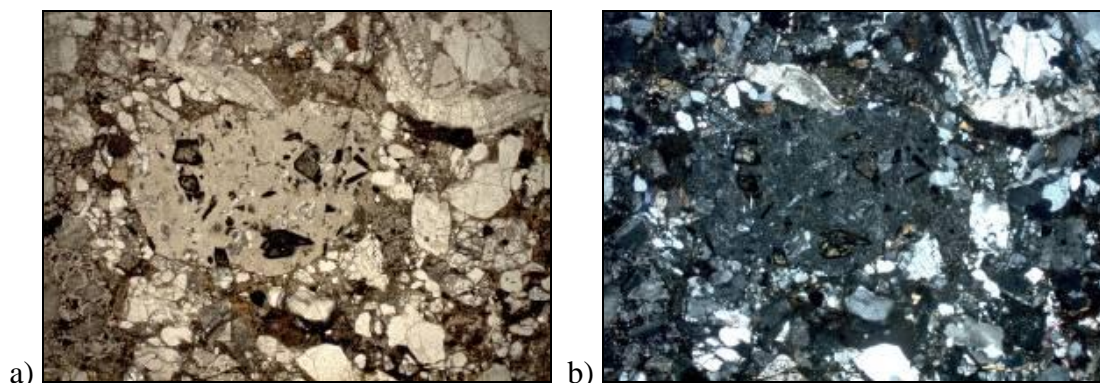


Sl. 59: Relikt fenokristala hornblende u delimično propilitisanom andezitu sa polja 13, hbl-ppl, horizontalna ivica snimka 1.5 mm



Slika 60: Andezit hipokristalasto-porfirske strukture, sa slabo deformisanim i hloritisanim fenokristalima biotita i delimično alterisanim fenokristalima plagioklasa sa polja 13, sklop-ppl, horizontalna ivica snimka 6 mm

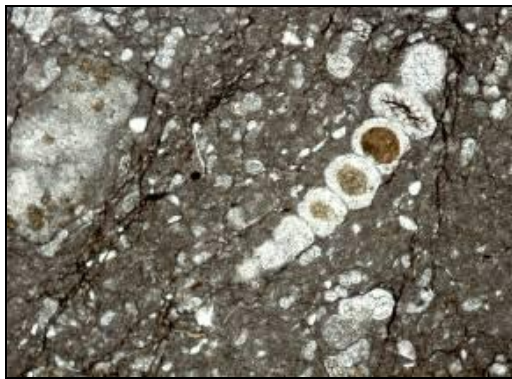
Peščari su klastične strukture i masivne do planparalelne teksture. Vezivo je često kalcitsko i kod nekih primerka čini do oko 30% vol. stene (slika 58). Čine ih klasti amfibola, plagioklasa, ljuspice hlorita i kvarc, pojavljuju se i klasti muskovita i piroksena. Od odlomaka stena prisutni su klasti granitoida, trahita, kvarcita i, katkada veoma krupnih, propilitisanih andezita (slika 61a,b). Materijal je nesortiran, a ponegde se po pukotinama mogu zapaziti deponovani oksidi i hidroksidi gvožđa. Metalni minerali su homogeno raspoređeni u stenskoj masi klastita u vidu pojedinačnih zrna.



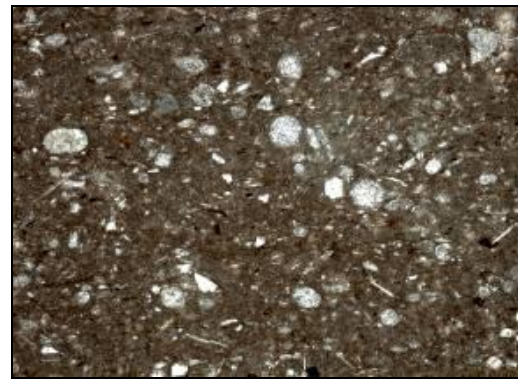
Slika 61: a) Psamitska struktura u alevrolitskom peščaru sa polja 39; u sredini se zapaža krupniji fragment propilitisanog andezita, ppl, horizontalna ivica snimka 1.5 mm; b)

Slika 61a pod ukrštenim nikolima.

Laporci su dominantno izgrađeni od kalcita mikritskog i organogenog karaktera i kriptokristalaste glinovite materije prožete tamnijom supstancom organogenog karaktera. Zapaža se prisustvo brojnih, dobro sačuvanih kalupa i bogata asocijacija mikrofosila *Foraminifera* koje su po pravilu ispunjene krupnozrnijim kalcitom (slika 62 i 63), kao i retke klasti muskovita i kvarca. Ponegde je uočljiva orijentacija liski i ostalih sastojaka. Stenska masa je često prožeta pukotinama koje su markirane mrkim skramama. Pukotine su zapunjene krupnim kalcitom. U nekim primercima je primetno smenjivanje zona sa povećanom količinom fosila i klasti.



Slika 62: Krečnjačka komponenta u laporovitom krečnjaku sa polja 13, koja pokazuje karakterističnu organogenu strukturu i prisustvo *Foraminifera*; ppl, horizontalna ivica snimka 1.5 mm

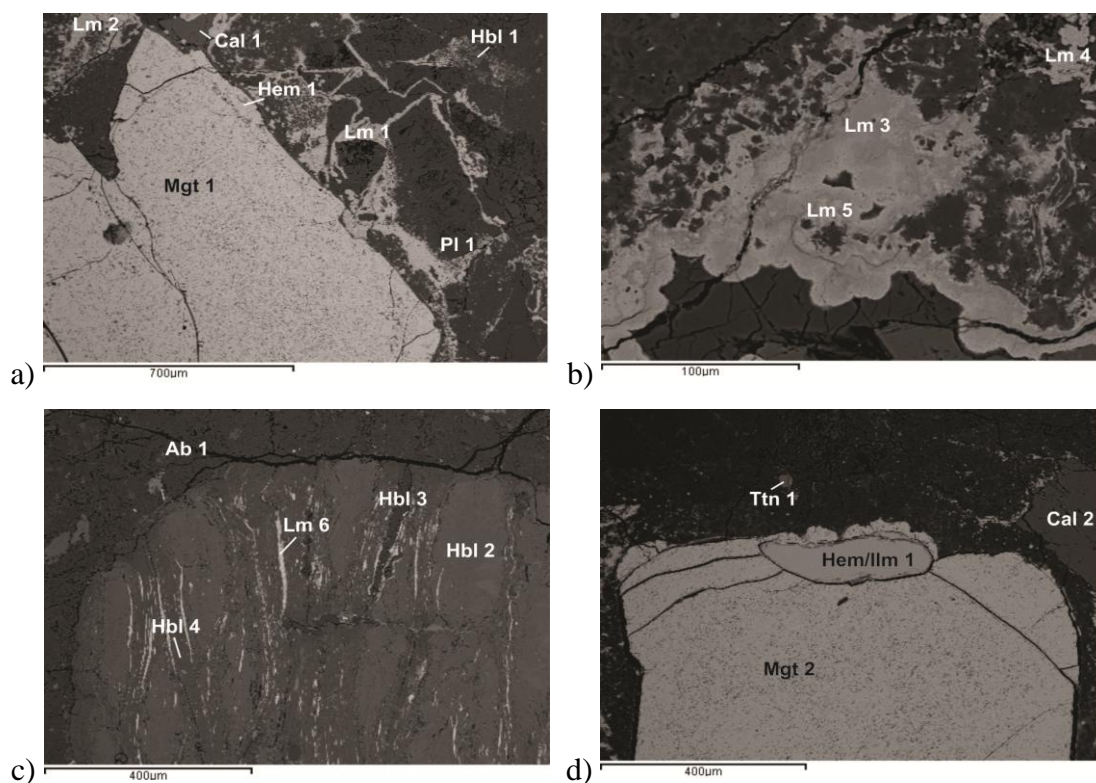


Slika 63: Krečnjačka komponenta u laporovitom krečnjaku sa polja 18, koja pokazuje karakterističnu organogenu strukturu i prisustvo *Foraminifera*; ppl, horizontalna ivica snimka 1.5 mm

Metalični minerali najčešće se nalaze homogeno raspoređeni u klastičnim sedimentima, mada je uočeno i njihovo prisustvo u andezitskoj stenskoj masi, gde se pretpostavlja da su sekundarnog porekla. Dominira magnetit (do 5% kod pojedinih primeraka) dok se podređeno javljaju hematit i ilmenit. Metalični minerali su predstavljeni magnetitom koji gradi prorastanja s mineralima iz grupe hematit-ilmenit (slika 58). Ispitivanjima SEM-EDS metodom je takođe utvrđeno da je kod nekih primeraka započela transformacija magnetita u praškasta nagomilanja limonita (slika 57), koja ponekad grade karakteristične bubrežaste agregate (slika 59).

5.1.3.2. Hemijski sastav minerala

Ispitivanja hemijskog sastava minerala obuhvatila su primerke andezita sa polja 4. U ispitivanim vulkanitima je utvrđeno prisustvo veoma sličnih primarnih i sekundarnih minerala, koji se inače javljaju u delimično promenjenim hornblenda andezitima. Od primarnih sastojaka prisutni su plagioklas, hornblenda, magnetit, hematit/ilmenit i titanit, dok su sekundarni minerali albit, kalcit i limonit. Limonit, koji najverovatnije predstavlja fazu koja je obrazovana u egzogenim uslovima, veoma često gradi skrame i prevlake preko primarnih sastojaka (slika 64b) ili u vidu praškastih agregata ispunjava tanke prsline u steni (slika 64a) ili u individualnim mineralima (slika 64c).



Slika 64: BSE slike osnovne mase hornblenda andezita sa polja 4 (a,b,c,d). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 11). Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.

Tabela 11: Rezultati hemijskih analiza minerala prikazani kroz sadržaj glavnih oksida i elemenata (u tež%)

%	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	F	V ₂ O ₅
POLJE 4											
Slika 64a											
Mgt1		4,48	2,3	90					2,45		0,77
Lm 1	5,91	0,76	2,87	89,8							0,64
Lm 2	3,92	0,69	2,14	93,3							
Pl 1	63,3		22,9	0,6		11,6	0,84	0,84			
Hbl 1	48,2	1,18	11,3	13	13,9	10,2	1,31	0,41	0,55		
Cal 1				0,87		99,1					
Hem 1		4,18	1,9	92,3					0,67		0,95
Slika 64b											
Lm 3	5,98	0,5	2,55	90,4		0,56					
Lm 4	4,47	1,67	2	90,6		0,41					0,84
Lm 5	6,19	0,5	2,47	90,3		0,58					
Slika 64c											
Lm 6	4,35	0,82	2,15	90,6	2,06						
Hbl 2	47,6		22,8	2,54		27					
Hbl 4	35,7	3,52	16,2	15,4	27,2	1,09			0,84		
Ab 1	68,9		18,9			0,65	11,1	0,35			
Slika 64d											
Mgt 2		4,55	2,81	89		0,46			2,01		1,16
Hem/ilm 1		29,7	0,54	68,5	1,24						
Cal 2						100					
Ttn 1	34,8	23,9	8,22	2,23		27,1				3,75	

5.1.3.3. Geohemijske karakteristike

U tabeli 12 su dati sadržaji glavnih oksida i elemenata u tragovima za 11 primeraka s pet različitih polja na kojima je konstatovano prisustvo dvostrukih litologija. Uzorkovan je dezintegrisan stenski materijal koji se nalazi neposredno ispod zemljišta, tako da prikazane analize u najvećem broju slučajeva odgovaraju dvema litologijama u kojima najčešće preovlađuje relativno svež hornblenda andezit. Dva primerka (DS 30 i DS 33) pokazuju veoma povišene koncentracije bakra koje su

najverovatnije vezane za lokalno prisutna nagomilanja rudnih minerala. Učešće laporca u ispitivanom materijalu ogleda se u povišenom sadržaju karbonata, dok je kod polja sa učešćem alevrolitskih peščara povećan procenat sadržaja silicijske komponente.

Tabela 12 : Sadržaj glavnih oksida i elemenata u dvostrukim litologijama Borskog odlagališta

Lokacija		Polje 4	Polje 4	Polje 4	Polje 13	Polje 18	Polje 18	Polje 38	Polje 38	Polje 38	Polje 39	Polje 39
Uzorak		DS 5	DS 6	DS 7	DS 17	DS 22	DS 23	DS 29	DS 30	DS 31	DS 32	DS 33
		And	And+L	And	And+L	And	And	And+L	And	And+L	And+AP	And+AP
SiO ₂	%	55,6	49,8	54,1	49,8	55,2	54,2	46,2	57,6	51,5	59,6	63,3
TiO ₂	%	0,4	0,43	0,36	0,24	0,35	0,3	0,64	0,62	0,36	0,62	0,5
Al ₂ O ₃	%	17,8	15,6	15,4	14,2	14,5	12,9	13,8	15,2	8,19	15,4	12,5
*Fe ₂ O ₃ ^t	%	7,66	4,79	4,35	2,7	4,41	3,34	6,19	5,35	4,1	5,22	6,03
MnO	%	0,09	0,13	0,1	0,09	0,17	0,12	0,12	0,08	0,14	0,07	0,06
MgO	%	2,16	2,64	2,72	1,51	2,27	1,89	2,94	2,67	1,43	2,48	1,81
CaO	%	4,88	11,05	8,42	13,95	8,7	11,22	13,16	6,64	15,25	4,65	4,75
Na ₂ O	%	3,84	2,66	3,4	3,09	2,63	3,03	1,72	2,51	1,23	2,65	2,03
K ₂ O	%	1,86	1,09	1,84	2	1,74	1,43	2,28	1,77	1,99	2,22	1,63
P ₂ O ₅	%	0,16	0,15	0,12	0,08	0,12	0,12	0,11	0,12	1,51	0,12	0,1
Cr ₂ O ₃	%	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,004	<0,002	<0,002
LOI	%	5,4	11,4	9	12,2	9,7	11,2	12,7	7,1	14	6,6	6,3
Sum	%	99,8	99,8	99,8	99,9	99,8	99,8	99,8	99,7	99,8	99,7	99,1
Sc	ppm	16	16	14	9	13	11	15	16	8	14	11
Ba	ppm	273	157	262	277	488	359	350	335	249	434	346
Be	ppm	1	<1	<1	<1	1	1	<1	2	<1	<1	2
Co	ppm	9,3	12	9,6	5,4	12,7	10,3	14,6	14,3	12,9	10,3	12,2
Cs	ppm	0,8	1,3	1,7	1,5	1,3	2,1	4,9	2,4	3	3,5	1,6
Ga	ppm	14,3	13,8	13,1	10,1	12,6	11,9	15,2	14,3	10	14,4	11,5
Hf	ppm	1,8	2,1	1,4	1,3	1,6	1,8	3,1	2,7	2,3	3,5	2,5
Nb	ppm	3,3	3,6	3,6	3,2	3,3	4,5	6	5,3	6,3	6,4	4,2
Rb	ppm	27,4	27,2	38,2	32,9	33,9	33,2	77,3	49,5	71,5	60,6	45,2
Sn	ppm	<1	1	<1	<1	<1	<1	2	1	1	2	<1
Sr	ppm	483	392	464	509	457	368	593	706	338	992	857
Ta	ppm	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
Th	ppm	1,7	2,1	1,9	1,9	2,8	4	7,1	5	5,6	6,6	4,8
U	ppm	0,8	0,7	0,7	0,5	0,9	1,2	1,8	1,4	4,7	1,9	1,6
V	ppm	216	160	125	85	117	85	149	150	87	124	115
W	ppm	0,6	0,6	0,6	<0,5	<0,5	0,9	1	0,6	2,2	1,2	0,6
Zr	ppm	50,5	58	48	39,1	64,2	70,5	111,6	96,5	85,7	119,1	82,6
Y	ppm	11,3	14,1	12,3	6,7	15,6	15,5	16,6	15,9	28,5	14,2	10,5
La	ppm	8,3	9,9	7,8	5,8	12,2	14,9	17,8	15,2	27,9	18,5	12
Ce	ppm	16,6	19,2	15,9	10,6	25,5	28,7	38,3	33,2	46	38,7	24,8
Pr	ppm	2	2,46	2,02	1,35	3,06	3,33	4,49	3,84	5,41	4,22	2,92
Nd	ppm	7,4	10,4	8,2	5	13,7	14	18,5	16,4	20,1	17,1	11,8
Sm	ppm	1,86	2,28	1,87	1	2,63	2,71	3,94	3,39	3,78	3,45	2,59

Eu	ppm	0,61	0,73	0,55	0,37	0,8	0,64	0,99	0,96	0,95	0,93	0,66
Gd	ppm	1,7	2,24	1,87	1,05	2,83	2,66	3,47	3,04	3,83	2,96	2,32
Tb	ppm	0,32	0,42	0,33	0,2	0,48	0,46	0,61	0,53	0,59	0,52	0,38
Dy	ppm	1,79	2,23	1,88	1,17	2,86	2,43	3,23	2,84	3,71	2,95	2,32
Ho	ppm	0,44	0,49	0,42	0,27	0,57	0,5	0,63	0,55	0,74	0,61	0,43
Er	ppm	1,22	1,35	1,45	0,76	1,69	1,66	1,74	1,67	2,21	1,7	1,24
Tm	ppm	0,2	0,23	0,21	0,12	0,27	0,27	0,32	0,26	0,35	0,29	0,21
Yb	ppm	1,3	1,47	1,2	0,89	1,68	1,68	1,66	1,72	2,2	1,52	1,08
Lu	ppm	0,21	0,22	0,23	0,14	0,27	0,27	0,27	0,26	0,38	0,27	0,2
TOT/S	%	<0,02	0,15	<0,02	<0,02	0,13	0,06	0,18	0,2	1,4	0,1	0,63
Mo	ppm	0,7	0,5	6,4	0,2	0,2	0,6	0,3	0,6	0,8	0,6	1,6
Cu	ppm	176	163	214	82,1	165	283	78,5	1062	538	860	6168
Pb	ppm	47,4	15,1	17	6,2	9,6	51,4	12,2	11,4	8,5	26,2	16,8
Zn	ppm	54	56	146	24	124	104	66	119	54	82	57
Ag	ppm	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,3	0,5
Ni	ppm	4,1	7,4	86,4	2,8	10,8	13,3	19,9	11	14,5	8,8	6,8
As	ppm	24	14,5	1,5	7,5	4,2	11,5	7,9	8,8	13,8	14,4	14,2
Au	ppb	5,6	7,3	8	5,8	4,8	11,1	0,9	24,3	2,5	84,4	472
Cd	ppm	0,6	0,5	<0,1	<0,1	0,7	1,1	0,2	0,5	0,3	0,7	0,3
Sb	ppm	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Bi	ppm	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	0,5	0,3	0,2
Hg	ppm	0,01	0,03	0,1	0,01	0,04	0,03	0,05	0,06	0,03	0,05	0,05
Tl	ppm	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1
Se	ppm	<0,5	<0,5	3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	<0,5	1,5	6,2
OBJAŠNJENJE: And – andezit, L – laporac, AP – alevrolitski pešćar, * Fe ₂ O ₃ ¹ – Ukupno gvožđe kao Fe ₂ O ₃ , kombinacija oksida i hidroksida, LOI – gubitak žarenjem												

5.1.4. Borski konglomerati

5.1.4.1. Petrološke karakteristike

Prisutni su u vidu blokova čija veličina prelazi i nekoliko metara u prečniku. Između krupnijih blokova nalaze se manji odlomci stenske mase, ali izostaje tipičan grus. Blokovi većih dimenzija ukazuju na to da je reč o slojevitim do bankovitim klastičnim sedimentima koji se odlikuju svim prelazima, od sitnozrnih pešćara do debljih slojeva konglomerata, uz česta proslojavanja. Samo podređeno, zapaža se i prisustvo alevrolita i laporaca.

Najčešća klastična stena ove litologije su slabo sortirani konglomerati (slika 65-67) s valucima koji veoma često pokazuju pravilnu orijentaciju, što je vezano za pravac prinosa materijala. Valuci se odlikuju veoma raznolikim karakterom. Borski

konglomerati sadrže sve vrste stena koje izgrađuju TMK, kao i litologije koje se nalaze izvan osnovnog timočkog basenskog prostora. Tako se, pored odlomaka hornblenda andezita turon-kampana i andezita i andezitbazalta senona, može zapaziti prisustvo brojnih valutaka metamorfita visokog i niskog stepena metamorfizma, gabroidnih i granitoidnih stena, paleozojskih metasedimenata, jurskih i donjokrednih krečnjaka i dr.



Slika 65: Borski konglomerati, nepromenjeni, psefitsko psamitska struktura na polju 6



Slika 66 : Konglomerati sa polja 7, nešto više stratifikovani u odnosu na primerke sa polja 6

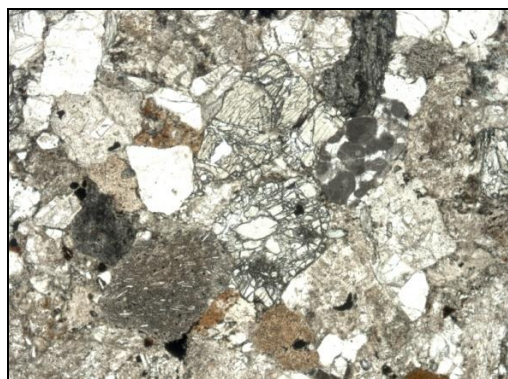


Slika 67: Odlomci borskih konglomerata na polju 37

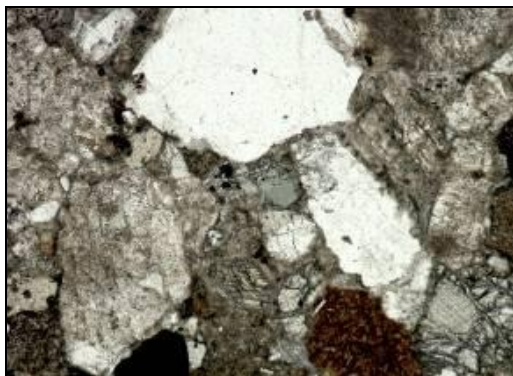
Ovi grubo-klastični sedimenti se generalno odlikuju veoma heterogenim sastavom valutaka, među kojima je moguće naći sve postojeće litološke članove Timočkog magmatskog kompleksa. Ispitivani primerci borskih konglomerata se odlikuju psefitskom do psamitskom strukturom. U njima se mogu razlikovati odlomci stena i minerala. Matriks je glinovitog karaktera, a njegova količina veoma jako varira, od preko 20% do ispod 5%, kada je vezivo predstavljeno kontaktnim cementom (slika 68). Među odlomcima stena preovlađuju fragmenti koji inače izgrađuju Timočki magmatski kompleks, prvenstveno različiti tipovi andezita, od kojih neki pokazuju tipičnu fluidalnu teksturu (slika 69). Ponekad se javljaju nagomilanja fragmenata predstavljenih alterisanim andezitima i njihovim fenokristalima (slika 70). Pored odlomaka stena, zastupljeni su i fragmenti fenokristala različitih andezita, kao što su plagioklas, hornblenda, piroksen, hlorit i biotit. Od fragmenata stena i minerala koji vode poreklo izvan Timočkog magmatskog kompleksa prisutni su valuci različitog stepena regionalnog metamorfizma, gabroidnih i granitoidnih stena različite strukture, magmatskih stena izvan TMK, paleozojskih metamorfita, jurskih i donjokrednih krečnjaka, kao i individualne klasti kvarca i liskuna (slika 71).



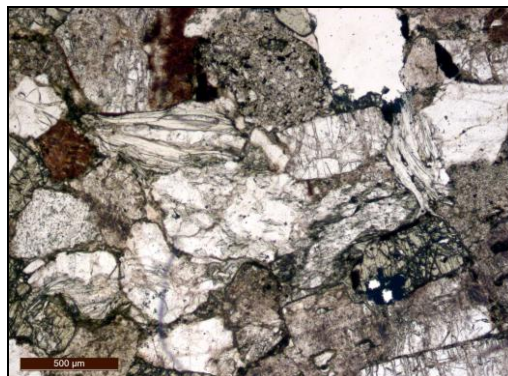
Slika 68: Primerak borskih konglomerata s gusto pakovanim fragmentima bez matriksa i sa veoma malo kontaktnog cementa; ppl, horizontalna ivica snimka 3 mm



Slika 69: Klasti u ispitanom borskom konglomeratu; u donjem levom delu se vidi jedan zaobljen fragment andezita tipične fluidalne teksture; ppl, horizontalna ivica snimka 3 mm



Slika 70: Odlomci alterisanih stena i minerala Timočkog magmatskog kompleksa u ispitivanom primerku borskog konglomerata; ppl, horizontalna ivica snimka 1,5 mm



Slika 71: Odlomci stranog porekla, van Timočkog magmatskog kompleksa (kvarciti i muskoviti) u borskom konglomeratu, ppl

5.1.4.2. Geohemijske karakteristike

U tabeli 13 su dati sadržaji glavnih oksida i elemenata u tragovima za tri primerka sa svih polja na kojima je konstatovano prisustvo borskih konglomerata.

Tabela 13 : Sadržaj glavnih oksida i elemenata u tragovima u konglomeratima Borskog odlagališta

Lokacija		Polje6	Polje 6	Polje 6
Uzorak		DS 10	DS 11	DS 12
SiO ₂	%	52,5	55,7	56,3
Al ₂ O ₃	%	15,6	15,7	14,7
Fe ₂ O ₃	%	6,41	5,9	6,19
MgO	%	3	2,81	2,66
CaO	%	7,73	6,39	7,26
Na ₂ O	%	2,14	2,75	2,82
K ₂ O	%	3,5	2,16	2,37
TiO ₂	%	0,74	0,68	0,68

P ₂ O ₅	%	0,22	0,27	0,22
MnO	%	0,11	0,11	0,12
Cr ₂ O ₃	%	<0,002	<0,002	<0,002
Sc	ppm	14	13	15
LOI	%	7,7	7,2	6,5
Sum	%	99,7	99,7	99,8
Ba	ppm	638	376	443
Be	ppm	2	2	1
Co	ppm	14,1	11,3	15,3
Cs	ppm	1,9	2,4	1,8
Ga	ppm	15,4	16,8	14,8
Hf	ppm	3,4	2,5	2,6
Nb	ppm	5,7	5,2	4,9
Rb	ppm	72,1	56,6	62,1
Sn	ppm	1	1	1
Sr	ppm	836	814	502
Ta	ppm	0,3	0,3	0,3
Th	ppm	6,2	5,9	5,5
U	ppm	2	2,1	2
V	ppm	166	135	167
W	ppm	0,6	0,9	0,8
Zr	ppm	109	100	97
Y	ppm	17,7	16,9	18,6
La	ppm	19,2	18,2	19,2
Ce	ppm	40,7	39,2	39,6
Pr	ppm	4,8	4,83	4,79
Nd	ppm	19	19,6	21,8
Sm	ppm	4,18	4,37	4,29
Eu	ppm	1,19	1,21	1,1
Gd	ppm	3,9	3,9	3,96
Tb	ppm	0,66	0,6	0,62
Dy	ppm	3,06	2,83	3,34

Ho	ppm	0,71	0,64	0,68
Er	ppm	1,84	1,74	2,02
Tm	ppm	0,3	0,26	0,3
Yb	ppm	1,78	1,64	1,81
Lu	ppm	0,27	0,27	0,24
TOT/C	%	0,82	0,39	0,73
TOT/S	%	0,05	0,03	0,06
Mo	ppm	0,4	0,6	0,7
Cu	ppm	145	139	230
Pb	ppm	21,8	24	27,5
Zn	ppm	91	87	97
Ag	ppm	<0,1	<0,1	<0,1
Ni	ppm	8,1	5,6	10,8
As	ppm	16,7	13	13,7
Au	ppb	2,2	4	2,3
Cd	ppm	0,8	0,7	0,8
Sb	ppm	0,1	0,1	0,1
Bi	ppm	0,2	0,3	0,3
Hg	ppm	0,03	0,03	0,02
Tl	ppm	<0,1	<0,1	<0,1
Se	ppm	<0,5	<0,5	<0,5

5.1.5. Nevezani sedimenti

5.1.5.1. Petrološke i mineraloške karakteristike

Ovu litološki grupu čini usitnjeni materijal uglavnom smešten na obodima stenskih brežuljaka i u središnjem delu ili u podnožju samih jalovinskih kipa. Nastao je pretežno erodovanjem grusa sa različitih tipova litologija na odlagalištu i kao takav predstavlja petrološki relativno homogenizovanu masu čestica, koje po veličini variraju od kategorije sitnog šljunka pa sve do sitnijih granulacija. Boje je najčešće oker,

žućkaste do bele (slika 73, 74, 76), a na pojedinim poljima i sivkaste (slika 75) ili rdaste (slika 72). Boja često ukazuje na poreklo nastanka ovog materijala odnosno dominantan tip grusa. S obzirom na obodne i ivične položaje koje sitnozrni materijal zauzima na odlagalištu, podložan je pojačanom kvašenju i izluživanju.



Slika 72: nevezani sediment na obodu stenskih brežuljaka, polje 21



Slika 73: nevezani sediment na središnjem delu Istočnog odlagališta otkrivke u Boru, polje 31



Slika 74: nevezani sediment na obodnom delu Istočnog odlagališta otkrivke u Boru, polje 33



Slika 75: nevezani sediment na obodnom delu Istočnog odlagališta otkrivke u Boru, polje 34



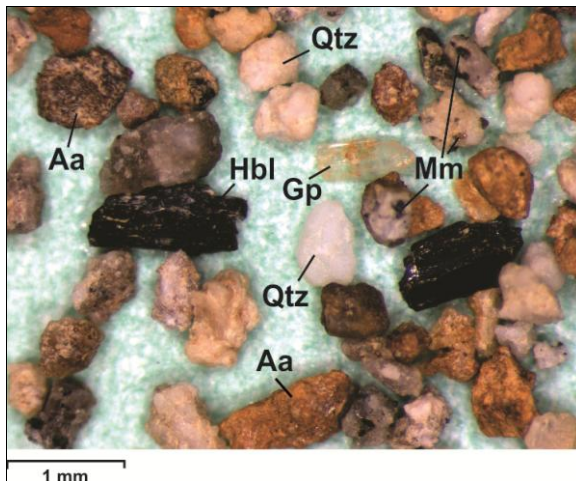
Slika 76: nevezani sediment kraj podnožja jalovinske kipe odlagališta u Boru, polje 42

Mineraloški sastav nevezanih sedimenata (tabela 14), koji je dobijen XRD-metodom, ukazuje na to da je ovaj materijal najpribližniji mineralogiji hidrotermalno promjenjenih andezita. Pri tome je jedan manji deo detritičnog materijala dolazio i iz ostalih litologija, prvenstveno iz svežih andezita i intenzivno mineralizovanih stena (slika 77, 78). Obilje konstatovanog kvarca isključuje mogućnost da je protolit za sitnozrni materijal bio samo andezit, jer su znatne količine kvarca obrazovane u hidrotermalnom stadijumu. Prisustvo hlorita takođe ukazuje na to da primarna litologija od koje nevezani sedimenti vode poreklo odgovara alterisanim andezitima. Nevezani sedimenti odlikuju se i prisustvom najrezistentnijih minerala, jer su zbog prirode svog nastanka pretrpeli najveći stepen hemijskog raspadanja u odnosu na druge litologije konstatovane na borskoj otkrivci.

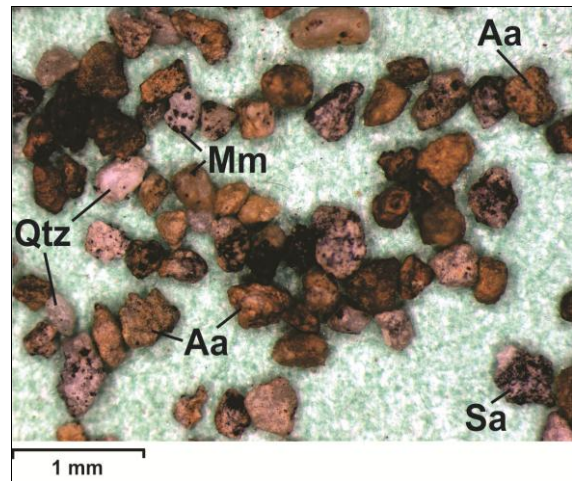
Tabela 14: Mineraloški sastav nevezanih sedimenata borske otkrivke

Mineral %	P15	P 19	P 21	P 21	P 23	P 31	P 33	P 34	P 40	P 41	P 42	P 43	P 44
Liskun	4	3	5	5	4	5	4	3	4	3	4	4	5
Kvarc	64	49	64	62	63	25	54	72	56	67	59	59	54
Feldspat	29	42	26	26	26	54	27	23	30	23	32	31	32
Gips	0	1	1	4	3	3	8	0	4	3	2	0	3
Hlorit	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	5
Amfibol	0	2	1	1	1	7	2	0	3	1	0	4	1
Ukupno	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Na osnovu prikazanih iznosa sledi da u nevezanim sedimentima borskog odlagališta preovlađuju kvarc (49-72 %) i feldspati (23-54 %). Liskuni (3-5 %), gips (0-8 %), hlorit (2-5 %) i amfibol (0-7 %) zastupljeni su nevezanim sedimentima borske otkrivke u manjem obimu.



Slika 77: Sastav frakcije < 2 mm nevezanih sedimenata sa polja 40 pod binokularnom lupom (Qtz-kvarc, Hbl- hornblenda, Gp-gips, Aa-alterisani andezit, Mm-metalični minerali)



Slika 78: Sastav frakcije < 2 mm nevezanih sedimenata sa polja 44 pod binokularnom lupom (Qtz-kvarc, Aa-alterisani andezit, Sa- sveži andezit, Mm-metalični minerali)

5.1.6. Orudnjene stene

5.1.6.1. Petrološke karakteristike

Ove stene predstavljaju mineraloško-petrološki najheterogeniju litološku grupu. Grupa je predstavljena stenskim masama koje sadrže asocijacije rudnih minerala različitog tipa. Pored toga, zajednička karakteristika tipova ove litologije jeste da se na njima ne pojavljuje samonikla vegetacija. Najčešće je reč o intenzivno hidrotermalno alterisanim andezitima kod kojih obično nema očuvanih tragova primarne porfirne strukture. Stenska masa može biti različite boje, ponekad i potpuno siva, kada ove stene

delimično podsećaju na sveže andezite. Za razliku od svežih andezita, međutim, mineralizovane stene ne pokazuju porfirsku strukturu već su impregnisane rudnim mineralima. Za ove stenske mase je karakteristično prisustvo prevlaka žute i žutozelene boje, koje potiču od izdvajanja sulfata usled oksidacije rudnih sulfidnih minerala (slika 79, 80). Pored toga se može zapaziti da se na ovoj litologiji ne formira grus kakav se sreće iznad svežih i alterisanih andezita. Umesto toga, ove pojave su izgrađene od nesortiranog drobinskog materijala, tj. uglastih komada stene različite krupnoće između kojih ima veoma malo detritičnog materijala frakcija peska ili sitnijih.



Slika 79: Orudnjen materijal žuto-zelene boje po površini, siv na prelomu, orudnjen i hidrotermalno promenjen, polje 3.1
(foto: D. Randelović)



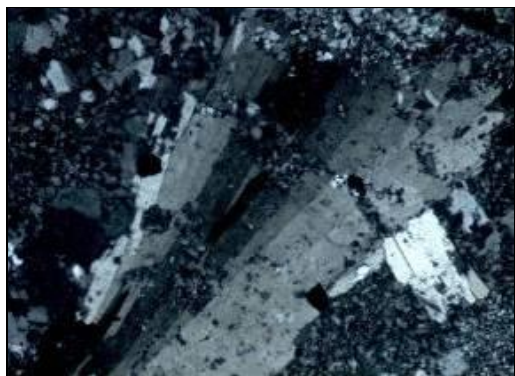
Slika 80: Orudnjena stena žuto-zelene boje, siva na svežem prelomu, polje 9.1
(foto: D. Randelović)

Stene ove grupe su u mineraloško-petrografskom pogledu izrazito heterogene. Njihova zajednička karakteristika je visok stepen alteracija i prisutni makroskopski vidljivi rudni minerali. Mali broj primeraka pokazuje sačuvane relikte porfirske strukture. Većina primeraka predstavlja sasvim izmenjene, mineralizovane stene koje se gotovo u potpunosti sastoje od kvarca i metaličnih minerala. Tekstura ispitivanih stena je masivna i relativno homogena. Na nehomogenost po pravilu utiče neravnomeran raspored rudnih minerala ili faza koje su nastale tokom hidrotermalnog stadijuma.

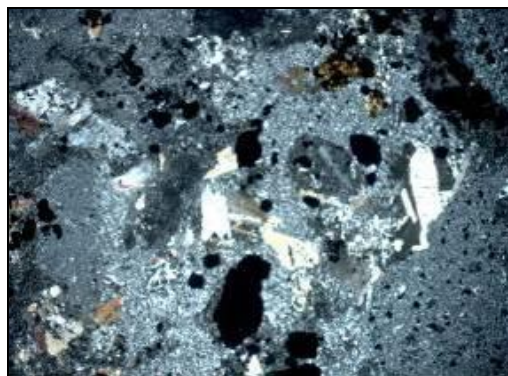
Dominantni minerali stena iz ove litološke grupe su sekundarnog porekla, to su: kvarc, kalcit, hlorit, hidroksidi gvožđa, kaolinit, epidot, alunit, gips, zeoliti i drugi, dok

su rudni minerali predstavljeni halkozinom, kovelinom, koluzitom, bornitom i pritom. Relikti fenokristala plagioklasa, amfibola i biotita su veoma podređeni i javljaju se samo u pojedinim primercima.

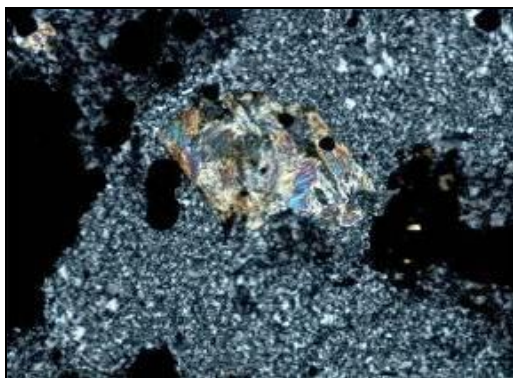
Relativna zastupljenost sekundarnih i rudnih minerala zavisi od tipa alteracije i vrste mineralizacije. Tako postoje primerci u kojima se javlja asocijacija kaolinita, gipsa, alunita i barita, koja je karakteristična za naprednu argilitisku alteraciju. U njima kristali alunita često grade karakteristične agregate s radijalno raspoređenim prizmatičnim kristalima alunita (slika 81). Tragovi kombinacije argilitizacije i propilitizacije su obično povezani s prisustvom relativno krupnih kristala pirita (slika 82). U sličnim primercima se zapaža i pseudomorfno zamenjivanje nekadašnjih fenokristala plagioklasa gipsom (slika 83). Pojedini propilitisani andeziti pokazuju tragove frakturisanja, pri čemu su fragmenti cementirani krupnokristalastim kalcitom (slika 84).



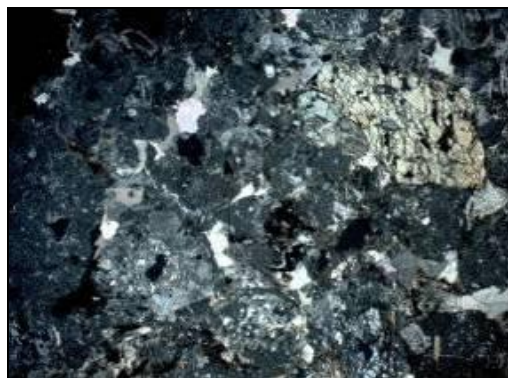
Slika 81: Radijalno raspoređeni kristali alunita u hidrotermalno promenjenom i mineralizovanom andezitu sa polja 3.1, xpl, horizontalna ivica snimka 1,5 mm



Slika 82: Potpuno argilitisan i delimično propilitisan i mineralizovan andezit sa polja 3.1, xpl, horizontalna ivica snimka 6 mm



Slika 83: Kristali gipsa koji su nastali u hidrotermalnoj fazi i koji pseudomorfno zamenjuju nekadašnji fenokristal plagioklasa; gips je okružen glinovitom materijom i neprovidnim rudnim mineralima, polje 3.1, xpl, horizontalna ivica snimka 1,5 mm

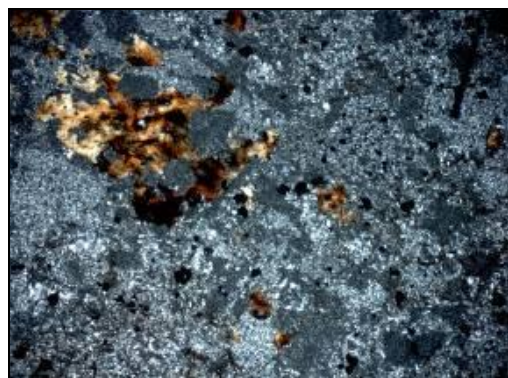


Slika 84: Frakturisan andezit s mineralizacijom; fragmenti stene su cementovani krupnokristalastim kalcitom, polje 4.1, xpl, horizontalna ivica snimka 6 mm

Rudni minerali su najčešće homogeno raspršeni u vidu sitnih i idiomorfni zrna (slika 85a,b) ili u vidu sitnozrnih do praškastih nagomilanja koja zapunjavaju međuprostore ostalih faza (slika 86a,b). Metalni minerali su prvenstveno predstavljeni piritom, koji u pojedinim slučajevima čini i preko 25% stenske mase.

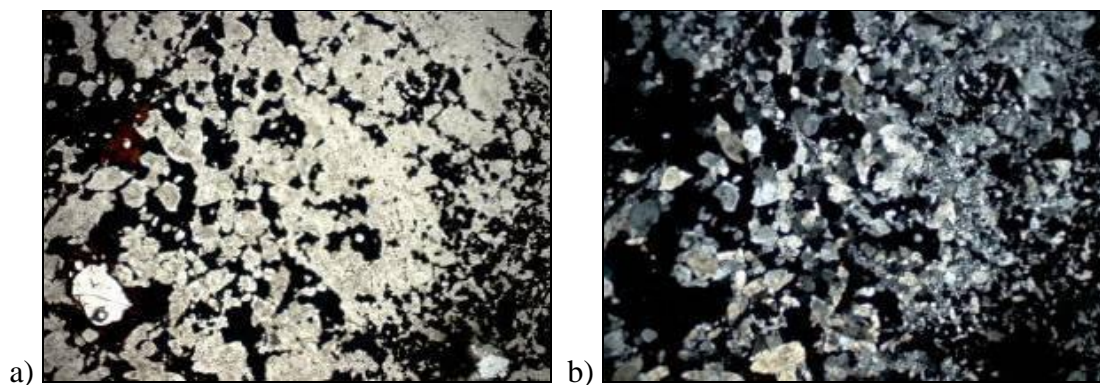


a)



b)

Slika 85: a) Fino dispergovani rudni minerali u masi potpuno kaolinisanog andezita; u gornjem levom delu fotografije zapažaju se nepravilni agregati hlorita, koji su najverovatnije nastali transformacijom nekadašnjih bojenih minerala u andezitu, polje 9.1., ppl, horizontalna ivica snimka 6 mm, b) Slika 85a pod ukrštenim nikolima.



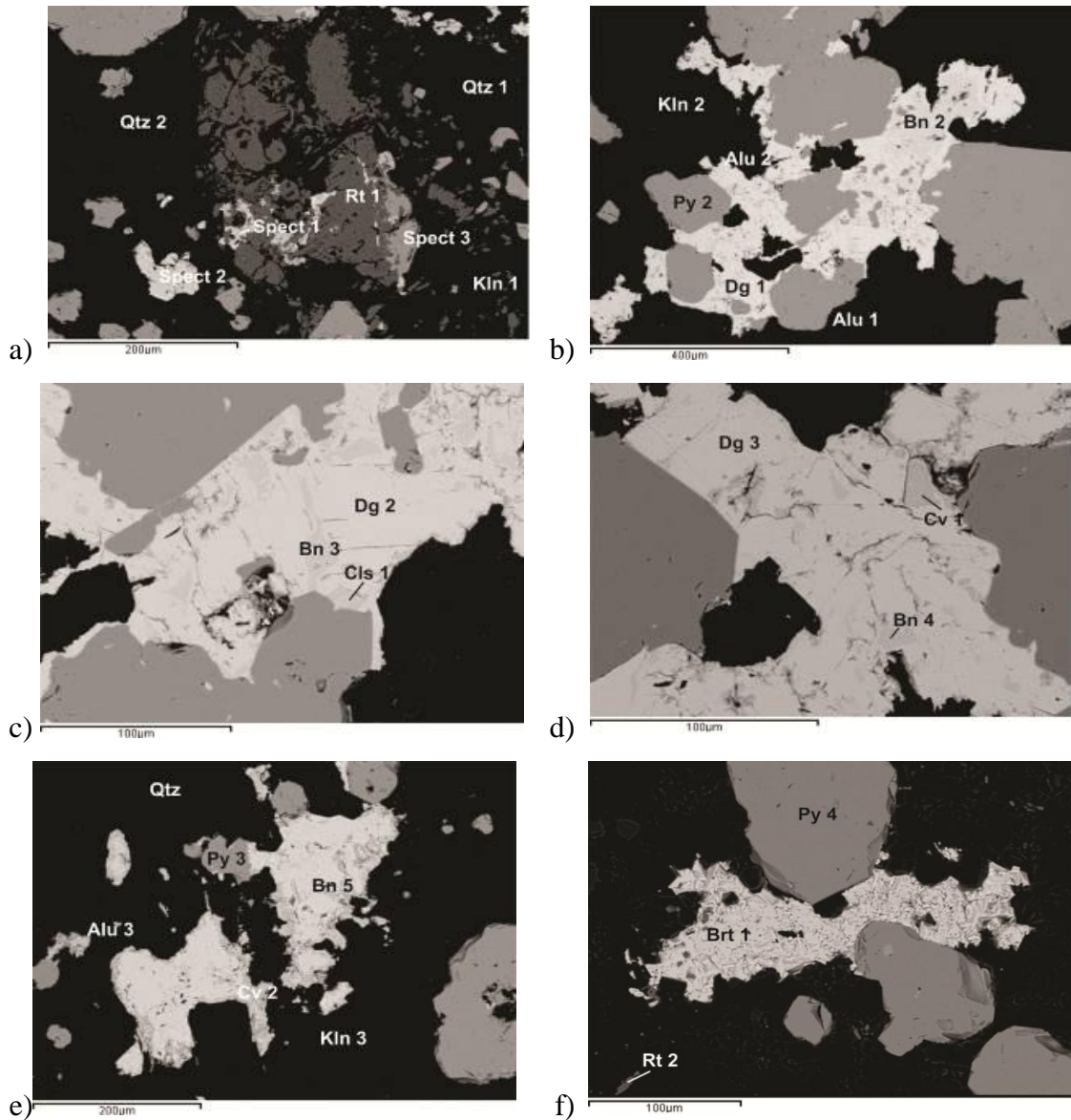
Slika 86: (a) Rudni minerali deponovani u međuprostorima izbrečiranog i potpuno alterisanog andezita sa polja 16.1, ppl, horizontalna ivica snimka 6 mm, (b) Slika 86a pod ukrštenim nikolima.

5.1.6.2. Hemijski sastav minerala

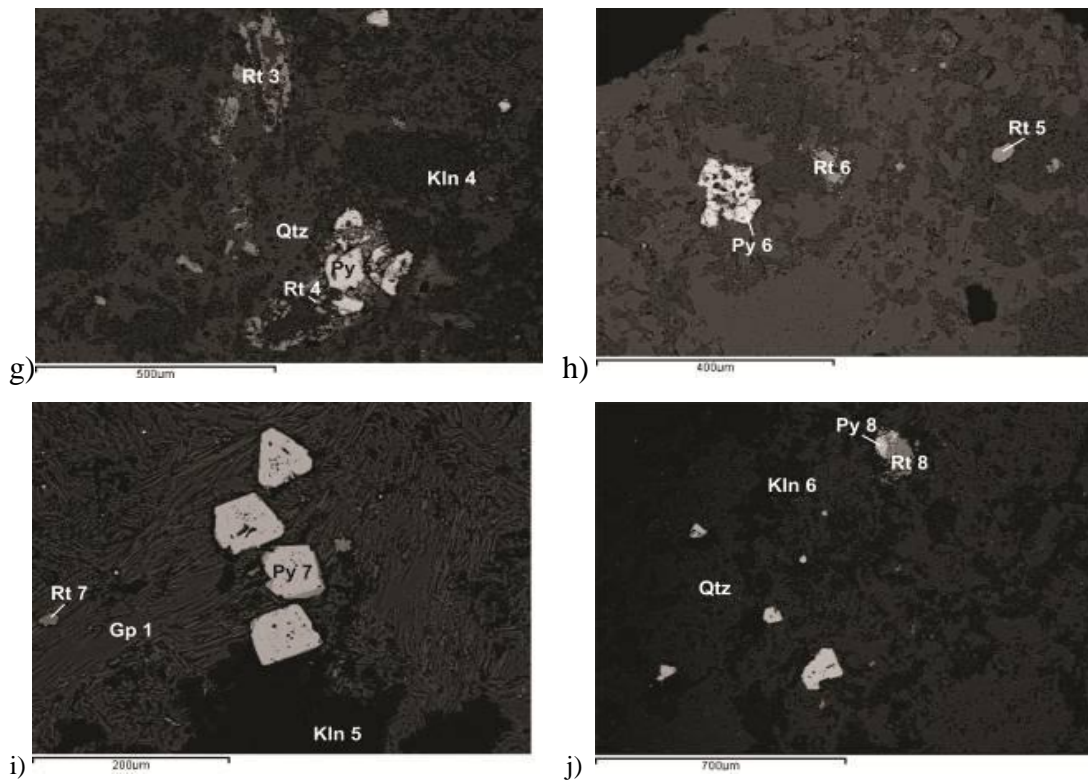
Ispitivanjima SEM-EDS tehnikom obuhvaćena su tri primerka mineralizovanih stena. Rezultati ovih analiza prikazani su u tabeli 15 i na BSE fotografijama prikazanim na slikama 87 - 89. Utvrđeno je prisustvo različitih agregata pirita, bornita, digenita, kovelina, koluzita i halkopirita, kao najzastupljenijih sulfidnih faza, kao i kaolinita i alunita, zatim kvarca, kaolinita i rutila, kao tipičnih minerala koji predstavljaju produkte okolorudnih hidrotermalnih promena. Velika zastupljenost kvarca i alunita ukazuje na prisustvo hidrotermalne asocijacije 'sekundarnih kvarcita', tipične za masivno sulfidna orudnjenja.

Bornit, digenit i kovelin mogu nastati primarno hidrotermalno u ležištu, ali ovi minerali mogu biti i sekundarnog porekla kada nastaju na račun alteracije halkopirita u zonama cementacije. U ležištu bakra Bor ovi minerali se javljaju na oba načina, odnosno kao sekundarni u zonama cementacije i kao primarni u delovima rude obrazovanim u uslovima visoke sulfidizacije. Mineral koluzit koji se javlja najčešće po rubu digenitsko-bornitskog agregata nastaje, međutim, samo primarno hidrotermalno, na osnovu čega može da se pretpostavi da su i ostali minerali bakra hidrotermalnog porekla, deponovani u paragenetskoj sukcesiji nešto pre koluzita. Pojava alunita, čije je prisustvo u ovoj asocijaciji takođe utvrđeno SEM analizama, potvrđuje visoko-

sulfidacione uslove obrazovanja orudnjenja. Na taj način, može se zaključiti da su pirit i bornit najverovatnije istovremeno obrazovani u jednom stadijumu orudnjenja.

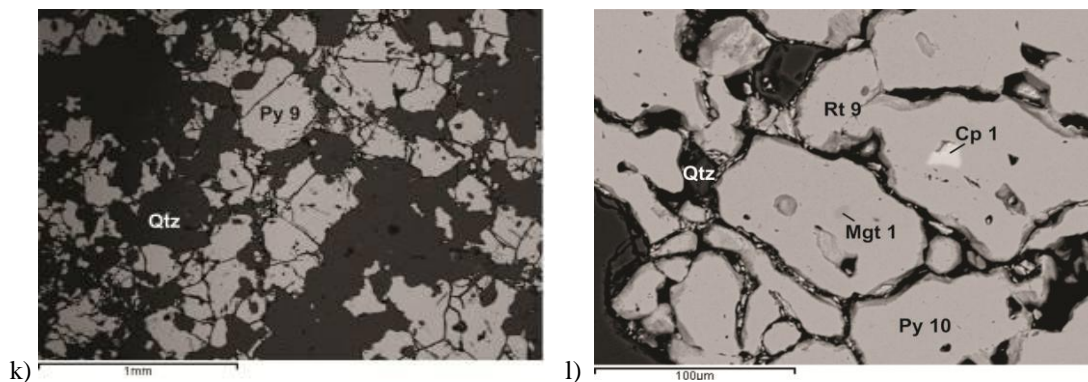


Slika 87: BSE slike osnovne mase orudnjenih stena sa polja 3.1 (a,b,c,d,e,f). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 15). Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.



Slika 88: BSE slike osnovne mase orudnjenih stena sa polja 9.1 (g,h,i,j). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 15).

Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.



Slika 89: BSE slike osnovne mase orudnjenih stena sa polja 16.1 (k,l). Na svakoj BSE slici označena su mesta analiziranja minerala (rezultati analiza prikazani u tabeli 15).

Skraćenice naziva minerala date u prilogu 1.

Tabela 15. Rezultati hemijskih analiza minerala prikazani kroz sadržaj glavnih oksida i elemenata (u tež %)

min.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	SO ₃	FeO	Na ₂ O	BaO	SrO	F	Fe	Sn	V	S	Cu	As
POLJE 3,1																			
Slika 87a																			
Rt 1		99,4	0,27						0,33										
Kln 1	56,5		43,5																
Slika 87b																			
Kln 2	56,5		43,5																
Alu 1			41,4		7,56			47		2,92	1,1								
Alu 2			41,1		9,87			46		1,12	1,93								
Dg 1																	24,3	75,7	
Bn 2														11			28,4	60,5	
Py 2														44			56		
Slika 87c																			
Dg 2																	24,3	75,7	
Bn 3														10,8			27,5	61,8	
Cls 1														0,58	4,2	2,8	32,6	48,1	11,6
Slika 87d																			
Dg 3																	24,2	75,8	
Cv 1																	32,8	67,2	
Bn 4														10,4			26,9	62,6	
Slika 87e																			
Alu 3			40,4		10,6			46,2			1,09	1,69							
Kln 3	55,7		44,2																
Bn 5														11			28,5	60,5	
Cv 2														1,48		0,63	34,8	63,1	
Py 3														43,9			56		
Slika 87f																			
Bt 1								36,2			60	3,78							
Rt 2	0,9	98,4	0,69																
Py 4														43,9			56,1		
POLJE 9,1																			
Slika 88g																			
Rt 3		99,6	0,39																
Rt 4		99,1	0,86																
Kln 4	56,3		43,6																
Py 5														43,1			56,9		
Slika 88h																			
Rt 5		98,3					1,73												
Rt 6		100																	
Py 6	43,9			56,1															
Slika 88i																			
Gp 1				39,3				60,7											
Rt 7		100																	
Kln 5	57,4		42,6																

Py 7												44,2			55,8		
Slika 88j																	
Rt 8		98,4					1,57										
Kln 6	55,8		44,2														
Py 8	44			56													
POLJE 16																	
Slika 89k																	
Py 9												44			56		
Slika 89l																	
Mgt 1		0,52							99,5								
Rt 9		97,9				2,07											
Cp 1												30,6			38,1	31,3	
Py 10												44			56		

5.1.6.3. Geohemijske karakteristike

U tabeli 16 dati su sadržaji glavnih oksida i elemenata u tragovima za četiri primerka mineralizovanih stena sa četiri polja uzorkovanja. Analize pokazuju izrazita variranja sadržaja silicije ($\text{SiO}_2=38\text{-}65$ % tež.), aluminije ($\text{Al}_2\text{O}_3=0,2\text{-}21$ % tež.) i ukupnog gvožđa ($\text{Fe}_2\text{O}_3^t=<2\text{-}40$ % tež.). Sadržaji svih ostalih glavnih oksida su veoma niski i ne prelaze 1 % tež. Količina vode koja se gubi žarenjem grubo varira između 10 i 20 % tež. Analize sadržaja elemenata u tragovima pokazuju znatna variranja i visoke koncentracije Ba (749-1313 ppm), Sr (66,8-1265 ppm), Cu (58,2-2562 ppm), As (6-116,8 ppm), Au (29,3-1314 ppb) i Se (od ispod granice detekcije od 0,5 ppm do 21,9 ppm).

Tabela 16 : Sadržaj glavnih oksida i elemenata u jalovim stenama Borskog odlagališta

Lokacija		Polje 3.1	Polje 4.1	Polje 9.1	Polje 16.1
Uzorak		JJ-1	JJ-2	JJ-3	JJ-4
SiO_2	%	44,1	63,4	65,4	37,9
TiO_2	%	0,49	0,62	0,58	0,12
Al_2O_3	%	17,31	21,2	19,41	0,18
* Fe_2O_3^t	%	17,4	1,4	2,85	40
MnO	%	0,02	<0,01	0,01	0,02

MgO	%	<0,01	0,04	<0,01	<0,01
CaO	%	0,26	0,1	0,59	0,05
Na ₂ O	%	0,24	0,05	0,01	<0,01
K ₂ O	%	0,82	1,01	0,01	0,02
P ₂ O ₅	%	0,16	0,07	0,13	<0,01
Cr ₂ O ₃	%	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
LOI	%	18,6	11,8	10,6	21,4
Sum	%	99,4	99,8	99,6	99,7
Sc	ppm	8	30	8	1
Ba	ppm	1313	749	1973	999
Be	ppm	<1	<1	<1	<1
Co	ppm	21,2	2	2,1	21,4
Cs	ppm	<0,1	0,2	<0,1	<0,1
Ga	ppm	2,2	22,2	16,4	<0,5
Hf	ppm	1,4	1,9	1,9	0,3
Nb	ppm	5,1	4,9	4,8	1,5
Rb	ppm	0,5	2,8	0,2	0,4
Sn	ppm	18	2	14	11
Sr	ppm	1053	333	1265	67
Ta	ppm	0,1	0,3	0,2	<0,1
Th	ppm	1,9	1,5	1,4	<0,2
U	ppm	0,4	0,6	0,3	<0,1
V	ppm	207	304	94	18
W	ppm	3,5	18,3	1,7	3,2
Zr	ppm	47,7	73,5	49,8	11,1
Y	ppm	1,6	11	2	0,2
La	ppm	8,6	7	8,7	0,4
Ce	ppm	19,3	15,1	16,1	0,6
Pr	ppm	2,56	2,08	2,14	0,07
Nd	ppm	11	9,4	7,9	<0,3
Sm	ppm	1,94	2,4	1,72	0,06
Eu	ppm	0,7	0,82	0,45	0,02
Gd	ppm	1,32	2,24	0,79	<0,05
Tb	ppm	0,09	0,32	0,06	<0,01

Dy	ppm	0,34	2,07	0,4	<0,05
Ho	ppm	0,05	0,39	0,04	<0,02
Er	ppm	0,22	1,13	0,22	0,03
Tm	ppm	0,04	0,18	0,05	<0,01
Yb	ppm	0,36	1,24	0,44	0,06
Lu	ppm	0,07	0,17	0,07	<0,01
TOT/S	%	14,38	1,87	3,34	32,53
Mo	ppm	2,9	5,4	1,9	2,3
Cu	ppm	2562	58	370	1590
Pb	ppm	38,3	22,3	29,2	179,1
Zn	ppm	25	13	52	36
Ag	ppm	1,5	0,7	0,9	5,3
Ni	ppm	20,3	5,2	8,9	13,9
As	ppm	116,8	14,8	17,5	6
Au	ppb	221	87	29,3	1314
Cd	ppm	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
Sb	ppm	6,2	1,1	4,8	3,8
Bi	ppm	0,6	0,4	0,2	1,2
Hg	ppm	0,14	0,17	0,46	0,3
Tl	ppm	0,3	0,7	0,1	0,1
Se	ppm	6,3	<0,5	3,8	21,9
OBJAŠNJENJE: *Fe ₂ O ₃ ^t – Ukupno gvožđe kao Fe ₂ O ₃ , kombinacija oksida i hidroksida, LOI – gubitak žarenjem					

5.2. Analiza fizičkih i hemijskih karakteristika deposola

Od fizičkih karakteristika zemljišta u ovom istraživanju analiziran je mehanički sastav odnosno tekstura deposola borskih odlagališta. Pri ispitivanju hemijskih karakteristika deposola analizirane su: aktivna, supstitucionalna i hidrolitička kiselost, suma baza, kapacitet razmenjivih katjona, oksido-redukциони potencijal i električna konduktivnost, sadržaj pristupačnog kalijuma i fosfora, kalcijuma i magnezijuma, sadržaj ukupnog azota i organske materije. Konstatovane osobine deposola odražavaju meru modifikacije usitnjenog otkopanog stenskog materijala na površini odlagališta.

Mineraloški sastav, fizičke i hemijske osobine deposola u najvećoj meri zavise upravo od karakteristika i sastava litoloških grupa koje se javljaju na odlagalištu borske otkrivke, a iznad kojih su se ovi deposoli formirali kao posledica spontane kolonizacije od strane biljnih vrsta. Na osnovu prikazanih rezultata izvršeno je rangiranje i delimična karakterizacija ispitivanih deposola.

U pogledu fizičko-hemijskih osobina deposola, analiza varijanse pokazuje statistički značajne razlike u pogledu varijanse svih ispitivanih parametara izuzev mehaničkog sastava i sadržaja organske materije među izdvojenim litološkim grupama na području odlagališta rudničke otkrivke u Boru (tabela 17).

Tabela 17: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama, inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina i vrednosti F-testa za analizu varijanse fizičko-hemijskih karakteristika borske otkrivke, sa p-vrednostima (značajne vrednosti pri $p < 0,05$ označene su *)

Varijabla	X	$X_{Bc(inv)}$	F	p
Glina	1,37	1,15	1,5	0,213
Prah	1,64	1,47	0,61	0,654
pH (H ₂ O)	6,05	6,12	26,2	*0,000
pH (KCl)	5,20	5,28	18,6	*0,000
H	6,15	2,05	16,2	*0,000
Eh	333	282	21,1	*0,000
EC	0,56	0,32	9,63	*0,000
SB	37,1	25,8	13,8	*0,000
OM	1,57	0,93	1,78	0,143
Ca	7916	6115	3,24	*0,018
K ₂ O	14,5	13,1	5,51	*0,001
Mg	203	173	5,45	*0,001
N	0,03	0,02	8,34	*0,000
P ₂ O ₅	6,79	3,54	13,1	*0,000

Kao halkofilni elementi karakteristični za vulkanogena masivna sulfidna orudnjenja, i sa njima u vezi ležištima bakra u borskoj metalogenetskoj zoni, javljaju se u prvom redu Cu, As, Pb, Zn i S. Mineralna asocijacija vezana za borsko ležište bakra predstavljena je rudnim metalima poput prita, halkozina, kovelina, koluzita i bornita, u kojima se ovi elementi javljaju kao graditelji ili primešane komponente. Litofilni Cr, sa druge strane, javlja se kao sastavni deo magmi iz kojih se izdvaja u kristalima u ranim fazama kristalizacije. Navedeni hemijski elementi ispitivani su u deposolima borske otkrivke i na osnovu njihove zastupljenosti izvršena je delimična karakterizacija odloženog materijala.

U pogledu sadržaja ispitivanih elemenata, analiza varijanse pokazuje statistički značajne razlike u varijansi sadržaja pseudo-totalnog bakra, olova, sumpora i cinka, kao i razlike u varijansi sadržaja EDTA-dostupnog arsena, hroma, bakra, olova, sumpora i cinka (F i p vrednosti date u tabeli 18) među izdvojenim litološkim grupama na području odlagališta rudničke otkrivke u Boru.

Tabela 18: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama, inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina i vrednosti F-testa za analizu varijanse elemenata borske otkrivke, sa p-vrednostima (značajne vrednosti pri $p < 0,05$ označene su *)

Element	X (ppm)	$X_{Bc(inv)}$ (ppm)	F	p
As	106 ± 57,9	92,4	0,427	0,788
Cr	60,5 ± 23,8	55,7	1,500	0,213
Cu	804 ± 555	671	7,236	*0,000
Pb	99,1 ± 46,1	89,3	3,350	*0,015
Zn	121,1 ± 62,7	112	4,886	*0,002
S	6004 ± 4780	4435	5,036	*0,001
As _{EDTA}	6,46 ± 10,6	0,9	16,323	*0,000
Cr _{EDTA}	0,60 ± 0,63	0,40	4,528	*0,003
Cu _{EDTA}	321 ± 286	229	7,970	*0,000
Pb _{EDTA}	19,4 ± 17,3	13,1	16,680	*0,000

Zn _{EDTA}	29,2 ± 28,3	20	3,793	*0,008
S _{EDTA}	2502 ± 3753	706	6,838	*0,000

5.2.1. Mehanički sastav

Deposoli borskih odlagališta prema teksturi spadaju u skeletna i skeletoidna zemljišta, čiji se sadržaj frakcija >2 mm kreće od 5% pa do preko 80% na poljima uzorkovanja. Najveće prosečno učešće skeleta pokazuju deposoli borskih konglomerata (oko 80%), a najmanje nevezanih sedimenata (oko 15%). Deposoli ostalih litoloških grupa imaju promenljivo učešće skeleta, koje u proseku iznosi oko 40%.

Prema teksturi sitne zemlje (frakcija <2 mm) deposoli borskog odlagališta pripadaju peskušama. Klasifikacija deposola prema teksturi (mehaničkom sastavu) izvršena je na osnovu podele po McDonald et al. (1998). Prosečno učešće frakcije peska iznosi 97 ± 1,76%, prosečno učešće frakcije praha 1,37 ± 0,93 % a prosečno učešće frakcije gline 1,64 ± 0,88 %. Srednje vrednosti i standardne devijacije granulometrijskog sastava sitne zemlje deposola pojedinačnih litoloških grupa prikazane su u tabeli 19. Analiza varijanse pokazuje da nema statistički značajnih razlika u granulometrijskom sastavu deposola izdvojenih litoloških grupa na nivou značajnosti od p>0,05 (tabela 17).

Tabela 19: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina granulometrijskog sastava deposola pojedinačnih litoloških grupa

Litološka grupa	Pesak (2mm-0,02) %	Prah (0,02-0,002 mm) %	Prah _{X_{Bc}(inv)} (0,02-0,002 mm) %	Glina (< 0,002 mm) %	Glina _{X_{Bc}(inv)} (< 0,002 mm) %
Hornblenda andeziti	96,8 ± 2,62	1,49 ± 1,35	1,17	1,71 ± 1,30	1,46
Alterisani	97,5 ± 0,74	1,05 ± 0,32	1,00	1,42 ± 0,50	1,33

hornblenda andeziti					
Dvostruka litologija	96,6 ± 1,03	1,6 ± 0,51	1,52	1,84 ± 0,58	1,75
Borski konglomerati	96,8 ± 0,98	1,59 ± 0,57	1,50	1,65 ± 0,47	1,59
Nevezani sediment	97,2 ± 1,52	1,22 ± 0,87	0,99	1,58 ± 0,75	1,40

5.2.2. Hemijske osobine

Reakcija zemljišnog rastvora određena je koncentracijom disosovanih H⁺ jona, koji su u ravnoteži sa adsorbovanim H⁺ jonima. Aktivna kiselost predstavlja kiselost zemljišnog rastvora odnosno tečne faze zemljišta koju prouzrokuju H⁺ joni slobodni u rastvoru. Interval vrednosti aktivne i supstitucione kiselosti deposola izdvojenih litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 20.

Tabela 20: Interval vrednosti aktivne i supstitucione kiselosti deposola izdvojenih litoloških grupa

Litološka grupa	Izmerena vrednost aktivne kiselosti (pH H ₂ O)	pH H ₂ O _{XBc(inv)}	Izmerena vrednost supstitucione kiselosti (pH KCl)	pH KCl _{XBc(inv)}
Hornblenda andeziti	4,03- 7,85	6,74	3,62 - 6,95	5,82
Alterisani hornblenda andeziti	3,45 - 6,49	4,63	3,15 - 5,94	3,95
Dvostruka litologija	5,78 - 8,12	7,46	5,33 - 7,25	6,57
Borski konglomerati	7,94 – 8,4	8,24	6,16 - 7,05	6,77
Nevezani sediment	3,45 – 7,92	4,75	2,65 - 6,99	4,17

Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike aktivne kiselosti i supstitucione kiselosti deposola izdvojenih litoloških grupa na nivou značajnosti od p>0,05 (tabela 17). Post-hoc Dunett-ov test na nivou značajnosti od p>0,05 (tabela 21) ukazuje na to da se po pitanju aktivne kiselosti rastvora može

izdvojiti jedna zasebna grupa koju čine deposoli alterisanih andezita i nevezanih sedimenata. Sa druge strane, izmerene aktivne kiselosti rastvora deposola hornblenda andezita ne pokazuju značajne razlike u odnosu na deposole dvostrukih litologija, dok ovi ne pokazuju značajnu razliku u odnosu na deposole borskih konglomerata.

Tabela 21: Dunnett-ov post-hoc test za iznos aktivne kiselosti (greška sredina kvadrata MSE= 3,28, broj stepeni slobode $d_f= 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,000	*0,004	0,249	*0,000
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,000		*0,000	*0,000	0,996
{3} Borski konglomerati	*0,004	*0,000		0,365	*0,000
{4} Dvostruka litologija	0,249	*0,000	0,365		*0,000
{5} Nevezani sediment	*0,000	0,996	*0,000	*0,000	

Kada je u pitanju supstitucionna kiselost, post-hoc Dunett-ov test na nivou značajnosti od $p>0,05$ (tabela 22) pokazuje jasno izdvajanje dve grupe deposola: prvu, kiseliju, čine deposoli alterisanih andezita i nevezanih sedimenata, dok drugu, nešto viših izmerenih vrednosti supstitucione kiselosti, čine deposoli hornblenda andezita, dvostrukih litologija i borskih konglomerata.

Tabela 22: Dunnett-ov post-hoc test za iznos supstitucione kiselosti (greška sredina kvadrata MSE=3.24, broj stepeni slobode $d_f= 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,000	0,100	0,192	*0,000
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,000		*0,000	*0,000	0,968
{3} Borski konglomerati	0,100	*0,000		0,986	*0,000
{4} Dvostruka litologija	0,192	*0,000	0,986		*0,000
{5} Nevezani sediment	*0,000	0,968	*0,000	*0,000	

Prema klasifikaciji Američkog udruženja za zaštitu zemljišta (Soil Survey Division Staff, 1993), deposoli formirani od hornblenda andezita i nevezanih sedimenata na osnovu vrednosti svoje aktivne kiselosti nalaze se u intervalu od ekstremno kiselih do blago alkalnih, pri čemu najveći deo uzoraka deposola hornblenda andezita (43%) spada u kategoriju blago alkalnih, dok 61% uzoraka deposola nevezanih sedimenata spada u grupu jako i veoma jako kiselih. Deposoli alterisanih andezita nalaze se u intervalu od ultra kiselih do blago kiselih, pri čemu se 34% uzoraka nalazi u kategoriji ekstremno kiselih. Za razliku od njih, deposoli koji su se formirali na dvostrukoj litologiji spadaju u grupu blago kiselih do srednje alkalnih (56% od ukupnog broja uzoraka iz ove kategorije spada u blago alkalne), dok svi ispitivani deposoli formirani iznad borskih konglomerata spadaju u grupu srednje alkalnih.

Prema klasifikaciji Škorića (1985) na osnovu vrednosti supstitucione kiselosti deposoli formirani na hornblenda andezitima i nevezanom sedimentu spadaju u jako kisele do praktično neutralne, dok se deposoli alterisanih andezita kreću u rangi od jakih do slabo kiselih. Deposoli formirani od dvostrukih litologija kreću se u rangi od kiselih do alkalnih, dok deposoli nad borskim konglomeratima spadaju u grupu praktično neutralnih.

Tabela 23: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina hidrolitičke kiselosti litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	X_{sr} hidrolitičke kiselosti (cmol/kg)	$X_{XBc(inv)}$ hidrolitičke kiselosti (cmol/kg)
Hornblenda andeziti	2,12 ± 2,45	1,37
Alterisani hornblenda andeziti	15 ± 11,3	8,96
Dvostruka litologija	0,86 ± 0,92	0,55
Borski konglomerati	0,41 ± 0,23	0,36
Nevezani sediment	9,79 ± 7,60	5,16

Na osnovu podataka u tabeli 23, sledi da alterisani andeziti i nevezani sediment imaju najveću vrednost hidrolitičke kiselosti, dok je kod dvostruke litologije i borskih konglomerata ona najniža. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike hidrolitičke kiselosti deposola izdvojenih litoloških grupa (tabela 17) na nivou značajnosti od $p > 0.05$.

Tabela 24: Tukey HSD post-hoc test za vrednost hidrolitičke kiselosti (greška sredina kvadrata $MSE=1.2$, broj stepeni slobode $d_f=62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0.000	*0.042	0.220	*0.005
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0.000		*0.000	*0.000	0.725
{3} Borski konglomerati	*0.042	*0.000		0.927	*0.000
{4} Dvostruka litologija	0.220	*0.000	0.927		*0.000
{5} Nevezani sediment	*0.005	0.725	*0.000	*0.000	

Post-hoc Tukey-ov test na nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 24) pokazuje jasno izdvajanje grupe deposola alterisanih andezita i nevezanih sedimenta od ostalih grupa deposola. Deposoli hornblenda andezita prema vrednosti hidrolitičke kiselosti najslabiji su deposolima dvostrukih litologija. Deposoli konglomerata i dvostrukih litologija takođe nemaju statistički značajnih razlika u odnosu na ovaj parametar, dok deposoli dvostrukih litologija pokazuju sličnosti u pogledu iznosa hidrolitičke kiselosti i sa deposolima borskih konglomerata i sa deposolima hornblenda andezita.

Tabela 25 prikazuje podatke vezane za sumu ekstrahovanih baza u odnosu na deposite formirane iznad različitih litoloških grupa borske otkrivke. Iz tabele 25 sledi da deposoli borskih konglomerata pokazuju najveću količinu ekstrahovanih baznih katjona, a za njima slede deposoli dvostrukih litologija i hornblenda andezita. Deposoli alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenta daju najmanju količinu ekstrahovanih baznih katjona u odnosu na deposite formirane od ostalih litoloških grupa.

Tabela 25: Srednja vrednost sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina suma baza (S) deposola borske otkrivke

Litološka grupa	S (meq/100 gr)	S _{XBc(inv)} (meq/100 gr)
Hornblenda andeziti	37,9 ± 26,1	32,8
Alterisani hornblenda andeziti	16,7 ± 20,8	9,81
Dvostruka litologija	59,5 ± 27,3	55,9
Borski konglomerati	91,3 ± 16,1	90,4
Nevezani sediment	17,6 ± 21,5	9,48

Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike ekstrahovanih suma baza deposola izdvojenih litoloških grupa na nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 17). Rezultati post-hoc Dunnett-ovog testa na nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 26) takođe pokazuju izdvajanje zasebne grupe deposola alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata od deposola preostalih litologija. Deposoli dvostrukih litologija ne pokazuju značajne razlike u pogledu vrednosti ekstrahovane sume baza u odnosu na deposole hornblenda andezita i borskih konglomerata. Deposoli borskih konglomerata se po sadržaju ekstrahovane sume baza ne razlikuju značajno od deposola dvostrukih litologija.

Tabela 26: Dunnett-ov post-hoc test za vrednosti sume baza (varijansa 10,68, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,009	*0,005	0,263	*0,002
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,009		*0,000	*0,000	1,000
{3} Borski konglomerati	*0,005	*0,000		0,390	*0,000
{4} Dvostruka litologija	0,263	*0,000	0,390		*0,000
{5} Nevezani sediment	*0,002	1,000	*0,000	*0,000	

Pod kapacitetom razmene katjona podrazumeva se celokupna količina katjona u zemljištu koja podleže razmeni. Metoda izračunavanja kapaciteta razmenjivih katjona

putem sabiranja sume baza i iznosa hidrolitičke kiselosti generalno daje nepouzdana rezultate za bazna zemljišta (Ross, 1995, Sikora et al., 2014), pa su opsezi vrednosti kapaciteta razmenjivih katjona ovde prikazani za deposite čija je pH vrednost ispod 7 (Sikora et al., 2014) u tabeli 27.

Tabela 27: Opseg vrednosti kapaciteta razmenjivih katjona u uzorcima deposite izdvojenih litoloških grupa borske otkrivke sa pH vrednošću ispod 7

Litološka grupa	Kapacitet razmenjivih katjona CEC (meq/100gr)	Broj uzoraka sa pH < 7 u grupi
Hornblenda andeziti	11,3 – 49	n=9
Alterisani hornblenda andeziti	8,46 – 65,7	n=15
Dvostruka litologija	31,3 – 101,4	n=2
Nevezani sediment	7,00 – 37,8	n= 15

Na osnovu prikazanih rezultata u tabeli 27 sledi da najvišu vrednost kapaciteta razmenjivih katjona pokazuju deposite dvostrukih litologija, a potom i deposite alterisanih hornblenda andezita. Najniže vrednosti utvrđenog kapaciteta za izmenu katjona poseduju deposite nevezanih sedimenata.

Oksido-redukциони uslovi u deposite značajni su za mobilnost pojedinih elemenata u rastvoru. Depositi formirani nad različitim litologijama borske otkrivke razlikuju se po svojim oksido-redukcionim vrednostima (tabela 28), na šta ukazuje analiza varijanse pri nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 17).

Tabela 28: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina oksido-redukcionog potencijala litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Oksido-redukциони potencijal Eh (mV)	Oksido-redukциони potencijal Eh _{XBc(inv)} (mV)
Hornblenda andeziti	323 ± 37,2	322
Alterisani hornblenda andeziti	376 ± 29,3	376

Dvostruka litologija	278 ± 27,2	277
Borski konglomerati	258 ± 7,41	258
Nevezani sediment	371 ± 51,9	369

Post-hoc Dunnett-ov test ukazuje na postojanje tri odvojene grupe (tabela 29). Statistički značajne razlike oksido-redukcionog potencijala konstatovane su između deposola hornblenda andezita i deposola svih ostalih litologija. Deposoli alterisanih hornblenda andezita i deposoli nevezanog sedimenta značajno se razlikuju od deposola ostalih litologija. Takođe, vrednosti oksido-redukcionog potencijala konglomerata i dvostrukih litologija značajno odstupaju od vrednosti ostalih grupa.

Tabela 29: Dunnett-ov post-hoc test za vrednosti oksido-redukcionog potencijala (greška sredina kvadrata MSE= 1437, broj stepeni slobode $d_f= 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,001	*0,001	*0,014	*0,001
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,001		*0,000	*0,000	0,991
{3} Borski konglomerati	*0,001	*0,000		0,709	*0,000
{4} Dvostruka litologija	*0,014	*0,000	0,709		*0,000
{5} Nevezani sediment	*0,001	0,991	*0,000	*0,000	

Električna konduktivnost predstavlja meru provodljivosti zemljišnog rastvora, koja je proporcionalna koncentraciji u njemu rastvorenih soli različitih elemenata. Najviše vrednosti električne konduktivnosti pokazuju deposoli alterisanih andezita i nevezanih sedimenata (tabela 30).

Tabela 30: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina električne konduktivnosti deposola litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Električna konduktivnost EC (mS)	Električna konduktivnost EC $X_{Bc(inv)}$ (mS)
Hornblenda andeziti	0,29 ± 0,33	0,18
Alterisani hornblenda andeziti	0,89 ± 0,67	0,59
Dvostruka litologija	0,46 ± 0,53	0,14
Borski konglomerati	0,14 ± 0,30	0,29
Nevezani sediment	0,87 ± 0,57	0,66

Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike u izmerenoj električnoj konduktivnosti deposola izdvojenih litoloških grupa (tabela 17) na nivou značajnosti od $p > 0,05$.

Tabela 31: Dunnett-ov post-hoc test za vrednosti električne konduktivnosti (greška sredina kvadrata MSE=0.15, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,001	0,814	0,437	*0,000
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,001		*0,001	0,199	0,991
{3} Borski konglomerati	0,814	*0,001		0,194	*0,000
{4} Dvostruka litologija	0,437	0,199	0,194		0,068
{5} Nevezani sediment	*0,000	0,990	*0,000	0,068	

Kako iz tabele 31 sledi, na osnovu rezultata post-hoc Dunnett-ovog testa na nivou značajnosti od $p > 0,05$, u odnosu na vrednost električnog konduktiviteta kao mere zaslanjenosti deposola možemo najpre izdvojiti dve zasebne grupe. U prvu spadaju deposoli hornblenda andezita i nevezanih sedimenata, a u drugu deposoli konglomerata i hornblenda andezita. Deposoli dvostrukih litologija čine posebnu međugrupu i ne pokazuju značajna odstupanja od deposola ostalih litologija. Prema klasifikaciji Reeuwijk-a (2002), deposoli alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata

poseduju vrednosti električnog konduktiviteta koje ukazuju na postojanje procesa salinizacije.

5.2.2.1. Sadržaj makroelemenata i organske materije u deposolu

Prosečni sadržaj pristupačnog kalijuma deposola izdvojenih litoloških grupa prikazan je u tabeli 31. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike u sadržaju pristupačnog kalijuma kod deposola izdvojenih litoloških grupa na nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 17).

Tabela 32: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog kalijuma deposola litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Pristupačni K_2O (mg/100 gr)	Pristupačni $K_2O_{XBc(inv)}$ (mg/100 gr)
Hornblenda andeziti	$16,1 \pm 7,78$	14,9
Alterisani hornblenda andeziti	$10,4 \pm 6,68$	9
Dvostruka litologija	$15,8 \pm 8,15$	14,5
Borski konglomerati	$23,2 \pm 6,95$	22,6
Nevezani sediment	$11,5 \pm 4,60$	10,9

Prema klasifikaciji za zemljišta sa sadržajem humusa do 5% koju navode Knežević i Košanin (2007), sadržaj kalijuma (u odnosu na mehanički sastav deposola) pokazuje visoke vrednosti nad litološkim grupama borskih konglomerata, hornblenda andezita i dvostrukih litologija, dok su deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih hornblenda andezita srednje obezbeđeni pristupačnim kalijumom.

Tabela 33: Tukey HSD post-hoc test za vrednosti pristupačnog kalijuma (greška sredina kvadrata $MSE = 0.83$, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,045	0,192	1,000	0,272
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,045		*0,001	0,191	0,840
{3} Borski konglomerati	0,192	*0,001		0,267	*0,005
{4} Dvostruka litologija	1,000	0,191	0,267		0,603
{5} Nevezani sediment	0,272	0,840	*0,005	0,603	

Kako iz tabele 33 sledi, na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa na nivou značajnosti od $p > 0,05$, zapaža se razlika u sadržaju pristupačnog kalijuma između deposola alterisanih andezita sa jedne strane, i deposola hornblenda andezita i konglomerata sa druge strane. Sitnozrni materijal se prema sadržaju pristupačnog kalijuma značajno razlikuje samo od deposola borskih konglomerata, dok se deposoli hornblenda andezita po ovom parametru značajno razlikuju jedino u odnosu na deposole alterisanih hornblenda andezita.

Prosečni sadržaj pristupačnog fosfora u deposolima izdvojenih litoloških grupa prikazan je u tabeli 34. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike u sadržaju pristupačnog fosfora kod deposola izdvojenih litoloških grupa ($F=13,098$, $p=0,00$) na nivou značajnosti od $p > 0,05$.

Tabela 34: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog fosfora deposola litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Pristupačni P_2O_5 (mg/100 gr)	Pristupačni $P_2O_5 \times Bc_{(inv)}$ (mg/100 gr)
Hornblenda andeziti	$8,41 \pm 7,01$	5,91
Alterisani hornblenda andeziti	$2,70 \pm 5,04$	0,67
Dvostruka litologija	$9,97 \pm 4,63$	9,15
Borski konglomerati	$16,4 \pm 7,14$	15,2
Nevezani sediment	$2,32 \pm 3,33$	1,18

Iz tabele 35 sledi da se na osnovu rezultata post-hoc Dunnett-ovog testa na nivou značajnosti od $p > 0,05$ za sadržaj lakopristupačnog fosfora kod deposola borskih odlagališta generalno mogu izdvojiti dve grupe. Prvu čine deposoli obrazovani od hornblenda andezita, dvostrukih litologija i borskih konglomerata, a drugu deposoli alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenta. Na osnovu klasifikacije Richm-a za Al metodu (Baize, 1993), deposoli hornblenda andezita slabo su do srednje obezbeđeni pristupačnim fosforom. Deposoli dvostrukih litologija srednje su obezbeđeni, a deposoli borskih konglomerata, iako varijablina u odnosu na ovaj parametar, mogu se generalno svrstati u klasu srednje do dobro obezbeđenih. Deposoli alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenta veoma slabo su obezbeđeni pristupačnim fosforom.

Tabela 35: Dunnett-ov post-hoc test za vrednosti pristupačnog fosfora (greška sredina kvadrata MSE= 2,83, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,000	0,088	0,687	*0,001
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,000		*0,000	*0,000	0,823
{3} Borski konglomerati	0,088	*0,000		0,664	*0,000
{4} Dvostruka litologija	0,687	*0,000	0,664		*0,000
{5} Nevezani sediment	*0,001	0,823	*0,000	*0,000	

Sadržaj ukupnog azota u deposolima borske otkrivke (tabela 35) kreće se u intervalu od 0,01 do 0,075 %. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike ukupnog sadržaja azota u deposolima izdvojenih litoloških grupa na nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 17).

Tabela 36: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja ukupnog azota deposola litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Sadržaj ukupnog azota (%)	Sadržaj ukupnog azota $x_{Bc(inv)}$ (%)
Hornblenda andeziti	0,035 ± 0,019	0,03
Alterisani hornblenda andeziti	0,013 ± 0,004	0,01
Dvostruka litologija	0,029 ± 0,019	0,02
Borski konglomerati	0,044 ± 0,02	0,04
Nevezani sediment	0,018 ± 0,01	0,01

Na osnovu klasifikacije zemljišta prema sadržaju ukupnog azota (po Wolthmann-u, u Knežević i Košanin, 2007), deposoli borskog odlagališta spadaju u slabo do srednje obezbeđene azotom. Deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih andezita pokazuju izuzetno nisku snabdevenost azotom, dok se deposoli dvostrukih litologija generalno smatraju veoma siromašnim azotom. Deposoli hornblenda andezita i borskih konglomerata siromašni su ukupnim azotom.

Tabela 37: Tukey HSD post-hoc test za vrednosti ukupnog azota (greška sredina kvadrata MSE= 2,69, broj stepeni slobode $d_f= 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,001	0,680	0,967	*0,006
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,001		*0,000	0,046	0,856
{3} Borski konglomerati	0,680	*0,000		0,470	*0,003
{4} Dvostruka litologija	0,967	0,046	0,470		0,208
{5} Nevezani sediment	*0,007	0,856	*0,003	0,208	

Kako iz tabele 37 sledi, na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa na nivou značajnosti od $p>0,05$, zapaža se razlika u sadržaju ukupnog azota između deposola alterisanih andezita i nevezanih sedimenata sa jedne strane, i deposola hornblenda andezita i konglomerata sa druge strane. Deposoli dvostrukih litologija se, međutim, po sadržaju ukupnog azota ne razlikuju od ostalih litoloških grupa, dok se deposoli nevezanih sedimenata po sadržaju ukupnog azota statistički značajno razlikuju jedino od deposola borskih konglomerata i hornblenda andezita.

U pogledu sadržaja organske materije (tabela 38) analiza varijanse nije pokazala statistički značajne razlike između deposola izdvojenih litoloških grupa borskog odlagališta (tabela 17).

Tabela 38: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja organske materije deposola litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Sadržaj organske materije (%)	Sadržaj organske materije $\chi_{Bc(inv)}$ (%)
Hornblenda andeziti	1,46 ± 1,24	0,79
Alterisani hornblenda andeziti	0,62 ± 0,78	0,41
Dvostruka litologija	2,78 ± 3,11	1,91
Borski konglomerati	1,82 ± 1,25	1,28
Nevezani sediment	1,76 ± 1,79	1,06

Na osnovu klasifikacije zemljišta prema obezbeđenosti humusom (po Škoriću, 1985), deposoli alterisanih andezita spadaju u vrlo slabo obezbeđene, dok deposoli hornblenda andezita, nevezanog sedimenta i borskih konglomerata spadaju u slabo obezbeđene. Deposoli dvostrukih litologija pokazuju povišen sadržaj organske materije u odnosu na deposole ostalih litologija, tako da se ovi deposoli svrstavaju u kategoriju slabo obezbeđenih do obezbeđenih organskom materijom.

Prosečni sadržaj pristupačnog kalcijuma u deposolima izdvojenih litoloških grupa prikazan je u tabeli 39. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike u sadržaju pristupačnog kalcijuma kod deposola izdvojenih litoloških grupa (na nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 17).

Tabela 39: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog kalcijuma deposola litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Sadržaj pristupačnog kalcijuma (mg/kg)	Sadržaj pristupačnog kalcijuma _{XBc(inv)} (mg/kg)
Hornblenda andeziti	5213 ± 2421	4584
Alterisani hornblenda andeziti	8840 ± 7541	6120
Dvostruka litologija	9560 ± 6657	7616
Borski konglomerati	11651 ± 2305	11418
Nevezani sediment	8419 ± 7771	6161

Kako iz tabele 39 sledi, najviši sadržaj pristupačnog kalcijuma sadrže depoziti karbonatnih litologija – borski konglomerati i dvostruke litologije. Za njim slede depoziti alterisanih andezita i nevezanih sedimenata, dok najniže vrednosti pokazuju depoziti hornblenda andezita. Prosečne vrednosti pristupačnog kalcijuma u zemljištima kreću se u rasponu od 300-5000 mg/kg (Kelling & Shulte, 2004). Prema klasifikaciji Metson-a (1961), na osnovu sadržaja pristupačnog (razmenjivog) kalcijuma, depoziti borskog odlagališta generalno se mogu svrstati u veoma dobro obezbeđene.

Tabela 40: Tukey HSD post-hoc test za vrednosti pristupačnog kalcijuma (greška sredina kvadrata MSE= 1,04, broj stepeni slobode $d_f= 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Depoziti prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		0,218	*0,012	0,607	0,491
{2} Alterisani hornblenda andeziti	0,218		0,751	0,943	0,927
{3} Borski konglomerati	*0,012	0,751		0,294	0,234
{4} Dvostruka litologija	0,607	0,943	0,294		1,000
{5} Nevezani sediment	0,491	0,927	0,233	1,000	

Prema vrednostima iz tabele 40, na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa na nivou značajnosti od $p>0,05$ zapaža se značajna razlika u sadržaju pristupačnog kalcijuma između depozita hornblenda andezita i borskih konglomerata, dok među depozitima ostalih litoloških grupa nema značajnih razlika u odnosu na ovaj parametar.

Analiza varijanse sadržaja pristupačnog magnezijuma kod deposola izdvojenih litoloških grupa pokazuje da postoje statistički značajne razlike u na nivou značajnosti od $p > 0,05$ (tabela 17).

Tabela 41: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog magnezijuma deposola litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Sadržaj pristupačnog magnezijuma (mg/kg)	Sadržaj pristupačnog magnezijuma $X_{Bc(inv)}$ (mg/kg)
Hornblenda andeziti	280 ± 140	263
Alterisani hornblenda andeziti	155 ± 130	128
Dvostruka litologija	136 ± 104	115
Borski konglomerati	283 ± 139	266
Nevezani sediment	147 ± 115	122

Iz tabele 41 sledi da najveći sadržaj pristupačnog magnezijuma poseduju deposoli borskih konglomerata i hornblenda andezita. Za njima slede deposoli alterisanih andezita i nevezanih sedimenata, a potom i dvostrukih litologija. Prema klasifikaciji Metson (1961), na osnovu sadržaja pristupačnog magnezijuma, deposoli borskog odlagališta generalno se mogu svrstati u srednje obezbeđene.

Tabela 42: Tukey HSD post-hoc test za vrednosti pristupačnog magnezijuma (greška sredina kvadrata MSE= 72,2, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,027	1,000	*0,031	*0,006
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,027		0,116	0,998	1,000
{3} Borski konglomerati	1,000	0,116		0,154	0,082
{4} Dvostruka litologija	*0,031	0,998	0,154		1,000
{5} Nevezani sediment	*0,006	1,000	0,082	1,000	

Na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa (tabela 42) zapaža se statistički značajna razlika na nivou značajnosti od $p > 0.05$ u sadržaju pristupačnog magnezijuma između deposola hornblenda andezita sa jedne strane, i deposola alterisanih andezita, dvostrukih litologija i nevezanih sedimenata sa druge strane.

Zemljište predstavlja kompleksan prirodni sistem, i njegove različite komponente i osobine povezane su u većoj ili manjoj meri. Pronalaženje veza između ovih osobina zemljišta može ukazati na postojeće procese koji se unutar tog sistema odvijaju, moguće uzroke degradacije ili pravce zaštite i unapređenja njegovog kvaliteta. Značajne međusobne korelacije fizičko-hemijskih osobina deposola borskih odlagališta prikazane su u tabeli 43.

Tabela 43: Pearson-ov koeficijent korelacije fizičko-hemijskih osobina deposola odlagališta otkrivke u Boru (pH_{H_2O} -aktivna kiselost deposola, pH_{KCl} -supstituciona kiselost deposola, H – hidrolitička kiselost deposola, Eh-oksido-redukциони potencijal, EC-električna konduktivnost, SB-suma baza, Ca- pristupačni kalcijum, K_2O - pristupačni kalijum, Mg – pristupačni magnezijum, N- ukupni azot, P_2O_5 -pristupačni fosfor, OM – organska materija). Značajne visoke vrednosti korelacija označene su simbolom *.

Varijabla	Prah	Glina	pH_{H_2O}	pH_{KCl}	H	Eh	EC	SB	C	Ca	K_2O	Mg	N
Glina	0,66												
pH_{H_2O}	0,25	0,26											
pH_{KCl}	0,28	0,30	*0,98										
H	-0,30	-0,31	*-0,95	*-0,95									
Eh	-0,23	-0,25	*-0,94	*-0,94	*0,93								
EC	-0,03	-0,04	*-0,63	-0,50	0,51	0,51							
SB	0,17	0,21	*0,85	*0,86	*-0,84	*-0,82	-0,40						
OM	0,22	0,31	0,30	0,33	-0,36	-0,36	-0,06	0,28					
Ca	-0,10	-0,14	-0,01	0,04	-0,06	-0,07	0,40	0,21	-0,02				
K_2O	0,04	0,23	0,50	0,46	-0,47	-0,47	-0,35	*0,61	0,42	0,11			
Mg	0,11	0,08	0,48	0,45	-0,42	-0,38	-0,36	0,46	0,22	-0,16	*0,62		
N	0,12	0,21	0,57	0,56	-0,50	-0,51	-0,45	0,50	0,25	-0,13	0,57	0,30	
P_2O_5	0,24	0,03	0,65	0,58	-0,58	-0,56	-0,50	0,51	0,16	0,01	0,31	0,25	0,49

Najsnažnije korelacije među analiziranim hemijskim osobinama deposola prisutne su u slučaju aktivne i potencijalnih kiselosti (pozitivna korelisanost), kao i oksido-redukcionog potencijala sa ovim veličinama (negativna korelisanost). Potom sledi visok stepen negativnih korelacija ekstrahovane sume baznih katjona sa merama aktivnosti vodonika i elektrona u deposolu. Aktivna kiselost takođe pokazuje negativnu korelaciju sa električnom konduktivnošću deposola, a suma baznih katjona u deposolu pozitivnu korelaciju sa lakopristupačnim kalijumom. Sadržaji lakopristupačnog kalijuma i magnezijuma takođe su međusobno pozitivno korelisani.

5.2.2.2. Sadržaj mikroelemenata i sumpora

5.2.2.2.1. Pseudo-ukupan sadržaj

Sadržaj pseudo-ukupnog arsena prikazan je u tabeli 44. Analiza varijanse pokazuje da nema statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18). Najviši sadržaj arsena konstatovan je u deposolima dvostrukih litologija, a najmanji u deposolima akterisanih hornblenda andezita.

Tabela 44: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina pseudo-ukupnog sadržaja arsena u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	As _x (ppm)	As _x Bc _(inv) (ppm)
Hornblenda andeziti	108 ± 60,1	92,9
Alterisani hornblenda andeziti	112 ± 91,6	85,3
Dvostruka litologija	117 ± 38,4	112
Borski konglomerati	100 ± 29,5	96,9
Nevezani sediment	96,7 ± 46,3	86,5

Sadržaj pseudo-ukupnog hroma prikazan je u tabeli 45. Analiza varijanse pokazuje da nema statistički značajnih razlika deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na njegov prosečni sadržaj na nivou značajnosti od $p < 0,05$. Najviši sadržaj hroma konstatovan je u deposolima borskih konglomerata, a najmanji u deposolima hornblenda andezita.

Tabela 45: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina pseudo-ukupnog sadržaja hroma u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	C_{Γ_X} (ppm)	$C_{\Gamma_{XBc(inv)}}$ (ppm)
Hornblenda andeziti	$58,4 \pm 34,1$	50,4
Alterisani hornblenda andeziti	$60,3 \pm 11,6$	58,9
Dvostruka litologija	$54,3 \pm 16,7$	50,9
Borski konglomerati	$67,2 \pm 5,1$	66,9
Nevezani sediment	$63,7 \pm 23,3$	59,5

Sadržaj pseudo-ukupnog bakra u deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 45. Odatle sledi da najveći konstatovani sadržaj ukupnog bakra u uzorcima deposola imaju deposoli borskih konglomerata, zatim hornblenda andezita, pa dvostrukih litologija. Nešto niži sadržaj ukupnog bakra pokazuju deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih hornblenda andezita. U pogledu sadržaja pseudo-totalnog bakra analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18).

Tabela 46: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina pseudo-ukupnog sadržaja bakra u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Cu_X (ppm)	$Cu_{XBc(inv)}$ (ppm)
Hornblenda andeziti	959 ± 526	865
Alterisani hornblenda andeziti	498 ± 397	400
Dvostruka litologija	914 ± 403	857

Borski konglomerati	1415 ± 671	1337
Nevezani sediment	534 ± 449	433

Post-hoc Tukey-ov test na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 47) pokazuje izdvajanje dve zasebne grupe deposola, kao i jedne međugrupe. U pogledu varijansi sadržaja pseudo-ukupnog bakra grupa deposola sa hornblenda andezita ne razlikuje se od borskih konglomerata i dvostrukih litologija, a značajno se razlikuje od deposola nevezanih sedimenta i alterisanih hornblenda andezita. Deposoli aliterisanih hornblenda andezita su po varijansi sadržaja pseudo-ukupnog bakra u deposolima slični deposolima nevezanih sedimenta i dvostrukih litologija, dok pokazuju značajne razlike u odnosu na deposole svežih andezita i borskih konglomerata. Konglomerati, sa svoje strane, pokazuju značajne razlike u odnosu na deposole dvostrukih litologija i hornblenda andezita. Deposoli dvostrukih litologija ne pokazuju razlike u pogledu prosečnog sadržaja pseudo-totalnog bakra u odnosu na ostale grupe litologija.

Tabela 47: Tukey-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti pseudo-ukupnog sadržaja bakra u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=18,37$, broj stepeni slobode $d_f=62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,018	0,392	1,000	0,015
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,018		*0,001	0,084	0,998
{3} Borski konglomerati	0,392	*0,001		0,517	*0,001
{4} Dvostruka litologija	1,000	0,084	0,517		0,097
{5} Nevezani sediment	*0,015	0,998	*0,001	0,097	

Sadržaj pseudo-ukupnog olova u deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 48. Najveći prosečni sadržaj pseudo-ukupnog olova poseduju deposoli alterisanih andezita, dok se deposoli dvostrukih litologija odlikuju najnižim utvrđenim pseudo-totalnim sadržajem olova. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18).

Tabela 48: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina pseudo-ukupnog sadržaja olova u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Pb _x (ppm)	Pb _{X_{Bc}(inv)} (ppm)
Hornblenda andeziti	100.84 ± 29.47	95.78
Alterisani hornblenda andeziti	115.24 ± 86.05	91.13
Dvostruka litologija	94.19 ± 18.42	91.88
Borski konglomerati	127.58 ± 33.93	123.54
Nevezani sediment	77.89 ± 29.09	71.78

Kako iz tabele 49 sledi, na osnovu rezultata post-hoc Dunett-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0.05$, u odnosu na vrednost pseudo-ukupnog sadržaja olova deposoli hornblenda andezita i borskih konglomerata razlikuju se od deposola nevezanih sedimenta, dok se deposoli ostalih litoloških grupa u odnosu na vrednost pseudo-ukupnog sadržaja olova nalaze između ovih krajnosti.

Tabela 49: Dunett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti pseudo-ukupnog sadržaja olovau deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0.00658, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		0.990	0.389	0.996	0.044
{2} Alterisani hornblenda andeziti	0.990		0.297	1.000	0.222
{3} Borski konglomerati	0.389	0.297		0.376	*0.005
{4} Dvostruka litologija	0.996	1.000	0.376		0.270
{5} Nevezani sediment	*0.044	0.222	*0.005	0.270	

Sadržaj pseudo-ukupnog cinka u deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 50. Najveći prosečni sadržaj pseudo-ukupnog cinka poseduju deposoli borskih konglomerata i hornblenda andezita, dok se deposoli alterisanih

hornblenda andezita odlikuju najnižim utvrđenim pseudo-ukupnim sadržajem cinka. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18).

Tabela 50: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina pseudo-ukupnog sadržaja cinka u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Zn _x (ppm)	Zn _x Bc _(inv) (ppm)
Hornblenda andeziti	137.08 ± 53.57	131.86
Alterisani hornblenda andeziti	84.24 ± 51.49	76.73
Dvostruka litologija	126.53 ± 28.91	125.07
Borski konglomerati	180.53 ± 44.36	178.46
Nevezani sediment	101.37 ± 77.07	88.63

Rezultati post-hoc Dunett-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 51) pokazuju izdvajanja određenih grupa deposola. Tako se deposoli hornblenda andezita i konglomerata prema sadržaju pseudo-ukupnog cinka razlikuju od deposola alterisanih andezita i nevezanih sedimenata, dok se deposoli nevezanih sedimenata značajno razlikuju jedino od deposola konglomerata, a deposoli alterisanih hornblenda andezita od deposola hornblenda andezita i konglomerata. Deposoli dvostrukih litologija čine međugrupu i ne pokazuju statistički značajne razlike u sadržaju pseudo-ukupnog cinka u odnosu na deposole drugih litoloških grupa.

Tabela 51: Dunett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti pseudo-ukupnog sadržaja cinka u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=23.173, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0.023	0.349	0.997	0.066
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0.023		*0.002	0.146	0.926
{3} Borski konglomerati	0.349	*0.002		0.344	*0.006

{4} Dvostruka litologija	0.997	0.146	0.344		0.334
{5} Nevezani sediment	*0.066	0.926	*0.006	0.334	

Sadržaj pseudo-ukupnog sumpora u deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 52. Najveći prosečni sadržaj pseudo-ukupnog sumpora poseduju deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih hornblenda andezita, dok se deposoli hornblenda andezita i borskih konglomerata odlikuju najnižim utvrđenim pseudo-totalnim sadržajem sumpora. Analiza varijanse pokazuje da postoje statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18).

Tabela 52: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina pseudo-ukupnog sadržaja sumpora u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	S_x (ppm)	$S_{X_{Bc(inv)}}$ (ppm)
Hornblenda andeziti	4645.42 ± 4233.46	3100.00
Alterisani hornblenda andeziti	7580.66 ± 5555.85	5935.29
Dvostruka litologija	4177.72 ± 2838.63	3565.74
Borski konglomerati	2876.08 ± 268.50	2865.41
Nevezani sediment	8667.94 ± 5149.09	7368.14

Kako iz tabele 53 sledi, na osnovu rezultata post- hoc Dunett-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0,05$, u odnosu na vrednost pseudo-ukupnog sumpora pojavljuju se određene razlike između deposola litoloških grupa. Dok deposoli hornblenda andezita pokazuju statistički značajne razlike u odnosu na deposole alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata, deposoli alterisanih andezita ne pokazuju razlike u odnosu na deposole ostalih litoloških grupa. Deposoli konglomerata razlikuju se u odnosu na sadržaj pseudo-ukupnog sumpora od deposola nevezanih sedimenata, dok deposoli dvostrukih litologija ne pokazuju statistički značajne razlike od deposola ostalih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar. Deposoli nevezanih sedimenata, sa svoje strane, pokazuju razlike u odnosu na deposole svežih hornblenda andezita i borskih konglomerata.

Tabela 53: Dunett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti pseudo-ukupnog sadržaja sumpora u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0.37066, broj stepeni slobode $d_f=62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		0.050	0.998	0.972	*0.001
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0.050		0.119	0.333	0.860
{3} Borski konglomerati	0.998	0.119		0.942	*0.015
{4} Dvostruka litologija	0.972	0.333	0.942		0.054
{5} Nevezani sediment	*0.001	0.860	*0.015	0.054	

5.2.2.2. EDTA-pristupačan sadržaj

Sadržaj EDTA-pristupačnog arsena prikazan je u tabeli 53. Analiza varijanse pokazuje da postoje razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar (tabela 18). Najviši sadržaj arsena konstatovan je u deposolima borskih konglomerata, a najmanji u deposolima nevezanih sedimenata.

Tabela 54: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog arsena u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	As _X EDTA (ppm)	As _{X_{Bc(inv)}} EDTA (ppm)
Hornblenda andeziti	11.52 ± 12.12	4.30
Alterisani hornblenda andeziti	0.48 ± 0.86	0.21
Dvostruka litologija	10.05 ± 12.76	1.45
Borski konglomerati	11.95 ± 14.61	8.20
Nevezani sediment	0.62 ± 1.41	0.18

Rezultati post-hoc Dunett-ovog testa na nivou značajnosti od $p > 0.05$ (tabela 55) pokazuju jasno izdvajanje dve grupe deposola u odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnog arsena. U jednu grupu spadaju deposoli svežih hornblenda andezita, konglomerata i dvostrukih litologija, a u drugu deposoli alterisanih andezita i nevezanih sedimenta.

Tabela 55: Dunett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog arsena u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=2.4682$, broj stepeni slobode $d_f=62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0.000	0.851	0.337	*0.000
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0.000		*0.000	*0.018	0.996
{3} Borski konglomerati	0.851	*0.000		0.167	*0.000
{4} Dvostruka litologija	0.337	*0.018	0.167		*0.004
{5} Nevezani sediment	*0.000	0.996	*0.000	*0.004	

Sadržaj EDTA-pristupačnog hroma prikazan je u tabeli 56. Analiza varijanse pokazuje pojavu statistički značajnih razlika deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na njegov prosečni sadržaj na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18). Najviši sadržaj hroma konstatovan je u deposolima hornblenda andezita, a najmanji u deposolima borskih konglomerata.

Tabela 56: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog hroma u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Cr_x EDTA (ppm)	$Cr_{XBc(inv)}$ EDTA (ppm)
Hornblenda andeziti	0.82 ± 0.91	0.49
Alterisani hornblenda andeziti	0.48 ± 0.25	0.40
Dvostruka litologija	0.38 ± 0.16	0.34
Borski konglomerati	0.27 ± 0.24	0.21
Nevezani sediment	0.65 ± 0.61	0.48

Kako iz tabele 57 sledi, na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0,05$, zapažaju se međusobne razlike između grupa deposola. Tako se deposoli svežih i izmenjenih andezita, kao i deposola nevezanih sedimenata prema sadržaju EDTA-pristupačnog hroma statistički značajno razlikuju od deposola borskih konglomerata. Sa druge strane, deposoli dvostrukih litologija ne pokazuju značajne razlike po ovom parametru u odnosu na deposole ostalih litologija.

Tabela 57: Tukey-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog hroma u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=0,71$, broj stepeni slobode $d_f=62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		0.889	*0.002	0.466	1.000
{2} Alterisani hornblenda andeziti	0.889		*0.040	0.944	0.936
{3} Borski konglomerati	*0.002	*0.040		0.241	0.004
{4} Dvostruka litologija	0.466	0.944	0.241		0.555
{5} Nevezani sediment	1.000	0.936	*0.004	0.555	

Sadržaj EDTA-pristupačnog bakra po deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 58. Analiza varijanse pokazuje pojavu statistički značajnih razlika deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na njegov prosečni sadržaj na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18). Najveći konstatovani sadržaj pristupačnog bakra imaju deposoli borskih konglomerata, zatim hornblenda andezita, pa dvostrukih litologija. Niži sadržaj pristupačnog bakra pokazuju deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih hornblenda andezita.

Tabela 58: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog bakra u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Cu _x EDTA (ppm)	Cu _x Bc _(inv) EDTA (ppm)
Hornblenda andeziti	438 ± 253	384
Alterisani hornblenda andeziti	144 ± 140	102
Dvostruka litologija	431 ± 307	355
Borski konglomerati	473 ± 384	408
Nevezani sediment	191 ± 247	115

Na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 59) moguće je izdvojiti dve grupe koje se međusobno statistički značajno razlikuju u pogledu sadržaja EDTA-pristupačnog bakra. Jednu grupu čine deposoli formirani od svežih hornblenda andezita, od dvostrukih litologija i iz borskih konglomerata, a drugu deposoli koji su se formirali od alterisanih andezita i nevezanih sedimenata.

Tabela 59: Tukey-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog bakra u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=12,80$, broj stepeni slobode $d_f=62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,001	1,000	0,999	*0,001
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,001		*0,016	*0,025	0,998
{3} Borski konglomerati	1,000	*0,016		0,996	*0,018
{4} Dvostruka litologija	0,999	*0,025	0,996		*0,027
{5} Nevezani sediment	*0,001	0,998	*0,018	*0,027	

Sadržaj EDTA-pristupačnog olova u deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 60. Analiza varijanse pokazuje pojavu statistički značajnih razlika deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na njegov prosečni sadržaj na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18). Najveći prosečni sadržaj pristupačnog olova poseduju deposoli hornblenda andezita, dok se deposoli nevezanih sedimenata odlikuju najnižim utvrđenim sadržajem olova.

Tabela 60: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog olova u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Pb _x EDTA (ppm)	Pb _{X_{Bc}(inv)} EDTA (ppm)
Hornblenda andeziti	26,7 ± 15,3	23,5
Alterisani hornblenda andeziti	6,96 ± 6,60	4,98
Dvostruka litologija	23 ± 11,7	20,7
Borski konglomerati	43 ± 14,5	41,5
Nevezani sediment	8,24 ± 13,6	4,12

Na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0,05$ za sadržaj EDTA-pristupačnog olova (tabela 61), zapaža se izdvajanje dve zasebne grupe deposola. Prvu čine deposoli formirani od svežih hornblenda andezita, potom borskih konglomerata i najzad deposoli dvostrukih litologija, dok drugu grupu čine deposoli alterisanih andezita i nevezanih sedimenta.

Tabela 61: Tukey-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog olova u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=3.7407$, broj stepeni slobode $d_f=62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,000	0,285	0,992	*0,000
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,000		*0,000	*0,008	0,993
{3} Borski konglomerati	0,285	*0,000		0,247	v0,000
{4} Dvostruka litologija	0,992	*0,008	0,247		*0,001
{5} Nevezani sediment	*0,000	0,993	*0,000	*0,001	

Sadržaj EDTA-pristupačnog cinka u deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 62. Najveći prosečni sadržaj pristupačnog cinka poseduju deposoli hornblenda andezita i borskih konglomerata, dok se deposoli alterisanih

hornblenda andezita odlikuju najnižim utvrđenim pristupačnim sadržajem olova. Analiza varijanse pokazuje da postoji statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18).

Tabela 62: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog cinka u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	Zn _x EDTA (ppm)	Zn _x Be ^(inv) EDTA (ppm)
Hornblenda andeziti	34,5 ± 18,6	30,8
Alterisani hornblenda andeziti	12 ± 13,3	8,03
Dvostruka litologija	29,4 ± 12,6	27,5
Borski konglomerati	31,1 ± 25,8	26,6
Nevezani sediment	33,5 ± 44,8	15,2

Rezultati post-hoc Dunett-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 63) pokazuju izdvajanje pojedinih grupa deposola. Dok deposoli nevezanih sedimenta i borskih konglomerata ne pokazuju razlike u sadržaju EDTA-pristupačnog cinka u odnosu na ostale deposole ostalih litologija, deposoli hornblenda i alterisanih hornblenda andezita pokazuju međusobne razlike. Razlika je statistički značajna i u slučaju deposola alterisanih andezita i deposola dvostrukih litologija.

Tabela 63: Dunett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog cinka u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=4,02, broj stepeni slobode $d_f = 62$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,003	0,992	0,995	0,104
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,003		0,080	*0,042	0,414
{3} Borski konglomerati	0,992	0,080		1,000	0,577
{4} Dvostruka litologija	0,995	*0,042	1,000		0,444
{5} Nevezani sediment	0,104	0,414	0,577	0,444	

Sadržaj EDTA-pristupačnog sumpora u deposolima litoloških grupa borske otkrivke prikazan je u tabeli 64. Analiza varijanse pokazuje da postoji statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 18). Najveći prosečni sadržaj pristupačnog sumpora poseduju deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih hornblenda andezita, dok se deposoli hornblenda andezita odlikuju najnižim utvrđenim pristupačnim sadržajem sumpora.

Tabela 64: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja pristupačnog sumpora u deposolima litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	S_x EDTA (ppm)	$S_{XBc(inv)}$ EDTA (ppm)
Hornblenda andeziti	965 ± 1920	359
Alterisani hornblenda andeziti	3751 ± 4406	1032
Dvostruka litologija	1833 ± 3771	591
Borski konglomerati	563 ± 158	539
Nevezani sediment	4551 ± 4565	1909

Na osnovu rezultata post-hoc Tukey-ovog testa na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 65) zapaža se izdvajanje određenih grupa deposola. Sadržaj EDTA-pristupačnog sumpora u deposolima svežih andezita značajno se razlikuje od sadržaja u deposolima alterisanih andezita i nevezanih sedimenata. Deposoli alterisanih hornblenda andezita u pogledu sadržaja EDTA-pristupačnog sumpora statistički značajno se razlikuju u odnosu na hornblenda andezite. Deposoli dvostrukih litologija i konglomerata pokazuju razlike u odnosu na deposole nevezanih sedimenata, dok se deposoli nevezanih sedimenata u pogledu količine ovog elementa jasno izdvajaju od svih ostalih grupa deposola.

Tabela 65: Dunett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog sumpora u deposolima litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=0,01$, broj stepeni slobode $d_f=62$),

statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,012	0,692	0,449	*0,000
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,012		0,513	0,597	0,530
{3} Borski konglomerati	0,692	0,513		0,999	*0,050
{4} Dvostruka litologija	0,448	0,597	0,999		*0,052
{5} Nevezani sediment	*0,000	0,530	*0,050	*0,052	

5.2.3. Statističke analize

U okviru ispitivanih pseudo-ukupnih i EDTA-pristupačnih sadržaja analiziranih elemenata utvrđene su međusobne korelacije prikazane u tabeli 66.

Tabela 66: Korelacije pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog sadržaja ispitivanih elemenata u deposolima borske otkrivke (visoke statistički značajne korelacije obeležene su *)

	As	Cr	Cu	Pb	S	Zn	As _{EDTA}	Cr _{EDTA}	Cu _{EDTA}	Pb _{EDTA}	S _{EDTA}
Cr	0,19										
Cu	0,59	0,17									
Pb	0,53	0,09	*0,70								
S	0,00	0,52	-0,16	-0,16							
Zn	0,40	0,17	*0,87	*0,73	-0,04						
As _{EDTA}	0,25	-0,41	0,61	0,41	-0,63	0,47					
Cr _{EDTA}	0,37	-0,04	0,22	0,16	0,11	0,16	0,11				
Cu _{EDTA}	0,50	-0,05	*0,92	0,63	-0,30	*0,79	*0,73	0,30			
Pb _{EDTA}	0,37	-0,11	*0,86	*0,70	-0,39	*0,78	*0,78	0,09	*0,88		
S _{EDTA}	-0,27	0,34	-0,47	-0,41	*0,78	-0,34	-0,67	-0,12	-0,60	-0,61	
Zn _{EDTA}	0,44	-0,02	*0,80	0,63	-0,12	*0,84	0,52	0,25	*0,85	*0,77	-0,44

Sadržaji pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog bakra imaju visok koeficijent korelacije, ukupno olovo korelisano je sa sadržajem EDTA-pristupačnog olova, ukupan

cink sa sadržajem EDTA-pristupačnog cinka, a ukupan sumpor visoko je korelisan sa EDTA-pristupačnim sumporom. U pogledu međusobnih korelacija pseudo-ukupnog sadržaja ispitivanih elemenata, uočljiva je statistički značajna visoka vrednost korelacije bakra, olova i cinka. Visoke međusobne korelacije takođe se odnose i na EDTA-pristupačne frakcije ovih elemenata. Pored ovoga, EDTA-pristupačan sadržaj arsena u deposolu, iako sa određenim prisustvom vrednosti ispod granica detekcije, pokazuje povišen stepen korelacije sa EDTA-pristupačnim sadržajem bakra i olova.

Tabela 67: Pearson-ovi koeficijenti korelacije (r) između pseudo-ukupnog sadržaja ispitivanih elemenata i fizičko-hemijskih parametara deposola borske otkrivke (statistički značajne povišene vrednosti koeficijenta korelacije obeležene su *)

Varijable	As	Cr	Cu	Pb	S	Zn
Prah	0,21	0,10	0,36	0,05	-0,09	0,28
Glina	0,27	0,29	0,42	0,14	0,04	0,36
pH (H ₂ O)	0,28	-0,13	*0,74	*0,48	-0,42	*0,67
pH (KCl)	0,29	-0,10	*0,74	*0,46	-0,28	*0,69
H (Y1)	-0,33	0,04	*-0,73	*-0,40	0,29	*-0,63
Eh	-0,28	0,06	*-0,68	*-0,43	0,27	*-0,61
EC	-0,23	0,26	-0,49	-0,40	*0,76	-0,34
SB	0,33	-0,01	*0,71	*0,51	-0,20	*0,67
C	0,19	0,09	0,41	0,15	0,03	0,33
Ca	-0,31	0,25	-0,12	-0,21	*0,43	-0,10
K ₂ O	0,45	0,22	*0,71	*0,50	-0,12	*0,63
Mg	0,22	0,02	*0,61	0,45	-0,25	*0,56
N_Tot	0,38	-0,14	0,57	0,56	-0,32	0,53
P ₂ O ₅	0,06	-0,38	0,39	0,20	*-0,61	0,27

Sadržaj ispitivanih elemenata pokazuje visoke korelacije sa pojedinim analiziranim hemijskim osobinama deposola (tabela 67). Pseudo-ukupni bakar, olovo i cink pokazuju značajnu korelisanost sa aktivnom i potencijalnom kiselošću, kao i oksido-redukcionim potencijalom deposola, sumom ekstrahovanih baza i pristupačnim kalijumom. Pozitivna korelacija sa sadržajem pristupačnog magnezijuma utvrđena je za

sadržaj pseudo-ukupnog bakra i cinka. Sadržaj sumpora pokazuje povišen stepen korelacije sa električnom konduktivnošću deposola, dok nešto nižu pozitivnu korelisanost ima sa sadržajem izmenjivog kalcijuma, a negativnu sa sadržajem pristupačnog fosfora.

Tabela 68: Pearson-ovi koeficijenti korelacije (r) između EDTA-pristupačnog sadržaja ispitivanih elemenata i fizičko-hemijskih parametara deposola borske otkrivke (statistički značajne povišene vrednosti koeficijenta korelacije obeležene su *)

Varijable	As _{EDTA}	Cr _{EDTA}	Cu _{EDTA}	Pb _{EDTA}	S _{EDTA}	Zn _{EDTA}
Prah	0,28	0,21	0,30	0,24	-0,04	0,16
Glina	0,06	0,22	0,34	0,25	-0,13	0,27
pH (H ₂ O)	*0,72	-0,13	*0,75	*0,88	-0,57	*0,64
pH (KCl)	*0,64	-0,10	*0,74	*0,86	-0,45	*0,67
H	*-0,63	0,10	*-0,71	*-0,83	0,44	*-0,64
Eh	*-0,60	0,09	*-0,67	*-0,82	0,42	*-0,54
EC	*-0,72	0,04	-0,56	-0,64	*0,84	-0,36
SB	0,53	-0,22	*0,65	*0,76	-0,33	0,60
C	0,12	0,11	0,42	0,34	-0,09	0,33
Ca	-0,24	-0,56	-0,26	-0,11	*0,56	-0,19
K ₂ O	0,38	0,00	*0,66	*0,60	-0,36	*0,59
Mg	0,45	0,15	*0,64	0,58	-0,47	*0,58
N _{Tot}	0,50	0,03	0,59	0,67	-0,43	0,56
P ₂ O ₅	*0,73	-0,20	0,49	0,61	-0,53	0,35

Izmerene EDTA-pristupačne količine arsena, bakra, olova i cinka značajno su pozitivno korelisane sa aktivnom i potencijalnim kiselostima deposola, kao i negativno korelisane sa oksido-redukcionim potencijalom (tabela 68). U slučaju pristupačnog bakra i olova, postoji značajna pozitivna korelacija sa sumom ekstrahovanih baznih katjona, što se ogleda i u pozitivnim korelacijama ova dva oblika elemenata sa pristupačnim kalijumom i magnezijumom. Pristupačan kalijum u ovim deposolima pokazuje izvesnu pozitivnu korelaciju sa EDTA-pristupačnim oblikom olova. Pristupačne količine arsena negativno su korelisane sa električnom konduktivnošću

deposola, a pristupačne količine sumpora pozitivno. Značajne pozitivne korelacije pokazuju još i pristupačni fosfor i arsen, i pristupačni kalcijum i sumpor.

5.3. Geobotaničke analize

5.3.1. Flora istraživanog područja

Popis i uzorkovanje vaskularnih biljnih vrsta koje se spontano razvijaju na istraživanim staništima izvršeno je u okviru fitocenoloških istraživanja na ukupno 43 polja rudničke otkrivke u Boru. Floristički podaci analizirani su taksonomski, fitogeografski i ekološki. Pregled flore istraživanog područja sa oznakama familija, životnih formi, ekoloških indeksa i sintaksonomske pripadnosti prikazan je u tabeli 69.

Tabela 69: Pregled flore istraživanog područja sa oznakama familija, životnih formi, ekoloških indeksa i sintaksonomske pripadnosti (legenda: T - temperatura, V - vlažnost, A - azot, S - svetlost, K - kontinentalnost, S - salinitet, VP - vegetacijska pripadnost)

Familija	Vrsta	Životna forma	T	V	K	A	S	K	S	VP
Asteraceae	<i>Centaurea arenaria</i> M.B.	a Meg H scap	8	1	7	1	9	4	0	-
Asteraceae	<i>Crepis foetida</i> ssp. <i>rhoedifolia</i> M.Bieb.	a Mes-Meg Tscap/a H csap bienn	7	5	6	5	9	3	0	5.23
Asteraceae	<i>Hieracium pilosella</i> L.	a Mes H ros	-	-	-	-	-	-	-	-
Asteraceae	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	a Meg-Alt H scap	5	5	6	5	8	4	0	7.3
Betulaceae	<i>Betula pendula</i> Roth.	fo dec Mes P scap	4	5	4	4	7	3	0	-
Boraginaceae	<i>Echium vulgare</i> L.	a Mes-Alt H scap bienn/a H scap	7	3	6	4	9	3	0	7.311
Brassicaceae	<i>Alyssum murale</i> Waldst. & Kit.	a Mes-Meg Ch suffr caesp	-	-	-	-	-	-	-	-
Brassicaceae	<i>Erysimum diffusum</i> Ehrh.	a Mes-Meg H scap bienn	7	1	8	1	9	6	0	-
Caryophyllaceae	<i>Petrorhagia saxifraga</i> L.	a Mes H caesp	8	2	8	1	9	4	0	5.23

Caryophyllaceae	<i>Saponaria officinalis</i> L.	a Meg H scap	6	5	7	5	7	3	0	-
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium botrys</i> L.	a Mes-Meg T scap	9	4	6	6	8	2	0	7.71
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia cyparissias</i> L.	a Mes-Meg H scap	5	3	7	3	8	4	0	5.2
Fabaceae	<i>Dorycnium pentaphyllum</i> ssp. <i>germanicum</i> (Gremli) Gams	a Mes Ch suff caesp	6	3	8	2	8	4	0	-
Fabaceae	<i>Dorycnium pentaphyllum</i> ssp. <i>herbaceum</i> (Vill.) Rouy	a Mes Ch suff caesp	7	2	9	1	8	4	0	5.23
Fabaceae	<i>Lotus corniculatus</i> L.	a Mes H scap	5	4	7	2	7	3	1	5.21
Fabaceae	<i>Medicago</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fabaceae	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	a Meg-Alt H scap bienn	6	4	8	4	8	6	0	7.311
Lamiaceae	<i>Clinopodium vulgare</i> L.	a Mes-Meg H scap	6	5	7	3	6	3	0	-
Lamiaceae	<i>Salvia verticillata</i> L.	a Mes-Meg H scap	6	4	7	5	9	6	0	-
Onagraceae	<i>Epilobium dodonaei</i> Vill.	a-aut Mes-Alt H scap	6	4	8	1	9	5	0	4.2
Poaceae	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	a Meg-Alt H rept	5	7	6	5	8	5	1	5.15
Poaceae	<i>Bromus tectorum</i> L.	a Mes-Meg T scap	6	3	8	4	8	7	0	7.211
Poaceae	<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth.	a Meg-Alt H caesp	5	5	7	7	7	7	0	1.41
Poaceae	<i>Festuca valesiaca</i> Schlich.	a Meg H caesp	6	2	7	2	8	6	0	5.23
Polygonaceae	<i>Polygonum aviculare</i> L.	a-aut Mi-Meg T rept	5	4	6	5	9	3	2	7.611
Polygonaceae	<i>Rumex acetosella</i> L.	a Mes-Meg H scap	5	2	4	2	8	3	0	7.722
Rosaceae	<i>Rubus caesius</i> L.	fo dec NP rept	5	7	7	9	7	6	4	-
Rosaceae	<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	a Mi-Mes H ros	6	3	8	2	7	5	0	5.2
Salicaceae	<i>Populus nigra</i> L.	fo dec Mes P scap	7	7	7	7	5	6	0	1.122
Scrophulariaceae	<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.	a Mes-Meg H scap	7	2	8	2	8	6	0	5.2

5.3.1.1. Taksonomska analiza flore

Identifikacijom prikupljenog biljnog materijala na području rudničke otkrivke u Boru konstatovano je ukupno 30 taksona u rangu vrste ili podvrste iz 15 familija i 29 rodova. Jedna vrsta (*Medicago sp.*) determinisana je do nivoa roda. Iako je u pitanju srazmerno mali floristički uzorak (manje od 1% ukupne flore Srbije), odnos zastupljenosti najbrojnijih familija (*Fabaceae* = 5 taksona; *Asteraceae* = 4; *Poaceae* = 4 vrste) u relativnom je skladu sa njihovim dominantnim učešćem u flori Srbije (Stevanović et al. 1995) i Balkanskog poluostrva (Turill, 1929). Slično važi i za familije *Cariophyllaceae*, *Brassicaceae* i *Lamiaceae* (po dve vrste), koje su i na području Srbije visoko pozicionirane u pogledu diverziteta (4-6 mesto), kao i za familije *Rosaceae* i *Polygonaceae* koje na području Srbije ulaze u grupu dvadeset najbrojnijih, a na prostoru Borskih jalovišta su takođe prisutne sa po dve vrste. Sve ostale familije su prisutne samo sa po jednom vrstom, što važi i za sve konstatovane biljne rodove.

5.3.1.2. Fitogeografska analiza flore

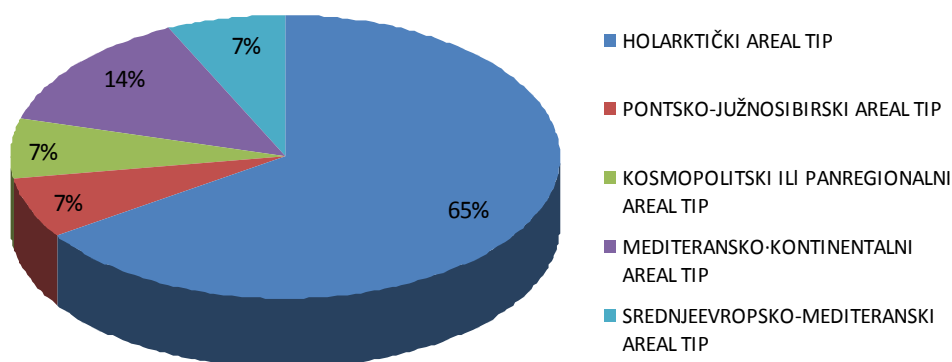
Horološki spektar flore koja se spontano razvija na odlagalištu rudničke otkrivke u Boru prikazan je na grafiku 1. Biljno-geografskom analizom utvrđeno je prisustvo 19 različitih flornih elemenata objedinjenih u 5 osnovnih areal tipova, odnosno 10 različitih areal grupa. Grupa od ukupno 19 vrsta holarktičkog areal tipa (65%) čiji areali zahvataju uglavnom široke oblasti severne Zemljine hemisfere najbrojnija je na ovom području. Na drugom mestu se nalazi areal tip mediteransko-kontinentalnih vrsta sa ukupno 4 predstavnika (14%) čiji se centri areala nalaze u mediteranskom regionu odakle se pružaju više ili manje duboko u kontinentalna područja Evrope i Azije. Ove vrste, zajedno sa po dva predstavnika srednjeevropsko-mediteranskog (7 %), kao i pontsko-južnosibirskog areal tipa (7%), imaju značaj u geografsko-ekološkoj karakterizaciji istraživanog područja. Kosmopolitske vrste su prisutne sa svega 2 predstavnika (7%), dok adventivne vrste u potpunosti odsustvuju na ovim staništima, Pripadnost vrsta odgovarajućim flornim elementima, areal-grupama i areal-tipovima prikazana je u tabeli 70.

Tabela 70: Pripadnost samoniklih vrsta konstatovanih na odlagalištu rudničke otkrivke u Boru flornim elementima, areal grupama i areal tipovima

Vrsta	Florni element	Areal grupa	Areal tip
<i>Centaurea arenaria</i> M.B.	pont	Pontsko-južnosibirska grupa	PONTSKO-JUŽNOSIBIRSKI AREAL TIP
<i>Crepis foetida ssp. rhoedifolia</i> M.Bieb.	evr (temp-merid)	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Hieracium pilosella</i> L.	evr (bor-submerid)	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	evr (temp-merid)	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Betula pendula</i> Roth.	evr (bor.temp)	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Echium vulgare</i> L.	se-med-subm-pont-j.sib	Srednjeevropsko- mediteransko-pontsko- južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Alyssum murale</i> Waldst. & Kit.	c.i.med-subm-pont	Meditransko-pontsko- južnosibirsko-orijentalno- turanska gru pa	MEDITERANSKO-KONTINENTALNI AREAL TIP
<i>Erysimum diffusum</i> Ehrh.	pont-j.sib-tur	Pontsko-južnosibirsko- orijentalno-turanska grupa	PONTSKO-JUŽNOSIBIRSKI AREAL TIP
<i>Petrorhagia saxifraga</i> L.	c.i.med-pan-z.pont	Meditransko-pontsko- južnosibirsko-orijentalno- turanska gru pa	MEDITERANSKO-KONTINENTALNI AREAL TIP
<i>Saponaria officinalis</i> L.	se-med-pont-j.sib	Srednjeevropsko- mediteransko-pontsko- južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Chenopodium botrys</i> L.	evr (temp-merid)	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.	atl-se-c.subm-pan-sarm	Srednjeevropsko- mediteranska	SREDNJEEVROPSKO-MEDITERANSKI AREAL TIP (grupa)

<i>Dorycnium pentaphyllum ssp. germanicum</i> (Gremli) Gams	se-balk-pan-sarm	Srednjeevropsko-mediteranska	SREDNJEEVROPSKO-MEDITERANSKI AREAL TIP (grupa)
<i>Dorycnium pentaphyllum ssp. herbaceum</i> (Vill.) Rouy	med (ap-balk)-c.subm-pan-pont	Mediteransko-pontsko-južnosibirska	MEDITERANSKO-KONTINENTALNI AREAL TIP
<i>Lotus corniculatus</i> L.	ev-med-pont-j.sib-or-i.afr	Srednjeevropsko-rmediteransko-pontsko-južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Medicago sp.</i>	-	-	-
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	ev-subm-pont-j.sib-or-tur	Srednjeevropsko-rmediteransko-pontsko-južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Clinopodium vulgare</i> L.	se-med-subm-pont	Srednjeevropsko-rmediteransko-pontsko-južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Salvia verticillata</i> L.	se-subm-pont-j.sib	Srednjeevropsko-rmediteransko-orijentalno-pontsko-južnosibirsko-turansko-centralnoazijska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Epilobium dodonaei</i> Vill.	s.j.ev-z.az-caucas	Srednjeevropsko-rmediteransko-orijentalno-pontsko-južnosibirsko-turansko-centralnoazijska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	kosm (evr)	Kosm-Paleoarktički	KOSMOPOLITSKI ILI PANREGIONALNI AREAL TIP (grupa)
<i>Bromus tectorum</i> L.	ev-med-subm-pont-j.sib-or-tur	Srednjeevropsko-rmediteransko-pontsko-južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth.	evr (subbor-merid)	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP

<i>Festuca valesiaca</i> Schlich.	subm-sarm- pont-j.sib- tur	Meditersko-pontsko- južnosibirsko-orijentalno- turanska grupa	MEDITERANSKO-KONTINENTALNI AREAL TIP
<i>Polygonum aviculare</i> L.	kosm (trop)	Kosm-Tropski	KOSMOPOLITSKI ILI PANREGIONALNI AREAL TIP (grupa)
<i>Rumex acetosella</i> L.	evr-sam (bor-merid)	Cirkumholarktička grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Rubus caesius</i> L.	evr (temp- submerid)	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	evr (temp- merid) disj.	Evroazijska grupa (evr)	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Populus nigra</i> L.	se-med- subm-pont- j.c.sib	Srednjeevropsko- mediteransko-pontsko- južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP
<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.	med-subm- pan-pont- j.sib	Srednjeevropsko- mediteransko-pontsko- južnosibirska grupa	HOLARKTIČKI AREAL TIP



Slika 90: Horološki spektar flore odlagališta rudničke otkrivke u Boru

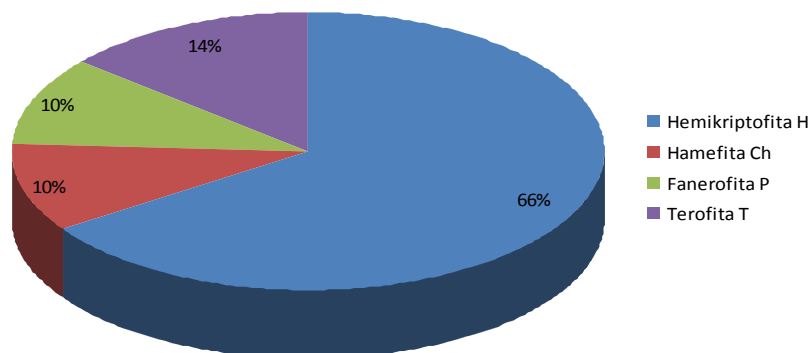
5.3.1.3. Ekološka analiza flore

U ovom poglavlju prikazana je analiza spektra životnih formi samoniklih biljaka borskog odlagališta, njihove sintaksonomske preference kao i analiza bioindikatorskih vrednosti (ekoloških indeksa) konstatovanih vrsta i podvrsta za određene sredinske faktore.

5.3.1.3.1. Spektar životnih formi biljaka

Koncept životnih formi datira iz prve polovine 20. veka, a svoju primenu nalazi u oblasti indikacione fitoekologije (Kojić i sar., 1997). Biološki spektar predstavlja procentualno učešće određenih životnih formi u ukupnoj flori nekog područja ili konkretnog staništa. Svaka životna forma obuhvata grupu biljaka sa sličnim morfološkim, anatomskim i fiziološkim osobinama kojima su biljke adaptirane na uslove spoljašnje sredine, a koje su se razvile kao odgovor na uticaje različitih ekoloških faktora tokom evolucije svake pojedinačne vrste.

Životne forme biljaka koje se spontano razvijaju na istraživanim staništima rudničke otkrivke u Boru određene su za 29 taksona koji su determinisani do nivoa vrste (tabela 68), a njihov spektar prikazan je na slici 91. Dominacija životne forme hemikriptofita ($H=19$ taksona) u biološkom spektru rudničke otkrivke u skladu je sa zastupljenošću ove forme u biološkom spektru ukupne flore Srbije (Diklić, 1984) i Balkanskog poluostrva (Turill, 1929), kao i čitavog pojasa umerene klime. Druga po zastupljenosti je grupa terofita ($T=4$ taksona), od kojih podvrsta *Crepis foetida ssp. rhoeadifolia* alternira kao hemikriptofita. Životne forme fanerofita (P) i hamefita (Ch) zastupljene su u biološkom spektru područja sa po 3 vrste. Životne forme geofita (G), kao i skandentofita ($S =$ puzavice, lijane), nisu konstatovane među samoniklim biljkama rudničkog odlagališta u Boru. Prisustvo, zastupljenost i odnos osnovnih životnih formi biljaka po istraživanim grupama litološke podloge pokazuje izvesnu neujednačenost koja je direktno ili indirektno uslovljena prirodom matičnog supstrata odnosno njegovim fizičko - hemijskim karakteristikama.



Slika 91: Prikaz procentualne zastupljenosti životnih formi u flori odlagališta rudnika bakra u Boru

5.3.1.3.2. Vegetacijska (sintaksonomska) pripadnost biljaka

Flora istraživanog područja je analizirana prema sintaksonomskoj pripadnosti (preferenci) pojedinih vrsta određenim tipovima vegetacije, što je prikazano u tabeli 71. Ukupno 19 od 30 konstatovanih taksona poseduje izraženu vegetacijsku preferencu. Na osnovu prikazanih podataka u tabeli 71 proizilazi da najveći broj takvih biljaka naseljava sekundarne oblike livadsko-pašnjačke vegetacije, dok su druge po zastupljenosti vrste koje se javljaju na tercijarnim oblicima korovsko-ruderalne vegetacije.

Tabela 71: Sintaksonomska pripadnost flore odlagališta rudnika bakra u Boru

Sintaksonomska jedinica	Broj utvrđenih taksona
LIVADSKA I PAŠNJAČKA VEGETACIJA	
Klasa FESTUCO-BROMETEA Br. - Bl. et R. Tx. 1943 -Kserofilne i polukserofilne livadske, livadsko- stepske i stepske biljne zajednice	8
Klasa MOLINIO - ARRHENATHERETEA R. Tx. 1937 -Higro - mezofilne livadske zajednice	1

KOROVSKA I RUDERALNA VEGETACIJA	
Klasa ARTEMISIETEA VULGARIS Lohm., Prsg. et Tx. 1950 -Ruderalna vegetacija trajnih, ekstremno nitrofilnih zajednica	3
Klasa STELLARIETEA MEDIAE R. Tx., Lohm. et Prsg. 1950 -Antropogene segetalne korovske zajednice okopavanih useva, voćnjaka i vinograda	2
Klasa CHENOPODIETEA Br. - Bl. 1951 em. Lohm., J. et R. Tx. 1961 -Nitrofilne ruderalne zajednice zapuštenih terena ili njivskih okopavina sa slabijom primenom agrotehničkih mera	1
Klasa PLANTAGINETEA MAJORIS R. Tx. Et Prsg. 1950 -Ruderalna vegetacija intenzivno gaženih terena-	1
VISOKOPLANINSKA ZELJASTA VEGETACIJA	
Klasa THLASPIETEA ROTUNDIFOLII Br.-Bl. et al. 1947 -Vegetacija suvih stena i sipara	1
LISTOPADNE ŠUME, ŠIKARE I ŠIBLJACI	
Klasa QUERCO - FAGETEA Br. - Bl. et Vlieg. 1937 -Listopadne šume i šibljaci na bogatijem neutralnom, baznom ili slabo kiselom zemljištu	1
Klasa SALICETEA PURPUREAE Moor:1958 -Higrofilne vrbove šume i šibljaci	1

5.3.1.3.2. Analiza bioindikatorskih vrednosti

Ekološki indeksi ili bioindikatorske vrednosti predstavljaju ekološki optimum vrsta u odnosu na gradijent sredinskih faktora. Ovi indeksi koriste se za karakterizaciju odnosa biljaka prema uslovima staništa, i kao takvi podeljeni su na grupe u odnosu na faktor sredine koji se razmatra. Ovom prilikom korišćeni su indeksi definisani u odnosu na sledeće sredinske faktore: temperatura, vlažnost, kiselost, količina azota, svetlost, kontinentalnost i salinitet. Na osnovu zastupljenosti pojedinih ekoloških grupa i njihovih indikatorskih vrednosti za faktore sredine moguće je oceniti ekološke uslove ispitivanih staništa. Indikatorske vrednosti biljaka za navedene sredinske faktore (određene za 27 od 30 ukupno konstatovanih vrsta) prikazane su u tabelama 72 - 78.

Tabela 72: Bioindikatorske vrednosti samoniklih biljaka odlagališta rudnika bakra u Boru za temperaturu

Temperatura	bioindikatorska vrednost	broj taksona	% od ukupnog broja
Planinski pojas četinarskih šuma tipa tajga	4	1	3,33
Planinski pojas mezofilnih širokolisnih šuma	5	8	26,67
Subplaninski pojas širokolisnih šuma	6	9	30
Termofilni šumski pojas	7	6	20
Submediteranske šume, šikare i livade	8	2	6,67
Eumediteranski pojas večno zelenih šuma	9	1	3,33

Tabela 73: Bioindikatorske vrednosti samoniklih biljaka odlagališta rudnika bakra u Boru za vlažnost

Vlažnost	bioindikatorska vrednost	broj taksona	% od ukupnog broja
Biljke ekstremno suvih staništa ili golih stena	1	2	6,67
Ksero-indikatori na staništima sa dugim sušnim periodima	2	5	16,7
Ksero-tolerantne biljke, ponekad prisutne i na svežim zemljištima	3	5	16,7
Biljke polusušnih staništa	4	6	20
Biljke poluvlažnih staništa, u uslovima srednje vlažnosti	5	6	20
Biljke vlažnih zemljišta, koja se ne isušuju i dobro su aerisana	7	3	10

Tabela 74: Bioindikatorske vrednosti samoniklih biljaka odlagališta rudnika bakra u Boru za kiselost

Kiselost	bioindikator ska vrednost	broj taksona	% od ukupnog broja
Umereno acidofilne biljke	4	2	6,67
Biljke neutralnih zemljišta, tolerantne ili indiferentne	6	6	20
Biljke bazičnijih zemljišta	7	10	33,3
Bazifilne biljke	8	8	26,7
Kalcifilne i ultrabazifilne biljke	9	1	3,33

Tabela 75: Bioindikatorske vrednosti samoniklih biljaka odlagališta rudnika bakra u Boru za azot

Azot	bioindikatorska vrednost	broj taksona	% od ukupnog broja
Biljke ekstremno oligotrofnih staništa	1	5	16,7
Biljke oligotrofnih staništa	2	6	20
Biljke umereno oligotrofnih staništa	3	2	6,67
Biljke submezotrofnih staništa	4	4	13,3
Biljke mezotrofnih staništa	5	6	20
Biljke umereno eutrofnih staništa	6	1	3,33
Biljke eutrofnih staništa	7	2	6,67
Biljke ekstremno eutrofnih staništa	9	1	3,33

Tabela 76: Bioindikatorske vrednosti samoniklih biljaka odlagališta rudnika bakra u Boru za svetlost

Svetlost	bioindikatorska vrednost	broj taksona	% od ukupnog broja
Biljke polusenke (polusciofite) - ne mogu opstati u uslovima ispod 10% relativne dnevne svetlosti	5	1	3,33
Biljke polusenke do polusvetlosti (polusciofite do poluheliofite) - fotosintetički minimum između 10 i 40% relativne dnevne svetlosti	6	1	3,33
Biljke polusvetlosti (poluheliofite) - uglavnom na otvorenim staništima, ali mogu biti tolerantne na senku	7	6	20
Biljke svetlosti (heliofite) - fotosintetički minimum iznad 40% relativne dnevne svetlosti	8	11	36,7
Biljke svetlosti na otvorenim staništima (izrazite heliofite) - fotosintetički minimum iznad 50% relativne dnevne svetlosti	9	8	26,7

Tabela 77: Bioindikatorske vrednosti samoniklih biljaka odlagališta rudnika bakra u Boru za kontinentalnost

Kontinentalnost	bioindikatorska vrednost	broj taksona	% od ukupnog broja
Okeanske vrste, rasprostranjene uglavnom u Zapadnoj Evropi i zapadnom delu Centralne Evrope	2	1	3,33
Okeansko-subokeanske vrste - područje čitave Centralne Evrope	3	8	26,7

Subokeanske vrste, pretežno prisutne u području Centralne Evrope, ali dosežu i do Istočne	4	6	20
Intermedijarni subokeansko-subkontinentalni tip	5	3	10
Subkontinentalni tip, vrste rasprostranjene u istočnom delu Centralne Evrope	6	7	23,3
Kontinentalno-subkontinentalne vrste, uglavnom prisutne u području Istočne Evrope	7	2	6,67

Tabela 78: Bioindikatorske vrednosti samoniklih biljaka odlagališta rudnika bakra u Boru za salinitet

Salinitet	bioindikatorska vrednost	broj taksona	% od ukupnog broja
Halofobne vrste, koje se ne razvijaju na zaslanjenim zemljištima	0	23	76,7
Biljke tolerantne na zaslanjenost, koje pretežno naseljavaju nezaslanjena zemljišta	1	2	6,67
Oligosaline biljke, koje naseljavaju blago zaslanjena zemljišta	2	1	3,33
Alfa/beta mezosaline biljke koje naseljavaju umereno zaslanjena zemljišta	4	1	3,33

Ekološke uslove pojedinačnih cenoza moguće je proceniti na osnovu izvedenih veličina proisteklih iz indikatorskih vrednosti biljaka koje ih grade. Srednje indikatorske vrednosti za temperaturu, vlažnost, kiselost, količinu azota, svetlost, kontinentalnost i salininitet izračunate su preko ekoloških indeksa svih prisutnih vrsta za koje je postojao podatak o vrednosti ekološkog indeksa, u svakom pojedinačnom fitocenološkom snimku. Dobijene srednje vrednosti su objedinjene u odnosu na čitavo područje i na izdvojene grupe litoloških podloga na kojima su snimci načinjeni (tabela 79).

Tabela 79: Prosečne vrednosti i rezultati analize varijanse indikatorskih vrednosti (Borhidi, 1995) izmedju litoloških grupa stena na odlagalištu rudnika bakra u Boru (HA - hornblenda andeziti, DL - dvostruka litologija, BK – borski konglomerati, AA - alterisani hornblenda andeziti, NS - nevezani sedimenti)

Prosečne indikatorske vrednosti	Ukupno	HA	DL	BK	AA	NS	F	p
Temperatura	5,73	6,15	6,20	6,26	5,30	5,32	7,83	*0,000
Vlažnost	4,50	4,00	3,77	3,15	5,19	5,12	5,01	*0,002
Kiselost	6,78	7,38	7,45	6,53	6,21	6,40	5,83	*0,001
Azot	3,56	2,79	2,47	3,10	4,51	4,43	4,54	*0,004
Svetlost	8,07	8,35	8,31	8,15	7,84	7,83	3,55	*0,015
Kontinentalnost	5,09	4,98	5,08	4,81	5,07	5,28	0,25	0,909
Salinitet	0,32	0,13	0,14	0,53	0,42	0,46	3,01	*0,030

Tabela 80: Fitocenološka tabela sa vegetacijskim snimcima samoniklih delova na odlagalištu otkrivke u Boru (HA - hornblenda andeziti, DL - dvostruka litologija, BK – borski konglomerati, AA - alterisani hornblenda andeziti, NS - nevezani sedimenti, Uc - stepen učestalosti, % - procenat učestalosti, Fr - frekventnost, Ic - Laussi-jev indeks pokrovnosti, D% - udeo u ukupnoj pokrovnosti)

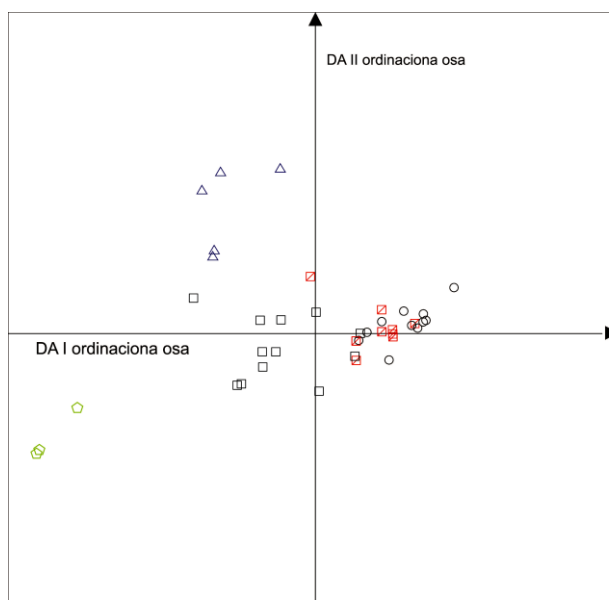
Broj snimka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	Uc	%	Fr	Ic	D%			
Površina snimka (m ²)	100	100	100	100	100	9	64	100	100	49	16	9	4	16	25	16	2	100	100	16	36	100	49	6.3	36	6.3	4	2.3	100	16	16	100	20	25	36	9	9	100	100	20	25	100	25								
Pokrovnost ukupna (%)	40	50	80	45	85	40	50	40	30	30	50	35	75	25	30	20	70	20	75	10	25	25	40	30	20	25	15	30	25	20	70	30	55	45	35	40	40	70	65	40	35	30	60								
Broj vrsta ukupno	3	3	5	10	7	1	2	4	5	1	3	3	1	2	2	9	1	1	2	2	7	5	3	5	1	1	1	1	3	2	4	5	4	4	13	6	4	2	6	2	2	6	7								
Ekspozicija	S	SE	NE	SW		NW		S														SW	NW				E	N			NE	E		SW		N							S								
Nagib	30	30	25	30	5	20	5	5	5	15	5	5	0	15	MK	MK	0	5	5	5	0	35	35	0	0	10	20	5	0	5	5	2	5	20	5	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5						
Geološka podloga	HA	DL	HA	BK	BK	AA	AA	HA	HA	AA	DL	HA	NS	HA	HA	DL	NS	HA	NS	HA	NS	AA	AA	AA	HA	AA	AA	AA	NS	AA	NS	NS	HA	SA	BK	DL	DL	NS	NS	NS	NS	NS	HA								
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	2		7	1	5		7		3	7	2	1		3		3	8		5			1	5	5	5	5				3	2	3	3	3		2	3	8	7	5	5	3	5	5	IV	72.1	31	32.8	23.3		
<i>Epilobium dodonaei</i> Vill.	7	7	5	7	5		3	5	5		5	7		5	5	3		5				3	5	7	2	5								2	2	7	2				3				IV	65.1	28	31.8	22.6		
<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth.			3	1		7							8			5			7		5	3		2				7			7	3	7	5		3				7			2	II	39.5	17	21.2	15.0			
<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.	3	2	2	2	2		2	3			5			3	2							3	2									2	2	2										II	34.9	15	9.6	6.8			
<i>Sanguisorba minor</i> Scop.			2	3	1		3																													5	5	3		1							I	18.6	8	5.9	4.2
<i>Centaurea arenaria</i> M.B.				5	1																														3	1			3				2	5	I	16.3	7	5.2	3.7		
<i>Rumex acetosella</i> L.																												5		3	3	5	5	3													I	14.0	6	6.2	4.4
<i>Chenopodium botrys</i> L.		3		1					3											5	2	2		2																						I	18.6	8	4.9	3.5	
<i>Dorycnium pentaphyllum</i> ssp. <i>herbaceum</i> (Vill.) Rouy				1																																	7						3		I	7.0	3	2.8	2.0		
<i>Festuca valesiaca</i> Schlich.																3																			5								2	I	7.0	3	2.6	1.8			
<i>Erysimum diffusum</i> Ehrh.							2			2						1																				2		2								I	11.6	5	2.3	1.7	
<i>Petrorhagia saxifraga</i> L.																2																				2								2	I	7.0	3	1.6	1.1		
<i>Echium vulgare</i> L.				2	2																															2										I	7.0	3	1.6	1.1	
<i>Bromus tectorum</i> L.								1										3																												I	4.7	2	1.0	0.7	
<i>Lotus corniculatus</i> L.																																							2							I	4.7	2	1.0	0.7	
<i>Saponaria officinalis</i> L.																								1												2										I	4.7	2	0.8	0.6	
<i>Mellilotus officinalis</i> (L.) Pall.																																				2										I	2.3	1	0.5	0.4	
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.																																				2										I	2.3	1	0.5	0.4	
<i>Polygonum aviculare</i> L.																						1																							I	2.3	1	0.3	0.2		
<i>Salvia verticillata</i> L.																																													1	I	2.3	1	0.3	0.2	
<i>Rubus caesius</i> L.					5																															3				2					I	7.0	3	2.6	1.8		
<i>Crepis foetida</i> ssp. <i>rhoedifolia</i> M.Bieb.																						1																							2	I	4.7	2	0.8	0.6	
<i>Medicago</i> sp.																3																														I	2.3	1	0.8	0.6	
<i>Clinopodium vulgare</i> L.																																				2										I	2.3	1	0.5	0.4	
<i>Populus nigra</i> L.																								2																						I	2.3	1	0.5	0.4	
<i>Tanacetum vulgare</i> L.																																													2	I	2.3	1	0.5	0.4	
<i>Betula pendula</i> Roth.																																														2	I	2.3	1	0.5	0.4
<i>Alyssum murale</i> Waldst. & Kit.				1																																										I	2.3	1	0.3	0.2	
<i>Hieracium pilosella</i> L.																1																														I	2.3	1	0.3	0.2	
<i>Dorycnium pentaphyllum</i> ssp. <i>germanicum</i> (Gremli) Gams																																				2				3					I	4.7	2	1.3	0.9		

5.3.2. Vegetacija istraživanog područja

Fitocenološka istraživanja biljnog pokrivača obavljena su na ukupno 43 selektivno odabrane površine rudničke otkrivke u Boru. Veličina istraživanih površina kretala se u rasponu od 4 do 100 m², u zavisnosti od uslova na terenu, a pre svega od prisustva i distribucije odgovarajućih tipova litološke podloge, kao i pokrovnosti odnosno stepena cenotičke homogenosti spontano razvijenog biljnog pokrivača. Prikupljeni vegetacijski podaci su podvrgnuti detaljnoj statističkoj obradi i analizi. Vegetacijski snimci su objedinjeni i prikazani u fitocenološkoj tabeli 80.

5.3.3. Izdvajanje cenotičkih stadijuma

Korespondentna (CA), kao i diskriminantna (DA) analiza ukazuju, generalno, na relativno visok stepen vegetacijske homogenosti istraživanih litoloških grupa podloge. Ipak, primetno je izvesno razdvajanje jedne grupe vegetacijskih snimaka koja obuhvata hornblenda andezite, dvostruku litologiju i borske konglomerate od druge grupe koja obuhvata nevezane sedimente i alterisane hornblenda andezite, s druge strane (slika 92).



Legenda:

- Vegetacijski snimci na deposolima hornblenda andezita
- ◻ Vegetacijski snimci na deposolima alterisanih hornblenda andezita
- △ Vegetacijski snimci na deposolima dvostrukih litologija
- ◓ Vegetacijski snimci na deposolima borskih konglomerata
- Vegetacijski snimci na deposolima nevezanih sedimenata

Slika 92: Ordinacioni dijagram diskriminantne analize vegetacijskih snimaka na deposolima različitih litoloških grupa odlagališta otkrivke u Boru

Uključivanjem metodologije za određivanje dominantnih vrsta (Laussi et al. 1982) odnosno onih koje imaju najveći indeks pojedinačne i ukupne pokrovnosti (Ic), kao i primenom koncepta za definisanje dijagnostički značajnih vrsta (Chytry et al., 2002), moguće je izdvojiti četiri inicijalna - razvojna vegetacijska stadijuma koji se uslovno mogu označiti na sledeći način:

1. *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia* - razvojni stadijum na deposolima hornblenda andezita

Dominantne vrste: *Epilobium dodonaei*⁽²⁻⁷⁾ (Ic = 42.59), *Agrostis stolonifera*⁽¹⁻⁷⁾ (Ic = 22.22), *Linaria genistifolia*⁽²⁻⁵⁾ (Ic = 20.37), *Calamagrostis epigejos*⁽²⁻⁷⁾ (Ic = 15.74).

Dijagnostičke vrste: *Linaria genistifolia* ($\phi = 0.41$), *Bromus tectorum* ($\phi = 0.35$), *Tanacetum vulgare* ($\phi = 0.25$).

Ostale vrste: *Sanguisorba minor*, *Centaurea arenaria*, *Rumex acetosella*, *Chenopodium botrys*, *Festuca valesiaca*, *Erysimum diffusum*, *Petrorhagia saxifraga*, *Crepis foetida* ssp. *rhoedifolia*

2. *Epilobium dodonaei* - *Sanguisorba minor* - razvojni stadijum na deposolima dvostrukih litologija

Dominantne vrste: *Epilobium dodonaei*⁽²⁻⁷⁾ (Ic = 53.33), *Agrostis stolonifera*⁽²⁻³⁾ (Ic = 22.22), *Sanguisorba minor*⁽³⁻⁵⁾ (Ic = 17.78), *Calamagrostis epigeios*⁽³⁻⁵⁾ (Ic = 17.78), *Dorycnium pentaphyllum* ssp. *herbaceum*⁽⁰⁻⁷⁾ (Ic = 15.56).

Dijagnostičke vrste: *Erysimum diffusum* ($\varphi = 0.55$), *Medicago sp.* ($\varphi = 0.43$), *Hieracium pilosella* ($\varphi = 0.43$), *Epilobium dodonaei* ($\varphi = 0.27$), *Sanguisorba minor* ($\varphi = 0.20$).

Ostale vrste: *Linaria genistifolia*, *Centaurea arenaria*, *Chenopodium botrys*, *Festuca valesiaca*, *Petrorhagia saxifraga*.

3. *Epilobium dodonaei* - *Centaurea arenaria* - razvojni stadijum na deposolima borskih konglomerata

Dominantne vrste: *Epilobium dodonaei* ⁽²⁻⁷⁾ (Ic = 51.85), *Centaurea arenaria* ¹⁻⁵ (Ic = 33.33), *Sanguisorba minor* ⁽¹⁻⁵⁾ (Ic = 33.33), *Rubus caesius* ³⁻⁵ (Ic = 29.63), *Echium vulgare* ² (Ic = 22.22), *Agrostis stolonifera* ⁽¹⁻⁵⁾ (Ic = 22.22), *Festuca valesiaca* ⁵ (Ic = 18.52).

Dijagnostičke vrste: *Echium vulgare* ($\varphi = 1.00$), *Rubus caesius* ($\varphi = 0.64$), *Centaurea arenaria* ($\varphi = 0.62$), *Sanguisorba minor* ($\varphi = 0.57$), *Clinopodium vulgare* ($\varphi = 0.56$), *Euphorbia cyparissias* ($\varphi = 0.56$), *Melilotus officinalis* ($\varphi = 0.56$), *Allysum murale* ($\varphi = 0.56$).

Ostale vrste: *Linaria genistifolia*, *Dorycnium pentaphyllum ssp. germanicum*, *Saponaria officinalis*, *Erysimum diffusum*, *Chenopodium botrys*, *Petrorhagia saxifraga*, *Dorycnium pentaphyllum ssp. herbaceum*, *Calamagrostis epigejos*.

4. *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* - razvojni stadijum na deposolima alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata

Dominantne vrste: *Agrostis stolonifera* ⁽¹⁻⁸⁾ (Ic = 42.03), *Calamagrostis epigejos* ²⁻⁸ (Ic = 27.05), *Epilobium dodonaei* ⁽²⁻⁷⁾ (Ic = 18.84).¹

¹ * iako vrsta pokazuje $\varphi = 0.21$, što je kandiduje za dijagnostičku, zbog prisustva u svega dva fitocenološka snimka i to samo na deposolima nevezanih sedimenata, ovdje je navedena u kategoriji 'ostale vrste'

Dijagnostičke vrste: *Rumex acetosella* ($\phi = 0.24$),

Ostale vrste: *Lotus corniculatus**, *Centaurea arenaria*, *Linaria genistifolia*, *Dorycnium pentaphyllum ssp. germanicum*, *D. pentaphyllum ssp. herbaceum*, *Betula alba*, *Rubus caesius*, *Chenopodium botrys*, *Sanguisorba minor*, *Crepis foetida ssp. rhoedifolia*, *Salvia verticillata*, *Polygonum aviculare*, *Populus nigra*, *Saponaria officinalis*.

Vegetacijski stadijumi koji se razvijaju na hornblenda andezitima, dvostrukoj litologiji i borskim konglomeratima odlikuju se značajnijim prisustvom zajedničke dominantne vrste *Epilobium dodonaei* ali i većom heterogenošću u smislu prisustva ili kvantitativnog učešća ostalih vrsta u fitocenološkim snimcima, dok je razvojni stadijum na izmenjenim andezitima i nevezanim sedimentima floristički i ekološki dosta homogeniji i odlikuje se visokom pokrovnošću vrsta *Agrostis stolonifera* i *Calamagrostis epigejos*.

5.4. Biogeoheмиjske analize

Na izdvojenim poljima za detaljne biogeoheмиjske analize odabrano je i uzorkovano ukupno 10 vrsta iz 7 familija. Opisi njihovih opštih karakteristika, generalnih stanišnih preferenci, staništa koje naseljavaju u Republici Srbiji, horološke rejonizacije i pregleda karakteristika od značaja za fitoremedijaciju dati su u tekstu koji sledi.

5.4.1. Opšte karakteristike uzorkovanih vrsta

5.4.1.1. *Agrostis stolonifera* L.

(syn. *Agrostis alba* subsp. *stolonifera* (L.) V. Jirásek)

Višegodišnja hemikriptofita iz familije trava (*Poaceae*), visine 20-150 cm (slika 93,94). Rizom kratko puzeći, sa dugim nadzemnim i podzemnim stolonama. Stablo uspravno ili pri osnovi kolenasto, ustajuće. Listovi uglavnom kruti, sivkasti, ravni, 2-5

mm široki, hrapavi. Cvast metličasta, široko raširena u fazi cvetanja, dok je pre i posle toga skupljena, piramidalnog oblika, 2,5 – 30 cm duga. Klasići dugi 2-3 mm, blede zeleni, crveni ili ljubičasti, lancetasti. Vrsta cveta od jula do avgusta (Cincović i Kojić, 1976). Razmnožava se vegetativno (stolonama) i generativno, a rasejava se uglavnom anemohornim putem.

Vrsta naseljava različita staništa: šume, progale, pašnjake i livade, ritove, obale tekućih i stajaćih voda, plavljenja područja. Najčešće je rasprostranjena u vlažnim ili mezofilnim staništima od nizija do sub-alpskog regiona. Naseljava područja slatina, a od prirode se javlja i na degradiranim staništima (Esser, 1994). Vrsta je konstatovana kao samonikla na području Siersza ugljenokopa (Woch et al., 2013), kao i na području zaslanjenih tehnogenih zemljišta u rejonu fabrike sode u Inowrocław-u (Hulisz & Piernik, 2013) u Poljskoj. Vrsta dominira zajednicama na području rudničkog mesta Staré Hory u Slovačkoj, na podlozi sa visokim sadržajem bakra (Banasova et al., 2006). Kao samonikla se javlja u industrijskoj oblasti Esteiro de Estarreja u Portugalu, kontaminiranoj cinkom (Moreira et al., 2011).



Slika 93: Populacija *A. stolonifera* na alterisanom hornblenda andezitu borskog odlagališta



Slika 94: Metličaste cvasti *A. stolonifera* na borskom odlagalištu

Pripada kosmopolitskom odnosno pan-regionalnom areal tipu. Od prirode raste na području Evroazije i Severne Afrike, dok je u Americu uneta sredinom 18. veka (Welsh, 1987). Vrsta je zastupljena u higro - mezofilnim livadskim zajednicama klase *Molinio - Arrhenatheretea* R. Tx. 1937, odnosno.

U Srbiji ova vrsta ima široko rasprostranjenje u vlažnim zajednicama duž obodnih delova vodenih basena, zajednicama duž periodično plavljenih obala, ali i halofilnim grupacijama na obalama zaslanjenih voda kao i kopnenim slanim ritovima. Gradi zajednice nizijskih livada u stepskoj zoni kao i submediteranskih vlažnih livada, a pored toga nalazi se u spatu zeljastih biljaka higrofilnih vrbovih, jovinih, lužnjakovih i drugih šuma duž vodotokova (Lakušić i sar., 2005). Vrsta obrasta degradirane zajednice na nanosima flotacijske jalovine rudnika bakra duž reke Timok u rejonu Negotina, na kojima pokazuje očuvanu vitalnost (Marković i sar., 2008).

A. stolonifera je varijabilna vrsta koja je razvila edafske ekotipove tolerantne na različite teške metale (Wu & Antonovics, 1975) i na zaslanjenost zemljišta (Wu, 1981; Hodson et al., 1982). Kod roda *Agrostis* mehanizam tolerancije na teške metale uključuje njihovo vezivanje za ćelijski zid, sprečavajući time povećanje koncentracije metala u ćeliji i oštećenja osetljivih ćelijskih komponenti (Wu et al., 1975). Ovaj mehanizam genetički je određen (Wu & Antonovics, 1978), a naročito se odnosi na elemente poput bakra, olova i cinka (Banasova et al., 1978).

Istraživanja Wu et al. (1975) pokazala su da na područjima zagađenim bakrom postoji povećana tolerancija individua vrste *A. stolonifera*, kao i uvećanje frekvencije tolerantnih individua sa starenjem populacije. Selekcija se događa kako u juvenilnom tako i u adultnom stadijumu, a razvoj tolerancije dešava se efektivno i u toku jedne generacije. Istraživanja Hogana i et al. (1977) potvrdila su da klonovi *A. stolonifera* pokazuju toleranciju na povišene količine bakra na području nekadašnje topionice u Sudbury-ju, Kanada. Elekes et al. (2010) utvrdili su da faktor biokonverzije za Co, Ni i Mo kod vrste *A. stolonifera* pokazuje visok nivo korelacije u odnosu na sadržaj ovih elemenata u zemljištu. Vrsta je zabeležena kao hiperakumulator na topioničkom području jugozapada Engleske, gde je akumulirala količinu arsena od 1% svoje težine u suvom stanju (Benson et al., 1981).

Hansen et al. (1990) navode visok potencijal ove vrste u kontroli erozije i revegetaciji degradiranih staništa. Pojedini kultivari ovog roda tolerantni na teške

metale dostupni su komercijalno kao materijal za biološku rekultivaciju. Vrsta *A. stolonifera* je široko korišćena u rekultivaciji ugljenokopa u Zapadnoj Virdžiniji, Amerika (Whitmore & Hall, 1978), kao i na području nekadašnjeg rudnika nikla u Sudbury-ju, Kanada. Na području Severne Amerike *A. stolonifera* smatra se u izvesnoj meri invazivnom vrstom koja formira gust travni pokrivač istiskujući pritom prirodne vrste iz pogodnog staništa (Esser, 1994).

5.4.1.2. *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.

(syn. *Arundo epigejos* L.)

Višegodišnja busenasta hemikriptofita iz familije *Poaceae* sa kratkim i debelim rizomima i dugim stolonama. Stablo uspravno, 60-150 cm visoko (slika 95). Listovi ravni, 3-10 mm široki, dugi, hrapavi, zeleno-ljubičaste boje. Ligula do 9 mm duga, tupa i nepravilno nazubljena. Cvast je metličasta, 10-30 cm duga, gruba i gusta, sa izbojcima dužine do 10 cm. Klasići su smešteni na kratkim peteljicama, a pleve su linearne, jednake dužine od 5 do 7 mm. Cveta u julu, a rasejava se anemohorno i zoohorno (mirmekohorno) (Bryndová & Kovár, 2004). Posедуje neke karakteristike invazivnih vrsta, kao što su lako rasejavanje semena i vegetativno širenje dugim stolonama (Gloser et al., 2004).

Vrsta pripada evroazijskom flornom elementu subborealno-meridionalne distribucije (Jovanović, 1994), i na ovom području sastavna je komponenta različitih tipova vegetacije, počev od peščanih dina, rečnih poplavnih područja, močvara, stepa, sve do subalpskih travnih formacija. Introdokovana je u Severnu Ameriku (Aiken et al., 1989). Prema vegetacijskoj pripadnosti (Kojić i sar., 1997), svrstana je u klasu higrofilnih vrbovih šuma i šibljacka (*Salicetea purpureae* Moor, 1958). U Centralnoj Evropi najčešće se javlja kao sinantropna vrsta, u staništima koje prati izostanak mera održavanja, poput napuštenih vinograda, livada i pašnjaka (Süss et al., 2004). Raste na različitim tipovima zemljišta, a njen rast i reprodukcija najbolje se odvijaju u uslovima otvorenih, vlažnih i nutrijentima bogatih staništa (Rebele & Lehmann, 2001; Süß et al., 2004).



Slika 95. Vrsta *Calamagrostis epigejos*
na nevezanom sedimentu borskog odlagališta

Vrsta je konstatovana kao samonikla na jalovištima boksitne rude u okrugu Bihor (Brejea et al., 2008) kao i u industrijskoj zoni mesta Copsa Mica (Vrînceanu et al., 2009) u Rumuniji. Jedna je od dominantnih vrsta u okruženju topionice bakra Legnica na zapadu Poljske (Rebele et al., 1993). Konstatovana je kao rani kolonizator supstrata zaostalih nakon eksploatacije peska u zoni tajge zapadnog Sibira, gde dominira i u kasnijim fazama kolonizacije (Koronatova & Milyaeva, 2011). Zabeleženo je njeno obrastanje i dominacija na degradiranim šumskim staništima u okolini topionice žive u Rudňany-ju, Slovačka (Banasova et al., 2007). Vrsta se smatra jednom od najučestalijih ekspanzivnih ruderalnih kolonizatora degradiranih staništa ugljenokopa u Centralnoj Evropi (Frouz et al., 2013). Kovar (2004) konstatuje dominaciju *C. epigejos* u spratu zeljastog bilja na području piritnog flotacijskog basena u Chvaletovice-ama, Češka. U ovim ekološki ekstremnim uslovima u kasnijim fazama dolazi do njenog proređivanja, pa se smatra da ovde ona ostvaruje pozitivnu ulogu, za razliku od ugljenokopa na kojima je opaženo da 'zarobljava' procese prirodne sukcesije. Na rekultivisanim staništima u Južnoj Koreji ova vrsta raste na blago zaslanjenim zemljištima sa niskim sadržajem vlage (Min & Kim, 1999). Vrsta se navodi kao jedan od mogućih izbora za fitoremedijaciju odlagališta gvožđevitih ruda (Mohanty et al., 2010).

U Srbiji se razvija na livadama i pašnjacima, proređenim lišćarskim i četinarskim šumama, bilo kao primešana ili kao graditelj posebnih fitocenoza, obično na požarištima (Vukićević, 1976). Naseljava raznovrsne geološke podloge i tipove zemljišta, od nizija do subalpskog pojasa. Česta je u zajednicama *Quercus-Fraxinetum*, *Fagetum montanum*, *Abieto-Fagetum*, *Picetum excelsae* i drugim (Vukićević, 1976). Konstatovana je na staništima ne-mediteranskih, suvih kiselih i neutralnih zatvorenih travnih formacija, u okviru kojih može imati i dominantnu ulogu (Lakušić i sar., 2005). Javlja se još i kao primešana u donjem spratu ritskih i barskih vrbovih zajednica, u vlažnim uslovima i na peskovitoj podlozi. Takođe je prisutna u rečnim šumama vrbe, jove i breze na obalama reka ili aluvijalnim nanosima, gde nivo podzemne vode može biti visok (Lakušić i sar., 2005).

Fitocenološka ispitivanja degradiranih šumskih zajednica *Salici-Populetum albae* Drees, 1936. na nanosima flotacijske jalovine rudnika bakra duž reke Timok u rejonu Negotina pokazala su široku rasprostranjenost vrste *C. epigejos*. Marković i sar. (2008) konstatuju da je vrsta u ekspanziji jer pored samih nanosa jalovine obrasta i degradirane delove u neposrednom okruženju, i to kako one u zajednicama vrbe i topole, tako i one koji nisu pod šumskom vegetacijom. Na pepelištima termoelektrana Kostolac, kao i 'Nikola Tesla A' u Obrenovcu, vrsta *C. epigejos* predstavlja najznačajnijeg primarnog kolonizatora, a njena sposobnost da toleriše različit spektar ekoloških uslova kandiduje je za jednu od vrsta izbora u procesu njihove revegetacije (Djordjević - Miloradović, 1998; Mitrović i sar., 2008a; Gajić, 2014).

Vrsta se smatra tolerantnom na prisustvo teških metala u podlozi, pa Lehmann et al. (2004) konstatuju da može razviti toleranciju na povišene koncentracije Cu, Pb i Cd, i kao takva kolonizovati rudnička ili druga kontaminirana staništa. Vrsta *C. epigejos* odlikuje se efikasnim regulatornim mehanizmima vezanim za procese usvajanja i translokacije toksikanata, kao i značajnom aktivacijom mehanizama antioksidativne zaštite, što je čini pogodnom vrstom u revegetaciji pepelišta (Gajić, 2014). Prema podacima Dueck et al. (1986) prisustvo vezikularno-arbuskularne mikorize na korenu *C. epigejos* na područjima zagađenim cinkom ublažava negativne efekte dejstva ovog metala na biljku. Istraživanja saprofitskih mikrogljiva na populacijama *C. epigejos* u različitim stadijumima sukcesije ove vrste na odlagalištu piritnog otpada u oblasti istočne Bohemije, Češka, pokazala su da postoji povezanost između stadijuma sukcesije

i diverziteta i zastupljenosti vrsta saprofitskih mikrogljiva u zoni njenog korena (Požarova et al., 2001).

C. epigejos je generalno ekspanzivna, a na pojedinim terenima u Severnoj Americi i invazivna vrsta (Aiken et al., 1989). Hazi et al. (2011) opažaju njeno invazivno dejstvo na poluprirodnim pašnjacima u Mađarskoj.

5.4.1.3. *Centaurea arenaria* M. Bieb.

(syn. *Acosta arenaria* (Willd.) Soyak)

Višegodišnja hemikriptofita iz porodice *Asteraceae*, visoka 50-80 cm. Stabljika uspravna, od osnove može biti metličasto granata (slika 96, 97). Listovi u donjem delu stabljike sa drškama, perasto deljeni, u gornjem delu stabljike linearni, nedeljeni. Glavice pojedinačne, involukrum jajast sa zelenim listićima. Cveta od jula do oktobra, cvetovi ružičasti. Plod ahenija, 3-4 mm duga i gola (Gajić, 1975).

Vrsta najčešće naseljava otvorena peskovita staništa, a prisutna je u procesima sekundarne kolonizacije upravo ovakvih staništa u Mađarskoj (Csecserits & Redei, 2001). U Bugarskoj se smatra retkom i ugroženom vrstom u pojasu pešćanih staništa duž crnomorske obale (Tzonev et al., 2005), dok se u Turskoj ova vrsta takođe nalazi na spisku retkih (Ozhatay et al., 2013).

U Srbiji se *C. arenaria* razvija u otvorenim, termofilnim pionirskim vegetacijskim stadijumima na peskovitom tlu, ali i na kamenitoj podlozi, na inicijalnim, karbonatnim zemljištima. Prisutna je i u zajednicama višegodišnjih krečnjačkih travnih formacija, u vegetaciji panonskih pešćanih stepa, kao i u psamofitskim zajednicama Deliblatske pešćare (Lakušić i sar., 2005). Kojić i sar. (2001) navode je kao korovsku vrstu prirodnih travnjaka u Srbiji.



Slika 96: vegetacijski stadijum sa učešćem *Centaurea arenaria* M. Bieb., na borskim konglomeratima, odlagalište rudnika bakra u Boru



Slika 97: *Centaurea arenaria* M. Bieb. u cvetu (foto: M. Zaicev, <http://www.plantarium.ru/page/image/id/8478.html>)

Vrste roda *Centaurea* poseduju mogućnost akumulacije pojedinih metala u svojim organima. Istraživanja Reeves i Adiguzel (2004) na zemljištima na serpentinitu pokazuju da 13 ispitivanih vrsta iz ovog roda poseduju sposobnost akumulacije nikla u listu. Na području Galali rudnika u Iranu vrsta *C. virgata* pokazuje sposobnost akumulacije bakra, olova i cinka (Nematian & Kazemeini, 2013). Vrsta *C. jacea* pokazala je sposobnost akumulacije arsena, olova i mangana u korenu na području flotacijskog jalovišta u Boru (Antonijević i sar., 2012).

Centaurea arenaria pripada pontskom flornom elementu (Gajić, 1975). Naseljava pre svega peščana staništa centralne i istočne Evrope i zapadne Azije. S obzirom da izvan prirodnih staništa i izvornog areala pokazuje tendenciju širenja i kolonizacije narušenih suvih travnih zajednica, uključena je u Evropsku listu invazivnih vrsta (DAISIE, 2008).

5.4.1.4. *Chenopodium botrys* L.

(syn. *Dysphania botrys* (L.) Mosyakin & Clemants)

Uspravna i do 50 cm visoka, mirisna, jednogodišnja stablova terofita (slika 98, 99) iz familije *Chenopodiaceae*, gusto pokrivena žlezdama. Donji listovi jajasto

izduženi, tupi, nepravilno perasto usečeni, smešteni na dugim peteljka. Gornji listovi linearni, sedeći ili na kratkoj peteljci. Cvetovi su skupljeni u kratke dihazije raspoređene u duge, rastresite grozdove. Perigon sadrži 4-5 zelenih listića. Seme je sočivasto, crno, 0,5-0,7 mm široko, horizontalno položeno. Cveti u julu i avgustu. Rasejava se anemohorno i zoohorno i produkuje veliku količinu semena (Landolt et al., 2010).

Chenopodium botrys L. raste na suvoj peščanoj ili kamenitoj podlozi, relativno obezbeđenoj azotom, kisele do neutralne reakcije (Landolt et al., 2010). Toploljubiva je vrsta koja može tolerisati zaslanjenost. Rasprostranjena je u brdskom pojasu, a ponekad se penje i do planinskog. Primarna staništa ove biljke su u aluvijalnim područjima, na peščanim ili stenovitim obalama, koja su ekološki specijalizovana i sa malim uticajem kompeticije (Sukopp, 1971). U istom smislu, Slavnić (1972) je navodi za sprudove tekućih voda, na peskovitim obalama ili vlažnoj kamenoj podlozi.



Slika 98: Primerci *Ch. botrys* L. na hornblendu andezitu odlagališta rudnika bakra u Boru



Slika 99: Populacija *Ch. botrys* L. na obodu jezera otpadnih voda sa odlagališta rudnika bakra u Boru

Sekundarna staništa u Evropi su napuštene parcele, nasipi šteta, njive i vinogradi, ivični delovi trotoara i puteva (Sukopp i Vurzel, 2003), pa je kao takva ova biljka svrstana u klasu antropogenih ruderalnih i segetalnih korovskih zajednica okopavanih useva, voćnjaka i vinograda *Stellarietea mediae* (R. Tx., Lohm. et Prsg. 1950). U

Španiji je Ninot et al. (2011) konstatuju kao jednu od dominantnih vrsta u mediteranskim termofilnim korovskim zajednicama vinograda i voćnjaka na zemljištima siromašnim kalcijumom i formiranim na argilošistu i granitu, u okviru zajednice *Eragrostio majoris-Chenopodietum botryos* (Braun-Blanquet u Braun-Blanquet, Gajewski, Wraber et Walas, 1936). U Italiji Brullo et al. (2007) konstatuju posebnu termofilnu vegetacijsku svezu *Chenopodion botryos* Brullo & Marcenò, 1980 na kiselim silikatnim zemljištima vinograda i voćnjaka. U Češkoj je ova vrsta dijagnostička za inicijalne primarne i sekundarne zajednice (Chytrý & Tichý, 2003) koje se razvijaju na siromašnim otvorenim staništima, dobro dreniranim peskovitim ili šljunkovitim podlogama i nasipima, šljacištima i jalovištima koja mogu biti do izvesne mere zaslanjena (*Salsolion ruthenicae* Philippi 1971, *Chenopodietum botryos* Sukopp 1971, *Bromo tectorum-Corispermetum leptopteri* Sissingh et Westhoff ex Sissingh 1950 corr. Dengler 2000). U gradovima zapadne i centralne Evrope *Ch. botrys* je naturalizovana u ruderalnim zajednicama suvih i toplih staništa, dok u Berlinu Sukopp (1971) konstatuje i njene zasebne stabilne zajednice.

Rasprostranjena je u Evroaziji do Indije, u Severnoj Africi, a sekundarno i u Severnoj Americi. Pripada evroazijskom flornom elementu sa širokim geografsko klimatskim dijapazonom od umerenog do meridionalnog pojasa. Vrsta se danas proširila u odnosu na svoj originalni areal u dubinu azijskog i na američki kontinent. Smatra se invazivnom na zapadu Kanade, dok je u Armeniji zabeležena kao potencijalno invazivna vrsta u širenju, pretežno na antropogenizovanim staništima (Bern Convention Group of Experts on Invasive Alien Species, 2009).

U Srbiji je konstatovana na području Vojvodine, u okviru zajednice *Polygono-Bidentetum tripartitae* (W.Koch 1926) Lohm. 1950, na podlozi koju čine terasni les i aluvijalni nanosi (Lakušić i sar., 2005), kao i u Leskovačkom polju (Randelović, 1992). Pored toga, Slavnić (1972) je navodi i za područje istočne Srbije (Majdanpek, Niš, Pirot), južne Srbije (Grdelica, Vranje), centralne (Kragujevac), kao i zapadne Srbije (Šabac). Na području Beograda, Jovanović (1994) beleži samo sporadično prisustvo ove vrste u okviru nekih ruderalnih staništa koja se nalaze u inicijalnim fazama kolonizacije.

Vrsta *Ch. botrys* L. ima mogućnost tolerancije i akumulacije više različitih metala. Na području rudnika gvožđa Galali u Iranu ustanovljeno je da vrsta akumulira hrom i mangan u količini većoj od 1000 ppm u nadzemnom delu (Kazemeini et al.,

2013). Na području rudnika bakra u Iranu *Ch. botrys* L. pokazala je hiperakumulaciju cinka u korenu, kao i gvožđa u nadzemnom delu, dok je u okolini Hame Kasi rudnika bakra i gvožđa u Iranu ova vrsta pokazala pojačanu akumulaciju bakra u korenu i nadzemnom delu, kao i mangana u korenu (Nouri et al., 2009). Ispitivanja *Ch. botrys* L. na podlogama kontaminiranim kadmijumom pokazala su da ova vrsta ima sposobnost hiperakumulacije ovog elementa i njegovog nagomilavanja u korenu i nadzemnom delu (Mazharia & Homaeab, 2012). Mitrović i sar. (2004) konstatuju da na području rudnika bakra Krivelj kod Bora ova vrsta usvaja bakar, gvožđe i cink u većoj meri u nadzemnom delu nego u korenu, dok Nikolić (2013) navodi da na obalama reke Timok, duž gradijenta zagađenja prisutnog usled izlivanja flotacijske jalovine iz rudnika bakra Bor ova vrsta održava dominaciju i dostiže visoke koncentracije bakra u listovima. U uslovima stresa zbog prisustva povišene koncentracije teških metala na području rudnika metala u Iranu, Yousefi et al. (2011) konstatuju abnormalnosti u razvoju antera i redukciju broja polenovih zrna.

5.4.1.5. *Dorycnium pentaphyllum* Scop.

(*D. pentaphyllum* subsp. *germanicum*, *D. pentaphyllum* subsp. *herbaceum*)

Višegodišnja perena ili mala poluodrvenela žbunasta hamefita iz porodice *Fabaceae*, visine 10-80 cm (slika 100, 101). Listovi linearni do izduženi, obrnuto jajasti. Cvasti štitaste, guste. Krunica bela. Plod je jajasta mahuna, dužine 3-5 mm (Ball, 1968). Cveta od juna do avgusta meseca.

D. pentaphyllum je kserotermofilna vrsta dobro adaptirana na sušne regione Mediterana (Caravaca et al., 2003), budući da razvija dubok korenov sistem sposoban da apsorbuje vlagu iz dubljih slojeva zemljišnog profila (Slavik, 1995). Dve podvrste ove vrste, *D. pentaphyllum* subsp. *germanicum* i *D. pentaphyllum* subsp. *herbaceum* razlikuju se po afinitetu na uslove vlažnosti, pri čemu je podvrsta *germanicum* prilagođena na suvlje i toplije uslove staništa, dok podvrsta *herbaceum* nalazi nešto optimalnije uslove za razvoj u vlažnijim područjima sa nižom temperaturom (Slavik, 1995).



Slika 100: *Dorycnium pentaphyllum* Scop., na nevezanim sedimentima odlagališta rudnika bakra u Boru



Slika 101: *Dorycnium pentaphyllum* Scop. na prirodnom staništu (foto: Javier Martin, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dorycnium_pentaphyllum_Habitus_Valdere_pisa_2012-05-31_SierraMadrona.jpg)

D. pentaphyllum subsp. *germanicum* u Srbiji naseljava staništa višegodišnjih krečnjačkih travnih formacija i osnovnih stepa, kao i suve subkontinentalne stepske travne formacije i serpentinske stepe. Ulazi u sastav alpijskih i subalpijskih ultrabazičnih travnih formacija na serpentinitu, kao i subalpijskih i oroborealnih žbunastih staništa na karbonatnoj podlozi. Istovremeno, nalazi se u prizemnom spratu termofilnih listopadnih hrastovih šuma, kao i mešovitim termofilnih lišćarskih šuma i šuma crnog bora. Vrsta ulazi u sastav biljnih zajednica koje se razvijaju na siparima krečnjačkih i serpentinitičkih podloga, na toplim ekspozicijama (Lakušić i sar., 2005).

D. pentaphyllum subsp. *herbaceum* u Srbiji takođe raste na staništima višegodišnjih krečnjačkih travnih formacija i osnovnih stepa, i to serpentinitičkih stepa i panonskih lesnih stepskih travnih formacija. Ulazi i u sastav vegetacije mediteranskih montanih travnih formacija i ne-mediteranskih suvih, kiselih i neutralnih zatvorenih travnih formacija (Lakušić i sar., 2005). Unutar ovih poslednjih, nalazi se kao značajna vrsta u staništima sa *Calamagrostis epigejos*, formiranim na silikatnim stenama i izloženim antropogenom dejstvu. Konstatovana je u prizemnom spratu termofilnih listopadnih šuma, kao i subtermofilnih hrastovih šuma u stepskoj zoni.

Glavnina ili centar areala vrste *Dorycnium pentaphyllum* se, nalazi u južnoj Evropi (pre svega u području Mediterana), odakle se pruža, više ili manje duboko, u

subkontinentalna i kontinentalna područja Evrope i zapadne Azije. Istovremeno, vrsta obuhvata veliki gradijent nadmorskih visina, od 0 - 1300 m (podvrsta *D. p. ssp. herbaceum*; Pignatti, 1982), odnosno od 0 - 1500 m (podvrsta *D. p. ssp. germanicum*; Diklić, 1972). Iako između konstatovanih podvrsta postoji značajno preklapanje njihovih areala, podvrsta *D. p. ssp. germanicum* više inklinira u srednjeevropsko - pontski region (Srednjeevropsko - Mediteranska areal grupa odnosno areal tip), dok je težište areala podvrste *D. p. ssp. herbaceum* prisutno u mediteranskom i submediteranskom području južne i jugo - istočne Evrope (Mediteransko-pontsko-južnosibirski areal grupa odnosno Mediteransko-Kontinentalni areal tip).

Vrste roda *Dorycnium* smatraju se generalno pogodnim za rekultivaciju u polusušnim uslovima Mediterana (Alegre et al., 2004; Bell et al., 2007). Istraživanja Lefevre i saradnika (2009) ukazuju na to da se *D. pentaphyllum* može koristiti u fitostabilizaciji područja kontaminiranih kadmijumom i cinkom, budući da je tolerantna na dejstvo ovih metala u različitim fenološkim stadijumima. Stanley et al. (2013) konstatuju je u rudničkoj oblasti Cartagena u Španiji kao samoniklu na odlagalištima rudničkog otpada. Zapažena je i njena brza spontana kolonizacija i razvoj povećane količine biomase na erodiranom poljoprivrednom zemljištu koje je tretirano kanalizacionim muljem (Andres & Walter, 2007).

5.4.1.6. *Epilobium dodonaei* Vill.

(syn. *Chamaenerion angustissimum* (Weber) D. Sosn., *C. dodonaei* (Vill.) Schur, *C. palustre* auct. mult., non (L.) Scop., *E. rosmarinifolium* Haenke)

Višegodišnja stablova hemikriptofita razgranatog rizoma iz familije *Onagraceae*. Stabljika uspravna, visine 20-100 cm, pri osnovi često odrvenela (slika 102). Listovi čvrsti, linearni do linearno-lancetasti, 2-6 cm dugi, 2-3 mm široki, sedeći ili sa kratkom lisnom drškom, šiljatog vrha, najčešće goli, mada mogu biti sa proređenim priljubljenim dlačicama, ređe gusto pokriveni belim dlačicama. Cvasti su vršne grozdaste, cvetovi rastresito postavljeni. Cvetovi veliki, uspravni, dugački oko 1.5 cm. Čašični listići crvekast, krunični bledoružičasti. Plod je čaura, u ranom stadijumu gusto pokrivena belim filcanim dlakama, kasnije crvenkasta, pokrivena kratkim

priljubljenim dlačicama. Seme izduženo, pokriveno bradavicama, dugačko 1,7-2 mm. Biljka cveta u periodu od jula do septembra. Polinaciju vrše pretežno opnokrilci (*Hymenoptera*). Plod sadrži u proseku oko 100 semenki koje na vrhu imaju dlačice i rasejavaju se anemohorno u periodu od avgusta do oktobra (Diklić, 1973).



Slika 102: *Epilobium dodonaei* Vill. na kosini odlagališta rudnika bakra u Boru formiranoj od hornblendita andezita (foto: D.Randelović)

Razvija se u rasponu nadmorskih visina od 300 do 1400 m. Primarno pripada vegetaciji pokretnih - nevezanih sipara (klasa *Thlaspietea rotundifolii* Br.-Bl. et al. 1947) formiranih od manjih do srednje velikih fragmenata stena. Biljke nevezanih sipara inače su izložene kombinaciji nepovoljnih i specifičnih ekoloških uticaja usled fizičkog kretanja sipara, kao i stresu usled ograničenog prisustva vode i nutrijenata. Njihova originalna staništa, pored osunčanosti, takođe karakterišu velike temperaturne oscilacije vazduha i podloge. Istovremeno, Valachović et al. (1997) konstatuju prisustvo ove vrste unutar zajednica šljunkovitih rečnih obala u Evropi, na toplim i otvorenim staništima. Slavik (1986) konstatuje prisustvo ove vrste na području nekadašnje Čehoslovačke u slivovima reka na različitim geološkim podlogama: krečnjacima, škriljcima, karbonatnim peščarima i filitima, dijabazima i granitima. Kao jednu od karakterističnih vrsta nalazimo je unutar reda *Epilobietalia fleischeri* (Moor, 1958), u okviru zajednice *Epilobio dodonaei-Scrophularietum caninae* (W. Koch et Br.-Bl. in Br.-Bl. 1949) odnosno *Epilobio-Scrophularietum caninae* (W. Koch & Br.-Bl. ex

Müller 1974) na krečnjačkoj podlozi duž reka, na toplim staništima u subplaninskom pojasu Evropskih Alpa (Müller, 2005). Vrsta se smatra svetloљubivom i preferira neutralne do bazne podloge (Karadžić i sar., 1994; Borhidi, 1995).

Epilobium dodonaei Vill. se može pojaviti kao pionirska vrsta u antropogeno formiranim staništima, čije su pojedine osobine slične njenim prirodnim staništima (Opalkova i Cimalova, 2011). U tom smislu, zabeležena je kao pionirska vrsta industrijskih odlagališta i kamenoloma. Lacina i Koutecky (2005) navode je u pregledu sinantropne flore rudničkih odlagališta, dok je Koutecka i Koutecky (2006) beleže u inicijalnim stadijumima razvoja vegetacije na području krečnjačkih kamenoloma u Češkoj. Prema Brofas (2007) prisutna je na alkalnim jalovištima nastalim u procesu eksploatacije boksitne rude u Grčkoj, dok Himmler (2008) navodi prisustvo ove vrste na kamenolomu bazalta u oblasti Rammelsbach, ali i kao kolonizatora mineralnih odlagališta i drugih kamenoloma u Nemačkoj. Prema Slavik (1986), na nižim nadmorskim visinama područja Slovačke, ova vrsta izgrađuje ruderalnu zajednicu *Epilobio dodonaei-Melilotetum albi* Slavik 1978, koju Jarolimek i sar., (2008) uključuju u vegetacijsku svezu *Dauco-Melilotion* Görs 1966, klase *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951. Prema istom autoru, pored primarne pojave ove vrste na šljunkovitim aluvijumima vodotoka u području Karpata, njeno održavanje u poslednjih sto godina obezbeđeno je uglavnom uspešnim naseljavanjem odgovarajućih antropogenizovanih staništa kao što su kamenolomi, iskopine šljunka, deponije, železnički i drumski nasipi i sečine.

U pogledu opšteg rasprostranjenja, *Epilobium dodonaei* pripada grupi evroazijskih vrsta. Prisutna je u centralnoj i južnoj Evropi i jugozapadnoj Aziji. Raste u planinskom pojasu Evrope (Pirineji, Alpi, Apenini, Karpati), Turske i Kavkaza, a pojavljuje se i na odgovarajućim staništima toplijih delova centralne i jugoistočne Evrope (Kič, URL). Međutim, uspešno, pretežno anemohorno rasejavanje vrste *E. dodonaei* na odgovarajuća alternativna staništa u pogledu fizičko-hemijskih karakteristika, ali i uočeno iščezavanje sa primarnih staništa (prirodno ili uzrokovano antropogenim dejstvom), dovodi do dinamičnih oscilacija graničnih linija distribucije ove vrste. Upravo zbog toga, Slavik (1986) preporučuje *E. dodonaei* kao idealnu vrstu za proučavanje procesa migracije u vremenu i prostoru. Vrsta pripada srednje-

južnoevropsko-zapadno azijsko-kavkaskom flornom elementu (Meusel *et al.* 1965, 1978).

U Srbiji je zabeležena na području Loznice, Koviljače, Ovčarsko-Kablarske klisure (Diklić, 1973), kao i u zajednicama žućkaste mlađe (*Corydaletum euochroleucae*) na krečnjačkoj podlozi u klisurama Moravice, Rzava, Lima kao i u Rugovskoj klisuri (Tatić i Atanacković, 1972). Randelović (2010) je konstatuje na području Bora u zasadima bagrema na rekultivisanim delovima jalovišta rudnika bakra. S obzirom na uspešnost kolonizacije, kao i karakter istraživanih tehnogenih staništa na području Bora, vegetacijska pripadnost vrste *Epilobium dodonaei* je u ovim istraživanjima tretirana u okviru klase *Artemisietea vulgaris*.

Podaci o rasprostranjenju vrste na staništima sa povećanom koncentracijom metala su oskudni. Konstatovana je na serpentinskoj podlozi lokaliteta Gjegjan u Albaniji gde je pokazala nizak stepen akumulacije Ni, Zn, Co i Cr u svojoj biomasi (Shallari *et al.*, 1998).

Smatra se ugroženim taksonom u pojedinim delovima Evrope, jer su joj prirodna staništa ugrožena ili izmenjena. Nalazi se na Crvenoj listi zaštićenih vrsta flore i faune republike Srpske (Službeni glasnik Republike Srpske 124/12), dok je u Mađarskoj zaštićena zakonom (Službeni glasnik Republike Mađarske, br. 128. (28. sept. 2012.) str. 20903-21019.)

5.4.1.7. *Festuca valesiaca* Schlich.

(syn. *Festuca ovina* var. *valesiaca* Gaudin)

Višegodišnja, gusto busenasta hemikriptofita iz familije *Poaceae* (slike 103, 104). Stabljike intravaginalne, 20-70 cm visoke, listovi tanki, tupi, mlitavi ili čvrsti. Metlica duguljasta i uspravna, do 14 cm dugačka, klasići sa 3-8 cvetova, zeleni (Gajić, 1976). Plevice sa kratkim osjem. Cveti od juna do avgusta meseca.

Preferira osunčana, neutralna i blago bazna, slabo plodna i suva zemljišta (Ellenberg *et al.*, 1991). Vrsta raste u stepama, suvim livadama kao i na otvorenim kamenitim ili peskovitim površinama u područjima severne i centralne Rusije, Pirineja, Italije, Grčke i severne Azije (Ogle *et al.*, 2010). Konstatovana je u stadijumima sekundarne sukcesije na područjima kamenoloma bazalta u Češkoj (Novak & Prach,

2003). Na serpentinitima u severnoj Grčkoj, Tsiripidis et al. (2010) ukazuju na povezanost pojavljivanja vrste *F. valesiaca* i sadržaja magnezijuma i ukupnog azota u zemljištu.



Slika 103: busenovi *Festuca valesiaca* Schlich. na odlomcima hornblenda andezita, odlagalište rudnika bakra u Boru



Slika 104: busenovi *Festuca valesiaca* Schlich. na prirodnom staništu u oblasti Valnontey, Italija (foto: Andrea Moro, <http://dbiodbs1.univ.trieste.it/quint/carso/foto/TSB68521.jpg>)

Festuca valesiaca u Srbiji raste na staništima višegodišnjih krečnjačkih travnih formacija i osnovnih stepa uglavnom na karbonatnoj podlozi, a gradi zajednice u suvim subkontinentalnim stepskim travnim formacijama, karbonatnim stepskim travnim formacijama, serpentinititskim stepama i panonskim lesnim stepskim travnim formacijama u kojima može biti i dominantna. Pored toga, javlja se u ne-mediteranskim suvim, kiselim i neutralnim travnim formacijama, u suvim subkontinentalnim silikatnim ili višegodišnjim otvorenim stepskim travnim formacijama (Lakušić i sar., 2005). Interesantna je njena pojava u staništima travnih formacija na silikatu sa dominacijom *Calamagrostis epigejos*, koja se formiraju pod jakim antropogenim uticajem. Konstatovana je i na livadama stepske zone, kao i u vlažnim travnim formacijama, mediteransko-montanim širokolisnim listopadnim šikarama. Ulazi u sastav prizemnog sprata u listopadnim šumama termofilnog karaktera, crnoborovim šumama i mešovitim bukovo-jelovim šumama.

Poreklom je iz Evrope i Azije, a smatra se da joj je originalni areal u oblasti stepa jugoistočnog Altaja i Transbajkalskih stepa (Namzalov, 1986). Kao komercijalna, sejana vrsta, uneta je i na američki kontinent (Aiken et al., 1996).

Vrsta je korišćena u istraživanjima mogućnosti rekultivacije degradiranih površina u okolini Bora kada je na blago zatalasanim površinama i na nagnutom, erodiranom zemljištu pokazala visoku pokrovnost i blaga oštećenja od aerozagadenja, što je svrstava u vrste koje se dalje i šire mogu upotrebljavati na ovom području (Mihajlović i Krstić, 1964). *F. valesiaca* pokazuje visoku pokrovnost, otpornost na sušu i sposobnost dobrog ukorenjavanja u uslovima revitalizacije ogoljenih nasipa na putevima u Grčkoj (Koukora et al., 2007). Vrsta je široko korišćena i u revegetacionim smešama na skeletnom i peskovitom zemljištu u zoni stepa (Dzybov, 2013). Vrsta *F. ovina*, međutim, pokazuje i toleranciju na prisustvo visokih koncentracija olova (Brown & Brinkmann, 1992), a uočen je i razvoj specifičnih ekotipova ove taksonomske grupe na zemljištima bogatim teškim metalima (Patzke i Brown, 1990).

5.4.1.8. *Linaria genistifolia* (L.) Mill.

(syn. *Antirrhinum genistifolium* L.)

Višegodišnja hemikriptofita iz porodice *Scrophulariaceae* sa granatim puzećim rizomom. Stabljika uspravna, 30-120 cm visoka, u gornjem delu razgranata (slika 104, 105). Listovi jajasti do izduženo lancetasti, kožasti ili mesnati, sedeći i plavičastozeleni. Cvetovi se nalaze u razgranatim metličastim cvastima, žute boje kruničnih listića. Cvetovi od juna do septembra (Nikolić, 1974). Razmnožava se vegetativno (puzećim rizomima) i generativno (pomoću semena koja se rasejavaju anemohorno i zoohorno).

Linaria genistifolia raste u brdsko-planinskim područjima duž puteva ili šljunkovitih rečnih nanosa, ili u degradiranim predelima, kultivisanim poljima, kao i u zonama ekotona između šumskih i livadskih staništa, na osunčanim položajima. Tolerira niske temperature i skeletnu podlogu (Carpenter, 1998). Sposobna je za brzu kolonizaciju otvorenih staništa, u prvom redu antropogeno narušenih ili obrađivanih. Preferira toplu i otvorena staništa, dobro dreniranu podlogu lakšeg mehaničkog sastava i neutralnu do blago alkalnu reakciju zemljišnog rastvora (Di Tomaso et al., 2013).



Slika 105: *Linaria genistifolia* (L.) Mill., na odlomcima borskih konglomerata, odlagalište rudnika bakra u Boru



Slika 106: *Linaria genistifolia* (L.) Mill. u cvetu na antropogenizovanom staništu
(www.commons.wikimedia.org)

Vrsta se u Srbiji obično razvija na plitkim, skeletnim, suvim i toplim, blago baznim zemljištima u okviru višegodišnjih krečnjačkih travnih formacija i serpentinskih - brdskih stepa, dok se u okviru serpentinskih staništa sa dublje razvijenim zemljištem često javlja u zajednicama sa dominacijom vrste *Festuca vallesiaca* Schlich. Prisutna je i u panonskim lesnim stepskim travnim formacijama i istočno submediteranskim travnim formacijama na krečnjaku. Javlja se u balkanskim submediteranskim dolomitskim travnim formacijama na karbonatnoj podlozi, ali i na kiselijim zemljištima u ne-mediteranskim suvim, kiselim i neutralnim otvorenim travnim formacijama, kao i u višegodišnjim otvorenim travnim formacijama na silikatima. Nalazi se kao primešana u prizemnom spratu termofilnih hrastovih šuma. Jedna je od dominantnih vrsta u panonskim šumama hrasta kitnjaka na serpentinu, a karakteristična je i za acidofilne i kontinentalne šume u kojima takođe dominira hrast kitnjak (Lakušić i sar., 2005).

Pripada srednjeevropsko-mediteransko-pontsko-juznosibirskom flornom elementu (Jovanović, 1994). Izvorni areal ove vrste je u mediteranskom delu Evrope, a

introdukovana je na američki kontinent. U Evropi i Americi ova vrsta smatra se invazivnom (DAISIE, 2008; USDA, 2014). Brzo kolonizuje narušena staništa, istiskujući druge vrste. Westbrook (1998) je konstatovao širenje ove vrste sa rekultivisanih delova rudničkog jalovišta u Wajomingu, USA, u okolne nenarušene ekosisteme.

Mitrović i sar. (2004) konstatuju sposobnost akumulacije teških metala u uzorcima vrste *L. genistifolia* sa jalovišta rudnika bakra Veliki Krivelj kod Bora. Nikolić (2013) konstatuje prisustvo ove vrste u pionirskim zajednicama na nanosima flotacijske jalovine duž obale reke Timok u kojima dominira *Chenopodium botrys* L., a koje se od ostalih pionirskih zajednica na ovom području izdvajaju povećanom pH vrednošću, količinom pristupačnog fosfora i bakra.

5.4.1.9. *Rumex acetosella* L.

(syn. *Acetosella vulgaris* (W.D.J.Koch) Fourr.)

Uspravna ili uzdignuta višegodišnja, dvodoma, do 50 cm visoka hemikriptofita iz familije *Polygonaceae*, sa pojedinačnim razgranatim stablom, ponekad crvenkaste boje (slika 107, 108). Listovi glatki ili fino dlakavi, donji streličasti sa dugim peteljka, gornji kopljasti i sedeći. Cvetovi jednopolni. Plod je smeđa trostrana orašica. Razmnožava se vegetativno pomoću adventivnih pupoljaka na korenu i semenom. Rasejava se pomoću vetra i insekata koji raznose seme. Potiče iz Evrope i Azije, ali je introdukovana duž čitave severne hemisfere, pa se može reći da danas ima kosmopolitski karakter. Kao nativna vrsta, rasprostranjena je na čitavoj teritoriji Srbije (Slavnić, 1972a).

Ellenberg (1974) definiše vrstu *R. acetosella* kao svetlojubivu, tolerantnu na sušu, koja raste na toplim staništima sa kiselom podlogom, dok Borhidi (1995) ovim opisima dodaje i uslove rasta na azotom siromašnim zemljištima. Tyler (1992), kao i Fransson et al. (2003), konstatuju je na staništima bogatim pristupačnim fosforom. Na bazičnim zemljištima se javlja u nešto manjem broju, a kao jedan od mogućih razloga navodi se nizak nivo pristupačnog mangana (Ernst & Nelissen, 1979). Archer i Auld (1982) sugerišu da je peskovita tekstura i niska snabdevenost podloge hranljivim materijama češće povezana sa prisustvom ove vrste nego što je to slučaj sa niskom pH

vrednošću. Stopps et al. (2011) navode da *R. acetosella* toleriše čitav spektar klimatskih uslova.



Slika 107: *Rumex acetosella* L.
(foto: http://en.wikipedia.org/wiki/Rumex_acetosella)



Slika 108: Populacija *Rumex acetosella* L. na grusu alterisanog andezita istočnog odlagališta u Boru

Prema Kojić i sar. (1997), pripada vegetacijskoj klasi antropogenih segetalnih korovskih zajednica okopavanih useva, voćnjaka i vinograda, kao i strnih žita (*Stellarietea mediae* R. Tx., Lohm. et Prsg. 1950). Raste na kiselim zemljištima, oranicama, vinogradima i ruderalnim staništima. Konstatovana je i ogoljenoj stenskoj podlozi (Invasive Plant Atlas of New England, URL). Smatra se ranim kolonizatorom, brzo naseljava degradirane površine, sečine, obale reka, ali i rudničke jalovine (Dittberner & Olson, 1983) gde se može javiti i u procesu sekundarne sukcesije (Martinez-Ruiz, Marrs, 2007). *Rumex acetosella* L. se koristi u ljudskoj ishrani, a zbog svojih antiseptičkih i diuretičkih svojstava i kao lekovita biljka.

Vrsta naseljava širok spektar staništa, naročito livade, pašnjake i degradirane ili ogoljene površine. Česta je i u dolinama reka, termofilnim hrastovim (Szymura & Szymura, 2013) i borovim šumama (USDA Forest Service, URL). Ima izraženu kompetitivnu sposobnost na zemljištima niske pH vrednosti (Kothe & Varma, 2012).

U Srbiji je često konstatovana na serpentinitским podlogama u suvim travnim formacijama brdskih stepa, listopadnim šikarama i šibljacima i šumama termofilnih

lišćara i crnog bora. Javlja se i na jako do umereno vlažnim livadama i pašnjacima smeštenim na području rečnih terasa čiju podlogu čine aluvijani nanosi. Takođe je zabeležena u zajednicama suvih travnih formacija i u termofilnim šumama na krečnjaku, najčešće u uslovima formiranja zemljišta koji dovode do njegovog zakišeljavanja. Konstatovana je i u drugim zajednicama u uslovima snižene pH vrednosti zemljišta, njegove pojačane oceditosti i osunčanosti položaja na različitim stenskim podlogama, u rasponu od ravničarskog do planinskog pojasa (Lakušić i sar., 2005).

Vrsta *R. acetosella* je tolerantna na prisustvo pojedinih teških metala u podlozi, dok neke metale može pojačano akumulirati. Istraživanja Kelepertsis i Andrulakis (1983) na području sulfidnih mineralizacija u severnoj Grčkoj upućuju na vrstu *Rumex acetosella* kao lokalnog indikatora bakarnih i bakarno-cinkano-olovnih orudnjenja. Banasova (1983) nalazi *R. acetosella* kao deo karakteristične vegetacije na području jalovišta piritne rude u Smolniku, Slovačka. Winterhalder (2002) i Bagatto i Shorthouse (1999) je konstatuju kao pionirsku vrstu koja slabo akumulira nikl na području nekadašnje topionice olovo-cinkane rude u oblasti Sudbury, Kanada, sugerišući da ova vrsta koristi strategiju isključivanja akumulacije u uslovima visoke koncentracije nikla. Marian et al. (2008) konstatuju je u spratu zeljastih biljaka na teritoriji rekultivisanih delova u oblasti eksploatacije metala Maramures u Rumuniji. Mitrović i sar. (2004) konstatuju da na području rudnika bakra Krivelj kod Bora vrsta *R. acetosella* akumulira visoke količine bakra u korenu i opisuju njene populacije na ovom području kao tolerantne. Otones i sar. (2011) konstatuju ovu vrstu na području jalovišta rudnika volframa Terrubias u Španiji bogatog arsenopiritom, i to kao vrstu koja u značajnoj meri akumulira arsen u podzemnom i nadzemnom delu.

R. acetosella L. se nalazi na listama invazivnih biljaka Američkog kontinenta (Bargeron & Swearingen, 2010) i može ugroziti opstanak ili obnavljanje prirodnih vrsta na mestima na kojima se razvija (Holm et al., 1997).

5.4.1.10. *Sanguisorba minor* Scop.

(syn. *Poterium sanguisorba* L.)

Višegodišnja hemikriptofita iz familije *Rosaceae*, visine 10-90 cm, sa jakim razgranatim rizomom. Stabljika uspravna ili ustajuća (slike 109, 110). Listovi perasti, okruglasti do eliptični, tupo do testerasto nazubljeni (Gajić, 1972). Cvetne glavice sa drškom, do 2 cm duge i isto toliko široke. Cveti od aprila do jula. Plod četvorouglast, mrežasto naboran. Oprašuje se pomoću insekata.

Sanguisorba minor je tolerantna na sušu, hladnoću i mraz (Wills, 1984). Najbolje se razvija na neutralnim do blago alkalnim zemljištima (Wieneke et al., 2004), a prema nekim autorima može tolerisati i blagu zaslanjenost podloge (Ogle, 2002). U Evropi je česta u livadskim i žbunastim zajednicama na karbonatnim zemljištima (McLellan, 1997), kao i na degradiranim staništima (Fryer, 2008).



Slika 109: *Sanguisorba minor* Scop. na deposolu hornblenda andezita, odlagalište rudnika bakra u Boru



Slika 110: *Sanguisorba minor* Scop. u cvetu na prirodnom staništu (foto: Malcolm Storey, www.bioimages.org.uk)

S. minor je u Srbiji zastupljena u stepolikim travnim formacijama, uglavnom na baznim i plitkim, toplim i suvim podlogama, na krečnjaku ili serpentinitu. Čini sastavni deo fitocenoza suvih subkontinentalnih stepskih travnih formacija sa dominacijom *Festuca vallesiaca* ili *Stipa* spp., polusuvih subatlantskih krečnjačkih travnih formacija, ali i ne-mediteranskih suvih, kiselih i neutralnih zatvorenih travnih formacija na silikatima. Ulazi i u floristički sastav ilirsko-zapadnomezijskih kalcifilnih i ultrabazičnih alpijskih i subalpijskih formacija na većim nadmorskim visinama. Raste u prizemnom spratu Mediteransko-montanih širokolisnih listopadnih šikara, kao i termofilnih hrastovih šuma. Prisutna je u subtermofilnim šumama kitnjaka i cera, mezijskim

šumama kitnjaka, kao i mezijskim šumama kitnjaka sa crnim grabom na serpentinitu. Konstatovana je i na staništima termofilnih šuma, poput crnogradovih šuma na serpentinitu ili belogradovih šuma na krečnjaku. Kao prateća vrsta raste u šumama breze i trepetljike izvan zona vodotokova na kiselim zemljištima, kao i u šumama belog bora na karbonatnoj i serpentinitnoj podlozi. Ulazi u floristički sastav krečnjačkih i ultrabazičnih sipara na toplim ekspozicijama (Lakušić i sar., 2005).

S. minor pripada evroazijskoj grupi flornih elementa sa prirodnim arealom u zapadnoj, centralnoj i istočnoj Evropi, severozapadnoj Africi i jugozapadnoj Aziji. Naturalizovana je u većem delu Severne Amerike (Fryer, 2008). Mišić i Lakušić (1990) navode je kao karakterističnu vrstu kserotermnih i mezotermnih travnjaka klase *Festuco-Brometea*.

Zabeležena je u pionirskim zajednicama jalovišta metaličnih ruda (olova, bakra i cinka) u jugozapadnoj Sardiniji, Italija (Angiolini, 2005). Sa druge strane, Martinez-Ruiz i Fernandez-Santos (2005) konstatuju prisustvo *S. minor* kao kasnog kolonizatora u stadijumu sekundarne sukcesije na otkrivci jalovišta rude uranijuma u Španiji. Konstatovana je i na području rudnika gvožđa Galali u Iranu, gde je utvrđeno da poseduje sposobnost akumulacije arsena u nadzemnim delovima, a selena u korenu (Kazemeini et al., 2013). *S. minor* je pokazala povišene bioakumulacione faktore za bakar (11,4), gvožđe (173) i mangan (163) u tretmanima sa pokrivanjem skeletnim materijalom na području flotacijskog jalovišta Olympias Halkidiki u Grčkoj (Alifragkis, 2013). Vrsta je korišćena u programima revitalizacije nasipa u Francuskoj (Martin et al., 2002).

Vrsta je jestiva i poseduje lekovita svojstva, a koristi se i za prehranu životinja (Fryer, 2008). Povremeno se upotrebljava u programima zaštite od erozije kao sastavni deo protiverozionih setvenih smeša (USDA, NRCS, 2014).

5.4.2. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu i nadzemnom delu biljaka na deposolima različitih litoloških grupa

Kada je u pitanju prosečan sadržaj analiziranih elemenata u korenu i nadzemnom delu biljaka na deposolima različitih grupa litologija konstatovanih na odlagalištu, analiza varijanse (tabela 81) pokazala je da, izuzev u pogledu sadržaja sumpora u korenu biljaka, nema statistički značajnih razlika u srednjim vrednostima njihovog sadržaja.

Tabela 81: Vrednosti F-testa za analizu varijanse elemenata u korenu i nadzemnim delovima biljaka sa različitih grupa deposola borske otkrivke, sa p-vrednostima (značajne vrednosti pri $p < 0,05$ označene su *)

Element	F	p
As _{kor}	0,490	0,743
Cr _{kor}	0,799	0,530
Cu _{kor}	1,424	0,236
Pb _{kor}	1,824	0,135
Zn _{kor}	2,062	0,096
S _{kor}	3,088	* 0,022
As _{nad}	0,673	0,613
Cr _{nad}	1,633	0,177
Cu _{nad}	0,556	0,695
Pb _{nad}	1,104	0,362
Zn _{nad}	2,520	0,050
S _{nad}	1,459	0,225

U tabeli 82 dat je prikaz sadržaja sumpora u korenu uzorkovanih biljaka sa izdvojenih grupa deposola:

Tabela 82: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja sumpora u korenu biljaka sa deposola izdvojenih litoloških grupa borske otkrivke

Litološka grupa	S _{kor} (ppm)	S _{korXBc(inv)} (ppm)
Hornblenda andeziti	1772 ± 591	1661
Alterisani hornblenda andeziti	2449 ± 680	2336
Dvostruka litologija	1871 ± 561	1768
Borski konglomerati	1965 ± 638	1862
Nevezani sediment	2261 ± 881	2097

Tabela 83: Tukey-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja sumpora u korenu biljaka na deposolima različitih litoloških grupa borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,0002, broj stepeni slobode d_f= 62), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Deposoli prema litološkoj grupi	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
{1} Hornblenda andeziti		*0,022	0,891	0,981	0,112
{2} Alterisani hornblenda andeziti	*0,022		0,538	0,246	0,891
{3} Borski konglomerati	0,891	0,538		0,997	0,902
{4} Dvostruka litologija	0,981	0,246	0,997		0,629
{5} Nevezani sediment	0,112	0,890	0,902	0,629	

Post-hoc Tukey-ov test na nivou značajnosti od $p < 0,05$ (tabela 83) pokazuje jasne razlike između sadržaja sumpora u korenu vrsta uzorkovanih na deposolima hornblenda andezita, od sadržaja sumpora u korenu biljaka uzorkovanih na alterisanim hornblenda andezitima.

5.4.3. Fizičko-hemijske osobine deposola u zoni rizosfere ispitivanih vrsta biljaka

Analiza varijanse fizičko-hemijskih osobina deposola u odnosu na vrste biljaka koje ih naseljavaju, pokazala je značajne razlike u pogledu svih ispitivanih parametara, izuzev sadržaja pristupačnog kalcijuma (tabela 84).

Tabela 84: Vrednosti F-testa za analizu varijanse fizičko-hemijskih osobina deposola iz rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka, sa p-vrednostima (značajne vrednosti pri $p < 0,05$ označene su *)

Varijabla	F	p
Prah	2,131	*0,041
Glina	2,112	*0,043
pH _{H₂O}	15,933	*0,000
pH _{KCl}	16,195	*0,000
H	15,838	*0,000
Eh	10,380	*0,000
EC	2,907	*0,007
SB	10,793	*0,000
OM	2,295	*0,028
Ca	0,604	0,788
K ₂ O	6,982	*0,000
Mg	4,132	*0,000
N	3,106	*0,004
P ₂ O ₅	3,572	*0,001

Imajući u vidu da je mali broj uzoraka u pojedinim grupama limitirajući faktor ove studije diktiran uslovima homogenosti litoloških grupa i vegetacijskih stadijuma na terenu u kojima su ove vrste uzorkovane, za post-hoc test u slučaju homogene varijanse izabran je Fišerov LSD test, a u slučaju heterogene varijanse Dunett-ov test. Srednje vrednosti fizičko-hemijskih parametara deposola u odnosu na vrste uzorkovanih biljaka

prikazane su u tabelama 85 - 88. Rezultati post-hoc testova ovde su opisani tekstualno, a tabelarno (tabele 100 - 111) su prikazani u prilogu 2. Za potvrđivanje dobijenih rezultata potrebna su dalja istraživanja sa većim brojem uzoraka unutar odabranih vrsta biljaka.

Tabela 85: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina praha (%), gline (%), aktivne kiselosti (pH_{H2O}), hidrolitičke kiselosti (H, u cmol/kg) uzorkovanih biljnih vrsta

Vrsta	Prah X _{sr}	Prah X _{Bc(inv)}	Glina X _{sr}	Glina X _{Bc(inv)}	pH _{H2O} X _{sr}	pH _{H2O} X _{Bc(inv)}	H X _{sr}	H X _{Bc(inv)}
<i>Linaria genistifolia</i>	1,22 ± 0,65	0,96	1,43 ± 0,34	1,40	7,28 ± 0,20	7,28	0,92 ± 0,16	0,91
<i>Epilobium dodonaei</i>	1,15 ± 0,53	1,05	1,41 ± 0,48	1,34	6,65 ± 1,02	6,68	2,08 ± 1,75	1,52
<i>Chenopodium botrys</i>	1,13 ± 0,93	0,91	1,19 ± 0,71	1,07	7,23 ± 1,27	7,24	1,07 ± 0,83	0,89
<i>Calamagrostis epigejos</i>	0,96 ± 0,54	0,86	1,39 ± 0,43	1,31	4,81 ± 1,50	4,87	12,9 ± 10,6	6,68
<i>Centaurea arenaria</i>	2,06 ± 1,26	1,77	2,28 ± 1,33	2,04	8,01 ± 0,37	8,01	0,24 ± 0,13	0,22
<i>Sanguisorba minor</i>	1,85 ± 0,50	1,79	2,16 ± 0,67	2,05	7,95 ± 0,29	7,95	0,35 ± 0,18	0,31
<i>Agrostis stolonifera</i>	1,15 ± 0,46	1,08	1,49 ± 0,69	1,33	4,04 ± 0,57	4,05	11,7 ± 6,47	10,04
<i>Festuca valesiaca</i>	3,07 ± 2,90	2,29	3,27 ± 2,76	2,59	7,72 ± 0,57	7,72	0,69 ± 0,41	0,56
<i>Rumex acetosella</i>	1,20 ± 0,36	1,15	1,18 ± 0,39	1,14	4,04 ± 0,66	4,05	23,8 ±	23,04

							7,22	
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	2,20 ± 1,47	1,89	2,25 ± 0,68	2,19	6,59 ± 1,62	6,63	2,39 ± 3,69	0,70

Post-hoc testiranjem uočene su statistički značajne razlike između varijansi pojedinih vrsta, pri čemu se prema sadržaju praha i gline u deposolu rizosfere naročito izdvajaju vrste *Festuca valesiaca* (značajno različita prema parametrima sadržaja praha i gline u deposolu u odnosu na većinu ostalih samoniklih vrsta) i *Sanguisorba minor*. Vrste *Dorycnium pentaphyllum* i *Centaurea arenaria* ne pokazuju značajne razlike u odnosu na ostale uzorkovane vrste i čine zasebnu međugrupu, dok se preostale vrste odlikuju nižim sadržajima praha i gline u deposolu iz sloja njihove rizosfere.

U pogledu pH vrednosti (aktivne i potencijalne) deposola u sloju rizosfere uočene su statistički značajne razlike između uzorkovanih vrsta biljaka. U tom smislu post-hoc testiranjem izdvaja se naročito zasebna grupa vrsta čiji se deposoli svrstavaju u grupu jako do veoma jako kiselih – *Agrostis stolonifera*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos*.

Tabela 86: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina oksido-redukcionog potencijala (Eh, u mV), električne konduktivnosti (EC, u mS) i sume ekstrahovanih baza (S, meq/100 gr) deposola u zoni rizosfere uzorkovanih biljnih vrsta

Vrsta	Eh X_{sr}	Eh $X_{Bc(inv)}$	EC X_{sr}	EC $X_{Bc(inv)}$	S X_{sr}	S $X_{Bc(inv)}$
<i>Linaria genistifolia</i>	312 ± 39,7	311	0,34 ± 0,34	0,229	43, ± 28,9	38,5
<i>Epilobium dodonaei</i>	322 ± 42,6	320	0,33 ± 0,41	0,205	46,3 ± 27,9	41,2
<i>Chenopodium botrys</i>	320 ± 77,8	317	0,20 ± 187,8	0,142	37,4 ± 35,3	31,5
<i>Calamagrostis epigejos</i>	370 ± 39	369	0,84 ± 743,1	0,463	15,4 ± 15,5	10,3

<i>Centaurea arenaria</i>	263 ± 16	263	0,24 ± 99,98	0,222	84,9 ± 16,3	84,1
<i>Sanguisorba minor</i>	266 ± 19	266	0,23 ± 166,6	0,189	79,3 ± 17,4	78,4
<i>Agrostis stolonifera</i>	391 ± 14,8	391	0,98 ± 667	0,674	6,72 ± 8,02	3,6
<i>Festuca valesiaca</i>	287 ± 18,1	287	0,25 ± 132	0,224	55,3 ± 38,4	50,5
<i>Rumex acetosella</i>	412 ± 14,4	413	1,02 ± 288,6	0,982	4,77 ± 4,38	3,1
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	313 ± 80,4	309	0,75 ± 342	0,687	50,9 ± 40	44,6

Post-hoc testiranje u pogledu oksido-redukcionog potencijala deposola izdvaja grupu vrsta *Agrostis stolonifera*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos* koje se javljaju u uslovima nešto jače oksidacije, dok se ostale vrste razvijaju u blažim oksidacionim uslovima. Kada je u pitanju salinitet deposola, vrste *Agrostis stolonifera* i *Rumex acetosella* pokazuju jasno, statistički značajno odvajanje u odnosu na električnu konduktivnost u zoni rizosfere koja pokazuje postojanje procesa salinizacije, dok odmah za njima po visini ovog parametra sledi vrsta *Dorycnium pentaphyllum*. U pogledu ekstrahovane sume baza iz deposola borskih odlagališta, vrste *Agrostis stolonifera*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos* izdvajaju se statistički značajno prema njihovim minimalnim količinama u odnosu na ostale analizirane samonikle vrste.

Tabela 87: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina pristupačnog fosfora (P_2O_5 , u mg/100 gr), pristupačnog kalijuma (K_2O , u mg/100 gr) i ukupnog azota (N, u %) deposola u zoni rizosfere uzorkovanih biljnih vrsta

Vrsta	P_2O_5 X_{sr}	P_2O_5 $X_{Bc(inv)}$	K_2O X_{sr}	K_2O $X_{Bc(inv)}$	N X_{sr}	N $X_{Bc(inv)}$
<i>Linaria genistifolia</i>	9,01 ± 7,23	6,41	10,3 ± 2,90	10,09	0,03 ± 0,01	0,03
<i>Epilobium dodonaei</i>	8,16 ± 6,20	5,64	21,1 ± 9,14	19,62	0,04 ± 0,022	0,03

<i>Chenopodium botrys</i>	17,7 ± 10,3	16,57	9,78 ± 5,99	9,05	0,01 ± 0,004	0,01
<i>Calamagrostis epigejos</i>	2,98 ± 5,66	1,05	9,32 ± 3,06	8,85	0,02 ± 0,02	0,02
<i>Centaurea arenaria</i>	10,7 ± 10,6	7,10	17,1 ± 0,99	17,11	0,03 ± 0,015	0,02
<i>Sanguisorba minor</i>	13,6 ± 6,78	12,53	17,9 ± 4,67	17,57	0,03 ± 0,022	0,02
<i>Agrostis stolonifera</i>	1,92 ± 3,54	0,73	9,61 ± 2,96	9,21	0,01 ± 0,005	0,01
<i>Festuca valesiaca</i>	6,45 ± 3,78	5,69	19,6 ± 4,34	19,41	0,04 ± 0,013	0,04
<i>Rumex acetosella</i>	7,31 ± 8,38	3,25	6,07 ± 2,34	5,82	0,01 ± 0,006	0,01
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	3,86 ± 5,21	2,31	16 ± 0,51	16,03	0,02 ± 0,003	0,02

Vrste *Agrostis stolonifera* i *Calamagrostis epigejos* razvijaju se na deposolima u kojima je konstatovana količina pristupačnog fosfora značajno niža u odnosu na deposole iz rizosfere ostalih vrsta i koji se u tom pogledu smatraju veoma slabo obezbeđenim. U pogledu sadržaja pristupačnog kalijuma, post-hoc test pokazuje da se na deposolima borske otkrivke mogu uslovno izdvojiti dve osnovne grupe vrsta: *Agrostis stolonifera*, *Rumex acetosella*, *Calamagrostis epigejos*, *Chenopodium botrys* i *Linaria genistifolia* koje rastu na deposolima sa niskim do srednjim sadržajem pristupačnog kalijuma, i vrste *Epilobium dodonaei*, *Centaurea arenaria*, *Sanguisorba minor*, *Festuca valesiaca* i *Dorycnium pentaphyllum* koje rastu na deposolima sa visokim sadržajem pristupačnog kalijuma. Sadržaj ukupnog azota u deposolima na kojima se razvijaju vrste *Agrostis stolonifera*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos* ukazuje na ekstremno nisku snabdevenost ovim elementom i statistički je značajno različit u odnosu na onaj u kome se razvijaju vrste *Linaria genistifolia*, *Epilobium dodonaei* i *Festuca valesiaca*, a koji ukazuje na veoma nisku do nisku obezbeđenost.

Tabela 88: Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja organske materije (OM, u %), pristupačnog magnezijuma (Mg, u mg/kg) i pristupačnog kalcijuma (Ca, u mg/kg) deposola u zoni rizosfere uzorkovanih biljnih vrsta

Vrsta	OM X_{sr}	OM $X_{Bc(inv)}$	Mg X_{sr}	Mg $X_{Bc(inv)}$	Ca X_{sr}	Ca $X_{Bc(inv)}$
<i>Linaria genistifolia</i>	1,25 ± 0,85	0,86	200 ± 95,9	191	4672 ± 1661	4346
<i>Epilobium dodonaei</i>	2,11 ± 2,12	1,52	295 ± 143,4	277	6804 ± 575	5283
<i>Chenopodium botrys</i>	0,40 ± 0,55	0,17	130 ± 99,4	117	6054 ± 1203	5983
<i>Calamagrostis epigejos</i>	0,63 ± 1,15	0,19	94,4 ± 56,1	82	10244 ± 10002	6856
<i>Centaurea arenaria</i>	1,83 ± 1,11	1,59	301 ± 108	293	8268 ± 4953	6964
<i>Sanguisorba minor</i>	2,64 ± 2,47	1,94	208 ± 161	186	9538 ± 2490	9206
<i>Agrostis stolonifera</i>	1,40 ± 1,91	0,73	130 ± 129	101	9084 ± 6254	6567
<i>Festuca valesiaca</i>	1,77 ± 0,84	1,66	265 ± 145	244	8050 ± 5860	6609
<i>Rumex acetosella</i>	0,53 ± 0,25	0,50	136 ± 148	107	4907 ± 920	4838
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	2,38 ± 1,95	2,04	237 ± 83	231	8100 ± 4331	7322

Prema sadržaju organske materije u deposolima uzorkovanih vrsta post-hoc test izdvaja vrste *Calamagrostis epigejos* i *Chenopodium botrys*, koje se razvijaju na deposolima izuzetno siromašnim organskom materijom, kao značajno različite u odnosu na vrste *Epilobium dodonaei*, *Centaurea arenaria*, *Sanguisorba minor*, *Festuca valesiaca* i *Dorycnium pentaphyllum*, čiji se deposoli odlikuju nešto većim srednjim sadržajem organske materije, po kojem i dalje spadaju u kategoriju veoma slabo obezbeđenih. U odnosu na sadržaj pristupačnog magnezijuma izdvaja se vrsta *Calamagrostis epigejos*, koja se razvija na lokalitetima sa njegovom najmanjom

pristupačnom količinom, dok istovremeno pokazuju najveću konstatovanu količinu pristupačnog kalcijuma. Sa druge strane, vrsta *Rumex acetosella* konstatovana je na deposolima koji sadrže najmanje konstatovane količine pristupačnog kalcijuma u odnosu na sve istraživane površine.

5.4.4. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu i nadzemnom delu ispitivanih vrsta biljaka

Prosečne vrednosti koncentracije ispitivanih elemenata u korenu i nadzemnom delu biljaka, kao i vrste sa minimalnim i maksimalnim sadržajem ovih elemenata prikazane su u tabeli 89.

Tabela 89: Prikaz prosečnih sadržaja ispitivanih elemenata u biljkama ($X_{Bc(inv)}$ – inverzno transformisana Box-cox vrednost aritmetičke sredine), opseg vrednosti, vrsta sa minimalnim utvrđenim sadržajem elementa i vrsta sa maksimalnim utvrđenim sadržajem elementa u nadzemnom delu i korenu

Element	$X_{Bc(inv)}$	opseg vrednosti	vrsta sa minimalnim sadržajem	vrsta sa maksimalnim sadržajem
AS _{nad}	5,87	< 0,1 - 30	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	<i>Chenopodium botrys</i>
AS _{kor}	6,96	< 0,1 - 60,5	<i>Epilobium dodonaei</i>	<i>Festuca valesiaca</i>
Cr _{nad}	2,9	< 0,1 - 21,46	<i>Linaria genistifolia</i>	<i>Festuca valesiaca</i>
Cr _{kor}	4,31	0,27 - 50	<i>Chenopodium botrys</i>	<i>Agrostis stolonifera</i>
Cu _{nad}	61,7	18,8 - 199	<i>Linaria genistifolia</i>	<i>Rumex acetosella</i>
Cu _{kor}	155	31,8 - 1843	<i>Chenopodium botrys</i>	<i>Festuca valesiaca</i>
Pb _{nad}	1,61	< 0,3 - 16,4	<i>Linaria genistifolia</i>	<i>Rumex acetosella</i>
Pb _{kor}	4,57	< 0,3 - 60,7	<i>Chenopodium botrys</i>	<i>Festuca valesiaca</i>
Zn _{nad}	37,1	17,3 - 127	<i>Agrostis stolonifera</i>	<i>Chenopodium botrys</i>
Zn _{kor}	75,5	20,1 - 329	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	<i>Festuca valesiaca</i>

U pogledu sadržaja elemenata u korenu i nadzemnim delovima uzorkovanih biljaka, analiza varijanse pokazuje da postoje značajne statističke razlike u njihovom sadržaju između uzorkovanih vrsta (tabela 90).

Tabela 90: Vrednosti F-testa za analizu varijanse elemenata u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih vrsta biljaka, sa p-vrednostima (značajne vrednosti pri $p < 0,05$ označene su *)

Element	F	p
As _{nad}	4,338	*0,000
As _{kor}	5,957	*0,000
Cr _{nad}	7,693	*0,000
Cr _{kor}	9,277	*0,000
Cu _{nad}	9,132	*0,000
Cu _{kor}	8,267	*0,000
Pb _{nad}	5,662	*0,000
Pb _{kor}	6,441	*0,000
Zn _{nad}	11,455	*0,000
Zn _{kor}	8,211	*0,000

S obzirom na mali broj uzoraka u pojedinim grupama biljaka, koji je diktiran uslovima homogenosti litoloških grupa i vegetacijskih stadijuma na terenu i ujedno predstavlja i jedan od limitirajućih faktora ove studije, za dodatno potvrđivanje dobijenih rezultata neophodno je sprovesti istraživanja koja bi obuhvatila veći broj uzoraka unutar odabranih vrsta biljaka. Rezultati post-hoc testova opisani su tekstualno, a podaci i odovarajuće tabele (112 - 123) prikazani su u prilogu 3.

U tabeli 91 dat je prikaz aritmetičke sredine i inverzno transformisanih Box-Cox vrednosti aritmetičke sredine sadržaja arsena u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih vrsta biljaka.

Tabela 91: Aritmetička sredina sa standardnom devijacijom i inverzno transformisanie Box-Cox vrednosti aritmetičke sredine ($X_{Bc(inv)}$) sadržaja arsena u korenu i nadzemnom delu biljaka

Vrsta	$A_{S_{kor}}$	$A_{S_{korXBc(inv)}}$	$A_{S_{nad}}$	$A_{S_{nadXBc(inv)}}$
<i>Linaria genistifolia</i>	5,88 ± 2,60	5,44	7,67 ± 5,00	6,03
<i>Epilobium dodonaei</i>	3,69 ± 1,60	3,20	5,26 ± 2,58	4,94
<i>Chenopodium botrys</i>	15,7 ± 7,06	15	21,5 ± 12	20,5
<i>Calamagrostis epigejos</i>	7,03 ± 5,04	5,94	7,59 ± 5,48	6,28
<i>Centaurea arenaria</i>	12,7 ± 1,02	12,7	7,23 ± 2,03	7,10
<i>Sanguisorba minor</i>	8,70 ± 3,22	8,29	5,76 ± 1,47	5,67
<i>Agrostis stolonifera</i>	17,3 ± 11,3	14,1	4,79 ± 1,99	4,59
<i>Festuca valesiaca</i>	26,5 ± 29,4	18,8	6,49 ± 2,39	6,31
<i>Rumex acetosella</i>	9,02 ± 3,37	8,62	17,1 ± 3,80	16,9
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	4,70 ± 1,47	4,56	2,06 ± 1,73	1,52

Uvećan sadržaj arsena u korenu pokazuju vrste *Festuca valesiaca*, potom *Agrostis stolonifera* i *Centaurea arenaria*, dok se vrsta *Epilobium dodonaei* svojim niskim sadržajem arsena u korenu statistički značajno izdvaja od većine ostalih vrsta. Vrsta *Chenopodium botrys* pokazuje najveću prosečnu vrednost usvajanja arsena, pri čemu ga akumulira u većoj količini u nadzemnom delu. Vrste *Chenopodium botrys* i *Rumex acetosella* pokazuju statistički značajne razlike odnosno povećan sadržaj arsena u nadzemnom delu u odnosu na vrste *Linaria genistifolia*, *Epilobium dodonaei*, *Calamagrostis epigejos*, *Sanguisorba minor*, *Agrostis stolonifera* i *Dorycnium pentaphyllum*.

U tabeli 92 prikazane su vrednosti aritmetičkih sredina i vrednosti inverzno transformisanih Box-Cox aritmetičkih sredina sadržaja hroma u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih vrsta.

Tabela 92: Aritmetička sredina sa standardnom devijacijom i inverzno transformisanie Box-Cox vrednosti aritmetičke sredine ($X_{Bc(inv)}$) sadržaja hroma u korenu i nadzemnom delu biljaka

Vrsta	Cr_{kor}	$Cr_{korXBc(inv)}$	Cr_{nad}	$Cr_{nadXBc(inv)}$
<i>Linaria genistifolia</i>	2,61 ± 1,72	2,30	0,44 ± 0,37	0,36
<i>Epilobium dodonaei</i>	2,43 ± 4,1	1,21	3,30 ± 4,38	1,42
<i>Chenopodium botrys</i>	0,76 ± 0,69	0,60	12,7 ± 6,60	12
<i>Calamagrostis epigejos</i>	10,2 ± 8,72	6,62	7,74 ± 4,07	6,82
<i>Centaurea arenaria</i>	10,4 ± 4,88	9,59	1,13 ± 0,63	1,04
<i>Sanguisorba minor</i>	7,49 ± 5,28	5,82	2,95 ± 5,20	1,10
<i>Agrostis stolonifera</i>	20,3 ± 12,5	17,6	7,65 ± 2,47	7,15
<i>Festuca valesiaca</i>	16,6 ± 5,05	16,1	16,1 ± 5,35	15,7
<i>Rumex acetosella</i>	8,59 ± 10,7	4,72	7,52 ± 8,27	5,45
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	1,76 ± 1,27	1,52	0,68 ± 0,52	0,55

Vrsta *Festuca valesiaca* pokazuje najveću prosečnu vredost usvajanja hroma, sa približno istim iznosima akumulacije u korenu i u nadzemnom delu biljke. Sa druge strane, vrsta *Agrostis stolonifera* pokazuje tendenciju akumuliranja u korenu više nego u nadzemnom delu biljke, dok vrsta *Chenopodium botrys* akumulira ovaj element pretežno u nadzemnom delu, dok je količina hroma akumulirana u korenu ove vrste minimalna u odnosu na prosek usvajanja ostalih analiziranih vrsta. Vrste *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca* i *Centaurea arenaria* statistički značajno se razlikuju prema povišenom sadržaju hroma u korenu u odnosu na vrste *Linaria genistifolia*, *Epilobium dodonaei* i *Chenopodium botrys*, koje ga ovde skladište u manjoj meri. Prema sadržaju hroma u nadzemnim delovima statistički se jasno mogu izdvojiti dve grupe, od kojih se prva odlikuje većim vrednostima u tkivima kod vrsta *Festuca valesiaca* i *Chenopodium botrys*, a druga značajno nižim vrednostima koje poseduju vrste *Linaria genistifolia*, *Epilobium dodonaei*, *Sanguisorba minor* i *Dorycnium pentaphyllum*.

Tabela 93 prikazuje vrednosti aritmetičke sredine i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja bakra u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih vrsta.

Tabela 93: Aritmetička sredina sa standardnom devijacijom i inverzno transformisanie Box-Cox vrednosti aritmetičke sredine ($X_{Bc(inv)}$) sadržaja bakra u korenu i nadzemnom delu biljaka

Vrsta	Cu_{kor}	$Cu_{korXBc(inv)}$	Cu_{nad}	$Cu_{nadXBc(inv)}$
<i>Linaria genistifolia</i>	69,2 ± 24,3	64	26,7 ± 8,4	25,6
<i>Epilobium dodonaei</i>	172 ± 87,9	150	64,5 ± 25,2	59,9
<i>Chenopodium botrys</i>	53,7 ± 25,2	50,1	131 ± 34,9	129
<i>Calamagrostis epigejos</i>	175 ± 109	146	89,9 ± 36,4	82,5
<i>Centaurea arenaria</i>	172 ± 45,9	168	69,6 ± 26,8	66,1
<i>Sanguisorba minor</i>	121 ± 42,2	114	48,8 ± 4,9	48,6
<i>Agrostis stolonifera</i>	289 ± 124	260	57,5 ± 19,7	54
<i>Festuca valesiaca</i>	1106 ± 638	985	134 ± 52	126
<i>Rumex acetosella</i>	259 ± 187	197	151 ± 50	144
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	110 ± 51,7	101	36,8 ± 7,5	36,2

Izuzev vrste *Chenopodium botrys*, ostale uzorkovane vrste biljaka pokazuju veće nakupljanje bakra u korenu nego u nadzemnom delu. Najveći konstatovani prosečni sadržaj bakra u korenu pokazuje vrsta *Festuca valesiaca*, potom slede vrste *Agrostis stolonifera* i *Rumex acetosella*. Vrsta *Festuca valesiaca* odlikuje se statistički značajnom razlikom u sadržaju bakra u korenu u odnosu na sve ostale vrste, dok se *Linaria genistifolia* i *Chenopodium botrys* izdvajaju kao grupa sa najnižim sadržajem bakra u korenu. Po pitanju sadržaja bakra u nadzemnom delu vrsta, postoje statistički značajne razlike između vrsta *Rumex acetosella*, *Chenopodium botrys* i *Festuca valesiaca*, koje ga ovde nagomilavaju u većoj meri, i vrsta *Dorycnium pentaphyllum* i *Linaria genistifolia*, koje se odlikuju najnižim konstatovanim vrednostima ovog elementa u nadzemnom delu.

U tabeli 94 dat je prikaz aritmetičkih sredina i inverzno transformisanih Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja olova u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih vrsta biljaka.

Tabela 94: Aritmetička sredina sa standardnom devijacijom i inverzno transformisanie Box-Cox vrednosti aritmetičke sredine ($X_{Bc(inv)}$) sadržaja olova u korenu i nadzemnom delu biljaka

Vrsta	Pb _{kor}	Pb _{korXBc(inv)}	Pb _{nad}	Pb _{nadXBc(inv)}
<i>Linaria genistifolia</i>	1,05 ± 1,37	0,68	0,30 ± 0,00	0,30
<i>Epilobium dodonaei</i>	4,87 ± 4,99	3,29	2,08 ± 2,50	1,06
<i>Chenopodium botrys</i>	0,30 ± 0,00	0,30	2,95 ± 1,00	2,87
<i>Calamagrostis epigejos</i>	8,04 ± 8,39	5,23	7,41 ± 5,27	5,69
<i>Centaurea arenaria</i>	9,43 ± 2,88	9,15	2,25 ± 2,20	1,41
<i>Sanguisorba minor</i>	5,32 ± 5,28	3,53	1,58 ± 1,10	1,21
<i>Agrostis stolonifera</i>	13,45 ± 8,64	11,11	2,42 ± 2,31	1,41
<i>Festuca valesiaca</i>	40,9 ± 20	37,8	5,55 ± 2,40	5,15
<i>Rumex acetosella</i>	7,18 ± 8,15	3,54	9,60 ± 5,51	8,41
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	3,06 ± 2,61	1,99	0,53 ± 0,41	0,45

Najviši sadržaj usvojenog olova u korenu pokazuje vrsta *Festuca valesiaca*, a potom i vrste *Agrostis stolonifera* i *Centaurea arenaria*. Vrsta *Festuca valesiaca* pokazuje statistički značajnu razliku prosečnog sadržaja olova u korenu u odnosu na sve ostale ispitivane vrste. Sa druge strane, vrsta *Chenopodium botrys* pokazuje značajne razlike u odnosu na većinu drugih vrsta, u odnosu na koje je odlikuje najmanji sadržaj olova u korenu. Vrste *Chenopodium botrys* i *Rumex acetosella* na ovom području pokazuju tendenciju nakupljanja olova u svojim nadzemnim delovima. Pri tome vrsta *Rumex acetosella* pokazuje statistički značajne razlike u sadržaju ovog elementa u odnosu na većinu uzorkovanih vrsta.

U tabeli 95 prikazane su vrednosti aritmetičkih sredina i inverzno transformisanih Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja cinka u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih vrsta.

Tabela 95: Aritmetička sredina sa standardnom devijacijom i inverzno transformisanie Box-Cox vrednosti aritmetičke sredine ($X_{Bc(inv)}$) sadržaja cinka u korenu i nadzemnom delu biljaka

Vrsta	Zn _{kor}	Zn _{kor} X _{Bc(inv)}	Zn _{nad}	Zn _{nad} X _{Bc(inv)}
<i>Linaria genistifolia</i>	64,3 ± 18,2	61,2	39,4 ± 12,9	36,8
<i>Epilobium dodonaei</i>	75,8 ± 25,2	70,4	60,1 ± 20,4	54,3
<i>Chenopodium botrys</i>	40,9 ± 29,3	34,4	121 ± 7,9	121
<i>Calamagrostis epigejos</i>	155 ± 85,2	137	38,6 ± 12,4	35,8
<i>Centaurea arenaria</i>	48,7 ± 6	48,3	25,8 ± 7,6	24,7
<i>Sanguisorba minor</i>	59,6 ± 9,7	58,9	26,3 ± 2	26,3
<i>Agrostis stolonifera</i>	96,8 ± 47,2	85,3	24,4 ± 5,1	23,7
<i>Festuca valesiaca</i>	212 ± 21,1	211	65,7 ± 32,2	58,2
<i>Rumex acetosella</i>	61 ± 14,4	59,6	66,4 ± 19,6	63,6
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	33,8 ± 8,4	32,9	27,3 ± 3,6	27

Među uzorkovanim vrstama postoji tendencija nagomilavanja ovog elementa u korenu. Vrste *Festuca valesiaca* i *Calamagrostis epigejos* pokazuju najviši sadržaj usvojenog cinka u korenu, po čemu se i statistički značajno razlikuju u odnosu na sve ostale uzorkovane vrste. Vrsta *Chenopodium botrys* pokazuje povišen sadržaj cinka u svom nadzemnom delu. Grupa vrsta *Chenopodium botrys*, *Rumex acetosella* i *Festuca valesiaca* značajno se prema sadržaju cinka u nadzemnim delovima razlikuje od vrsta *Dorycnium pentaphyllum*, *Sanguisorba minor*, *Centaurea arenaria* i *Agrostis stolonifera*.

Tabela 96 prikazuje vrednosti aritmetičke sredine i inverzno transformisane Box-Cox vrednosti aritmetičkih sredina sadržaja sumpora u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih vrsta.

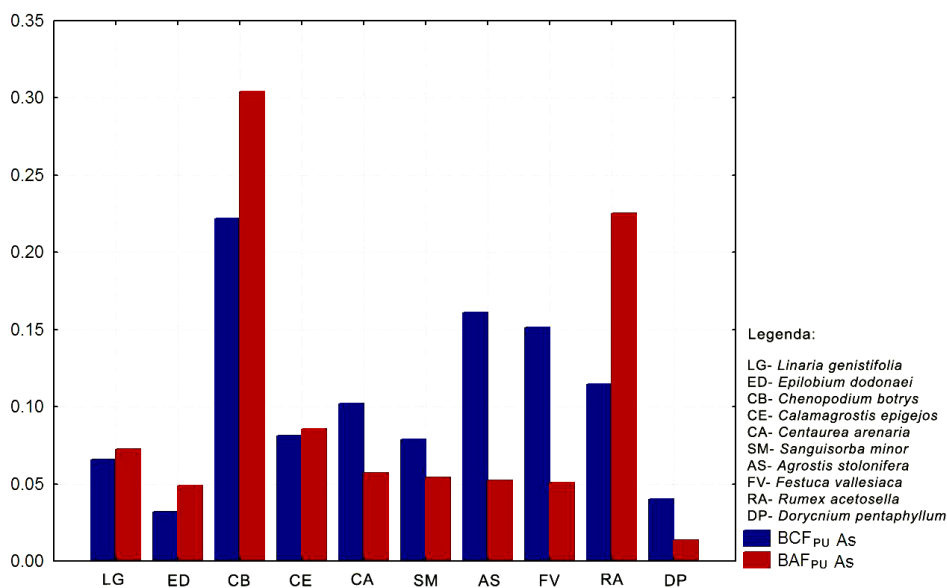
Tabela 96: Aritmetička sredina sa standardnom devijacijom i inverzno transformisanie Box-Cox vrednosti aritmetičke sredine ($x_{Bc(inv)}$) sadržaja sumpora u korenu i nadzemnom delu biljaka

Vrsta	S_{kor}	$S_{korXBc(inv)}$	S_{nad}	$S_{nadXBc(inv)}$
<i>Linaria genistifolia</i>	1563 ± 449,45	1489	4816 ± 1248	4675
<i>Epilobium dodonaei</i>	1837 ± 565,35	1750	3294 ± 1045	3131
<i>Chenopodium botrys</i>	1883 ± 1027,71	1600	5405 ± 293	5400
<i>Calamagrostis epigejos</i>	1676 ± 385,86	1618	2134 ± 907	1972
<i>Centaurea arenaria</i>	3442 ± 1341,73	3172	3446 ± 1090	3280
<i>Sanguisorba minor</i>	1832 ± 392,31	1786	2964 ± 667	2900
<i>Agrostis stolonifera</i>	2218 ± 421,04	2168	2145 ± 463	2091
<i>Festuca valesiaca</i>	2034 ± 464,05	1988	2187 ± 1103	1991
<i>Rumex acetosella</i>	3020 ± 556,83	2971	5831 ± 3762	5082
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	2754 ± 203,56	2748	3405 ± 624	3359

Sve analizirane vrste pokazuju viši sadržaj sumpora u nadzemnom u odnosu na podzemni deo. Vrste *Chenopodium botrys* L., *Rumex acetosella* i *Linaria genistifolia* pokazuju najviše vrednosti sadržaja sumpora u svojim nadzemnim delovima, po čemu se značajno razlikuju u odnosu na vrste *Epilobium dodonaei*, *Sanguisorba minor*, *Agrostis stolonifera*, *Calamagrostis epigejos* i *Festuca valesiaca*. Vrste *Centaurea arenaria* i *Rumex acetosella* pokazuju visoke vrednosti sadržaja sumpora u podzemnom delu biljke, po čemu se takođe značajno razlikuju u odnosu na vrste *Epilobium dodonaei*, *Sanguisorba minor*, *Agrostis stolonifera*, *Calamagrostis epigejos* i *Festuca valesiaca*.

5.4.5. Faktori usvajanja hemijskih elemenata

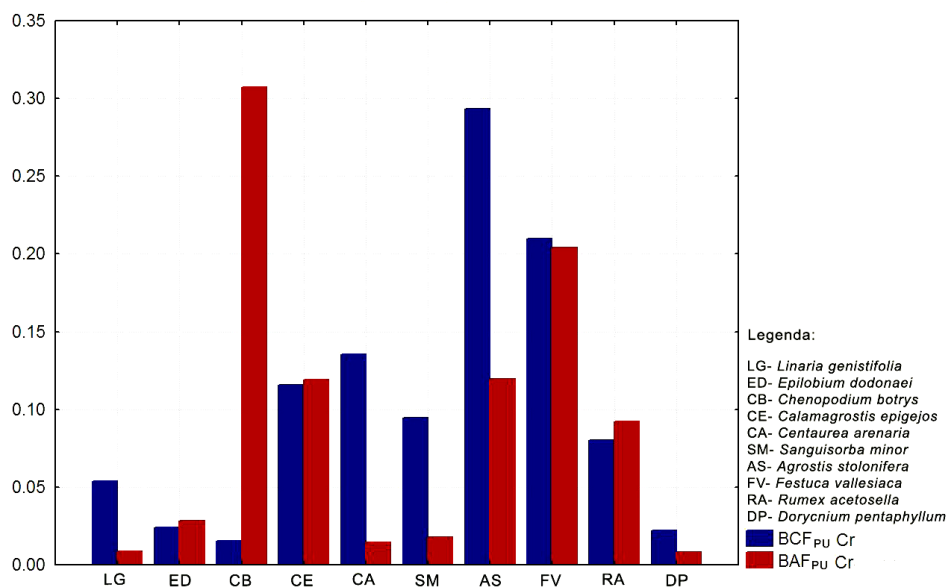
Biokoncentracioni (BCF) i bioakumulacioni faktori (BAF) za uzorkovane vrste biljaka u odnosu na pseudoukupne sadržaje analiziranih elemenata predstavljeni su graficima 3 - 7.



Slika 111: Biokoncentracioni (BCF_{PU}) i bioakumulacioni (BAF_{PU}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj pseudo-ukupnog arsena

Na slici 111 se uočavaju povišene vrednosti BCF_{PU} za arsen za vrste *Chenopodium botrys* (0,22), *Agrostis stolonifera* (0,16) i *Festuca valesiaca* (0,15), kao i povišene vrednosti BAC_{PU} za *Chenopodium botrys* (0,3) i *Rumex acetosella* (0,23). Uzorkovane vrste se razlikuju prema stepenu akumulacije ovog elementa u svojim delovima, pa ga tako vrste *Linaria genistifolia*, *Epilobium dodonaei*, *Chenopodium botrys*, *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* akumuliraju pretežno u svojim nadzemnim delovima, a preostale analizirane vrste pretežno u korenu.

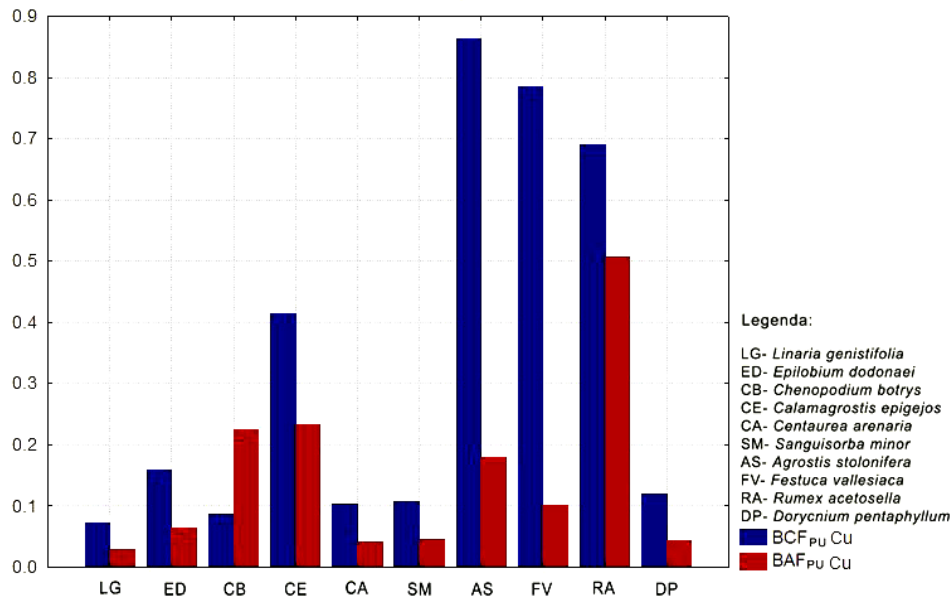
Iznos BCF_{PU} u odnosu na sadržaj ovog elementa kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,03 do 0,22, dok se BAF_{PU} kreće u rangu od 0,01 do 0,30.



Slika 112: Biokoncentracioni (BCF_{PU}) i bioakumulacioni (BAF_{PU}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj pseudo-ukupnog hroma

Vrste koje pokazuju povišene vrednosti BCF_{PU} za hrom su *Agrostis stolonifera* (0,29), *Festuca valesiaca* (0,21), *Centaurea arenaria* (0,14) i *Calamagrostis epigejos* (0,12), dok su vrste koje pokazuju povišene vrednosti BAF_{PU} za ovaj element *Chenopodium botrys* (0,31), *Festuca valesiaca* (0,20), *Calamagrostis epigejos* (0,12), *Agrostis stolonifera* (0,12), i *Rumex acetosella* (0,09). Vrste *Chenopodium botrys*, *Epilobium dodonaei*, *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* akumuliraju hrom pretežno u svojim nadzemnim organima, dok ga ostale analizirane vrste nakupljaju pretežno u korenu (slika 112).

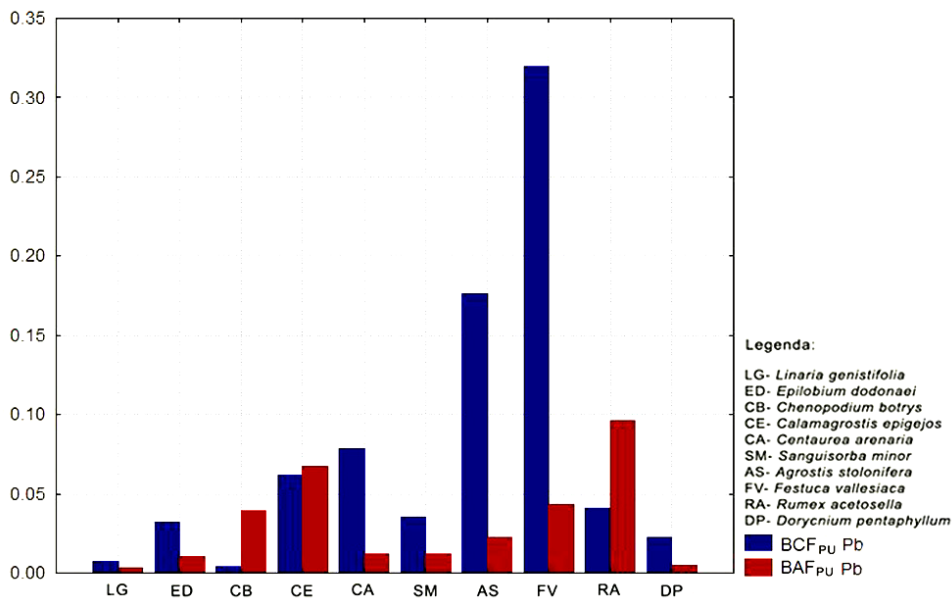
Iznos BCF_{PU} za pseudo-ukupni hrom kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,02 do 0,29, dok se BAF_{PU} kreće u intervalu od 0,01 do 0,31.



Slika 113: Biokoncentracioni (BCF_{PU}) i bioakumulacioni (BAF_{PU}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj pseudo-ukupnog bakra

Na slika 113 uočavaju se povišene vrednosti BCF_{PU} za bakar za vrste *Agrostis stolonifera* (0,86), *Festuca valesiaca* (0,78) i *Rumex acetosella* (0,69) i *Calamagrostis epigejos* (0,41), dok se uvećane vrednosti BAF_{PU} zapažaju kod vrsta *Rumex acetosella* (0,51), *Calamagrostis epigejos* (0,23), *Chenopodium botrys* (0,22) i *Agrostis stolonifera* (0,18). Analizirane vrste pokazuju tendenciju nagomilavanja bakra u svojim podzemnim delovima, izuzev vrste *Chenopodium botrys* koja ga pretežno skladišti u svojim nadzemnim delovima.

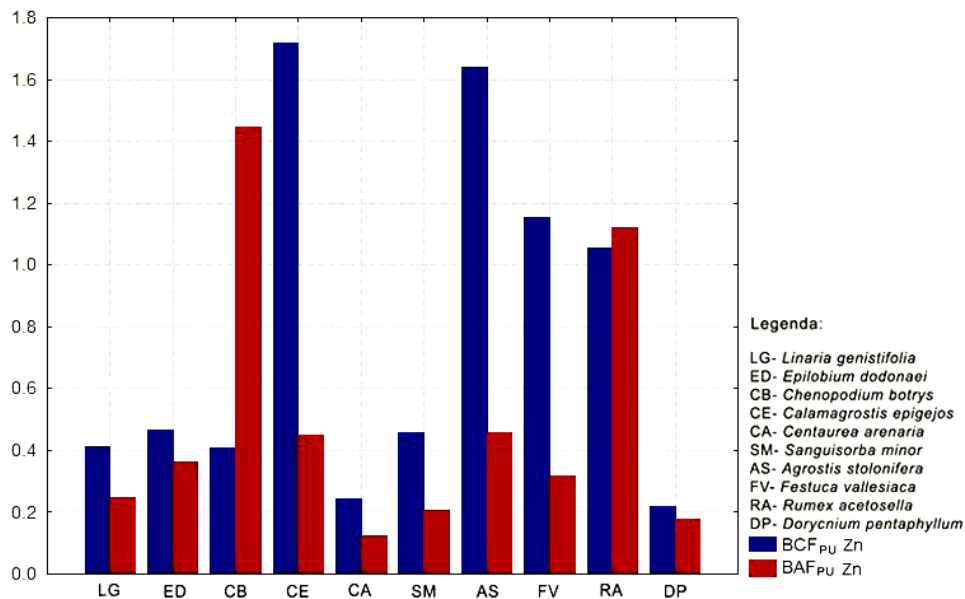
Iznos BCF_{PU} za sadržaj bakra kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,07 do 0,86, dok se BAF_{PU} kreće u intervalu od 0,03 do 0,51.



Slika 114: Biokonzentracioni (BCF_{PU}) i bioakumulacioni (BAF_{PU}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj pseudo-ukupnog olova

Povišene vrednosti BCF_{PU} za olovo pokazuju vrste *Festuca valesiaca* (0,32) i *Agrostis stolonifera* (0,18), dok povišene vrednosti BAF_{PU} pokazuju vrste *Rumex acetosella* (0,10) i *Calamagrostis epigejos* (0,07). Među analiziranim vrstama *Calamagrostis epigejos*, *Chenopodium botrys* i *Rumex acetosella* pokazuju tendenciju nagomilanja olova u nadzemnim delovima, dok je kod svih ostalih vrsta to slučaj sa podzemnim delom biljke (slika 114).

Iznos BCF_{PU} za sadržaj olova kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,004 do 0,32, dok se BAF_{PU} kreće u intervalu od 0,3 do 0,10.

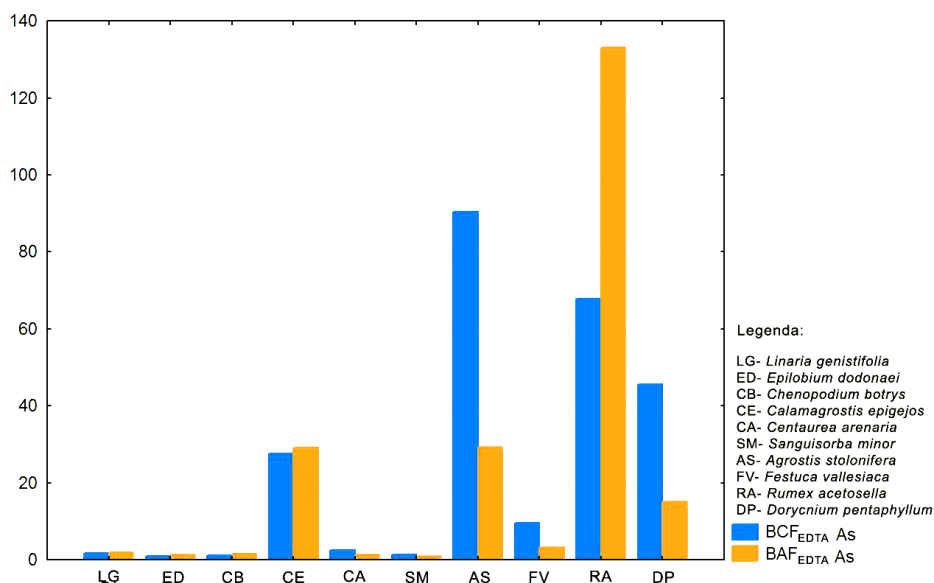


Slika 115: Biokonzentracioni (BCF_{PU}) i bioakumulacioni (BAF_{PU}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj pseudo-ukupnog cinka

Na prikazanoj slici 115 uočavaju se povećane vrednosti BCF_{PU} za cink za vrste *Calamagrostis epigejos* (1,72), *Agrostis stolonifera* (1,64), *Festuca valesiaca* (1,15) i *Rumex acetosella* (1,05), dok su povišene vrednosti BAF_{PU} konstatovane kod vrsta *Chenopodium botrys* (1,44) i *Rumex acetosella* (1,12). Među analiziranim vrstama jedino poslednje dve pokazuju tendenciju nagomilavanja cinka u svojim nadzemnim delovima, pri čemu je ona u većoj meri izražena kod vrste *Chenopodium botrys*.

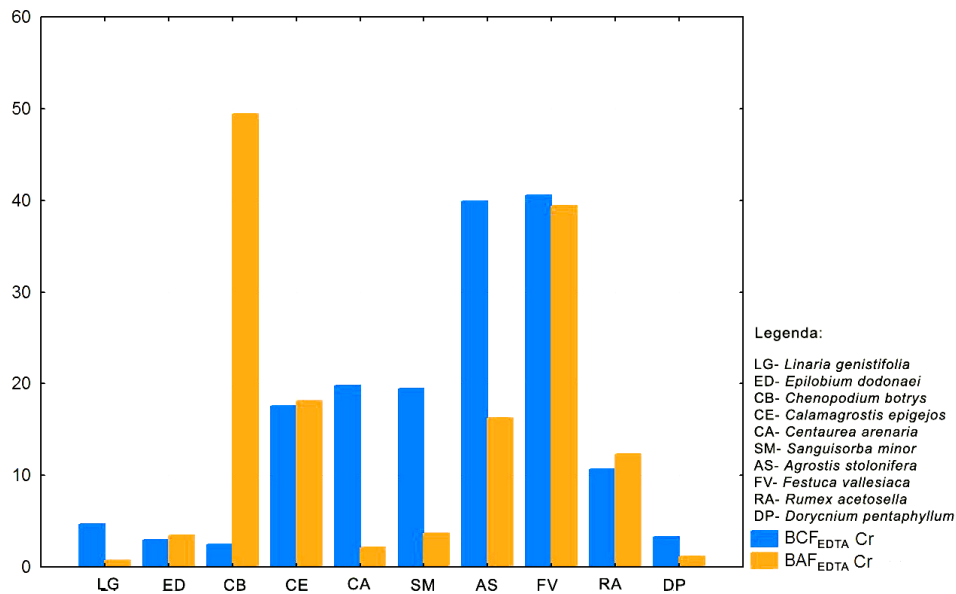
Iznos BCF_{PU} za sadržaj cinka kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,22 do 1,72, dok se BAF_{PU} kreće u intervalu od 0,12 do 1,44.

Biokonzentracioni i bioakumulacioni faktori za uzorkovane vrste biljaka u odnosu na EDTA-pristupačne sadržaje analiziranih elemenata predstavljeni su graficima 8 - 12.



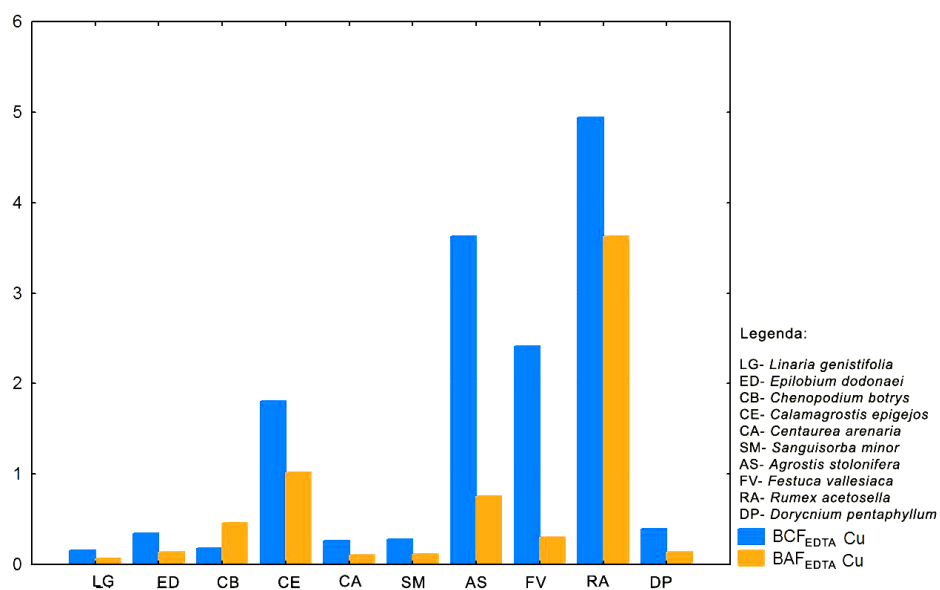
Slika 116: Biokonzentracioni (BCF_{EDTA}) i bioakumulacioni (BAF_{EDTA}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnog arsena

Na slici 116 uočavaju se povećane vrednosti BCF_{EDTA} za arsen za vrste *Agrostis stolonifera* (90,38), *Rumex acetosella* (67,85), *Dorycnium pentaphyllum* (45,64) i *Calamagrostis epigejos* (27,53), kao i vrednosti BAF_{EDTA} kod vrsta *Rumex acetosella* (133,20), *Agrostis stolonifera* (29,37), *Calamagrostis epigejos* (29,13) i *Dorycnium pentaphyllum* (15,18). Pri tome je kod vrsta *Agrostis stolonifera* i *Dorycnium pentaphyllum* izražena tendencija nagomilavanja arsena u korenu a kod vrsta *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos* u nadzemnom delu biljke.



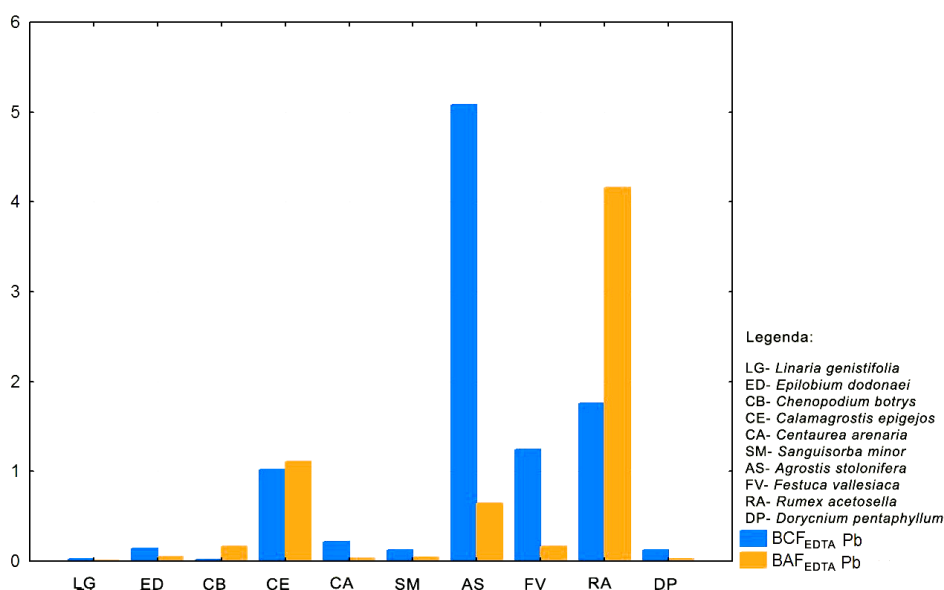
Slika 117: Biokonzentracioni (BCF_{EDTA}) i bioakumulacioni (BAF_{EDTA}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnog hroma

Na slici 117 uočavaju se povišene vrednosti BCF_{EDTA} za hrom za vrste *Festuca valesiaca* (40,56), *Agrostis stolonifera* (39,90), *Centaurea arenaria* (19,81), *Sanguisorba minor* (19,44), *Calamagrostis epigejos* (17,61) i *Rumex acetosella* (10,68), dok visoke vrednosti BAF_{EDTA} pokazuju vrste *Chenopodium botrys* (49,42), *Calamagrostis epigejos* (18,16), *Festuca valesiaca* (39,42), *Agrostis stolonifera* (16,23) i *Rumex acetosella* (12,33). Vrste *Chenopodium botrys*, *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* pokazuju veću sposobnost akumulacije pristupačnih oblika ovog elementa u nadzemnim organima nego u korenu.



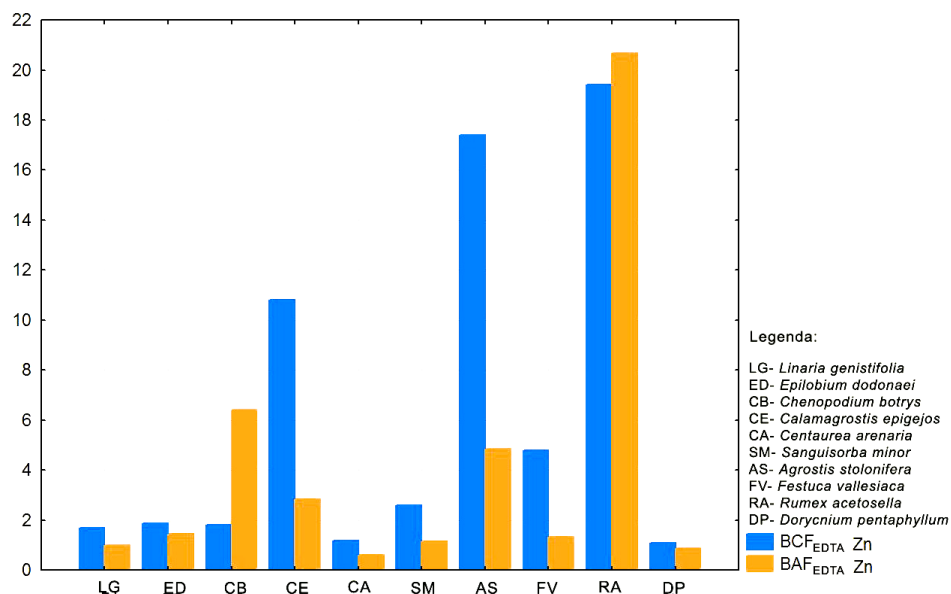
Slika 118: Biokonzentracioni (BCF_{EDTA}) i bioakumulacioni (BAF_{EDTA}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnog bakra

Na slici 118 uočava se povećan iznos BCF_{EDTA} za bakar za vrste *Rumex acetosella* (4,94), *Agrostis stolonifera* (3,63), *Festuca valesiaca* (2,41) i *Calamagrostis epigejos* (1,81). Povećan iznos BAF_{EDTA} pokazuju vrste *Rumex acetosella* (3,63), *Calamagrostis epigejos* (1,02) i *Agrostis stolonifera* (0,75). Sve analizirane vrste pokazuju veću sposobnost akumulacije bakra u korenu nego u nadzemnom delu biljke.



Slika 119: Biokoncentracioni (BCF_{EDTA}) i bioakumulacioni (BAF_{EDTA}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnog olova

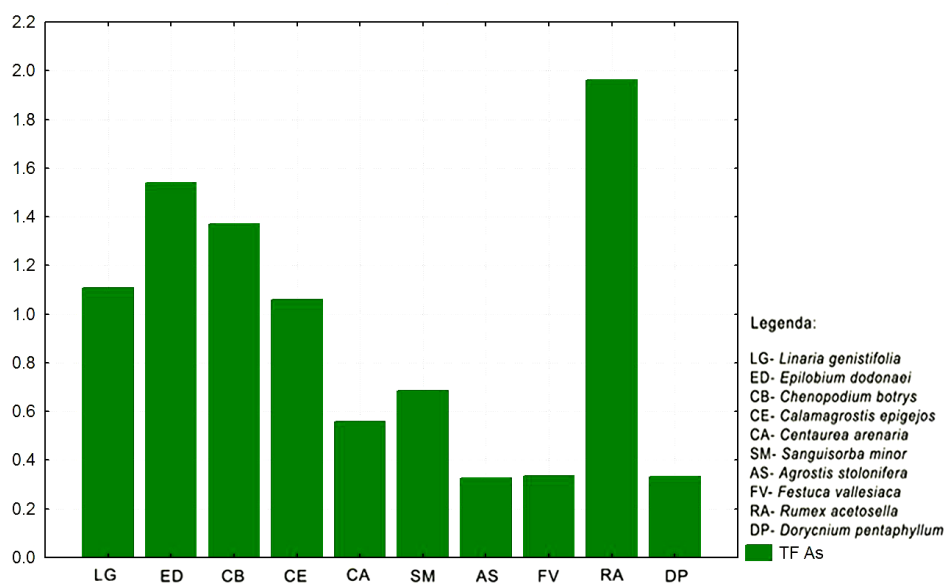
Slika 119 pokazuje da *Agrostis stolonifera* (5,08), *Rumex acetosella* (1,75), *Festuca valesiaca* (1,24) i *Calamagrostis epigejos* (1,02) pokazuju povećan BCF_{EDTA} za olovo u odnosu na ostale analizirane vrste. Povećan iznos BAF_{EDTA} pokazuju *Rumex acetosella* (4,16), *Calamagrostis epigejos* (1,11) i *Agrostis stolonifera* (0,64), pri čemu jedino *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* ispoljavaju sposobnost akumulacije olova u nadzemnim delovima u većoj meri nego u korenu.



Slika 120: Biokoncentracioni (BCF_{EDTA}) i bioakumulacioni (BAF_{EDTA}) faktori obogaćenja za uzorkovane vrste u odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnog cinka

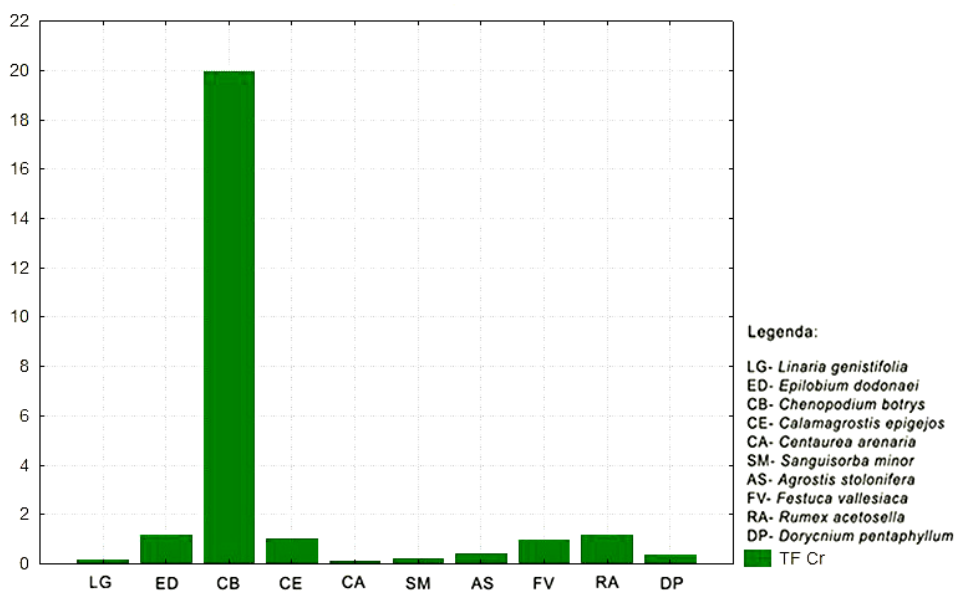
Na slici 120 uočava se povećan iznos BCF_{EDTA} kod vrsta *Rumex acetosella* L. (19,40), *Agrostis stolonifera* (17,40) i *Calamagrostis epigejos* (10,82), kao i uvećan iznos BAF_{EDTA} kod vrsta *Rumex acetosella* (20,68), *Chenopodium botrys* (6,43) i *Agrostis stolonifera* (4,84). Među analiziranim vrstama *Chenopodium botrys* i *Rumex acetosella* pokazuju tendenciju akumulacije cinka u svojim nadzemnim delovima.

Translokacioni faktori za uzorkovane vrste biljaka prikazani su slikama 121-125.



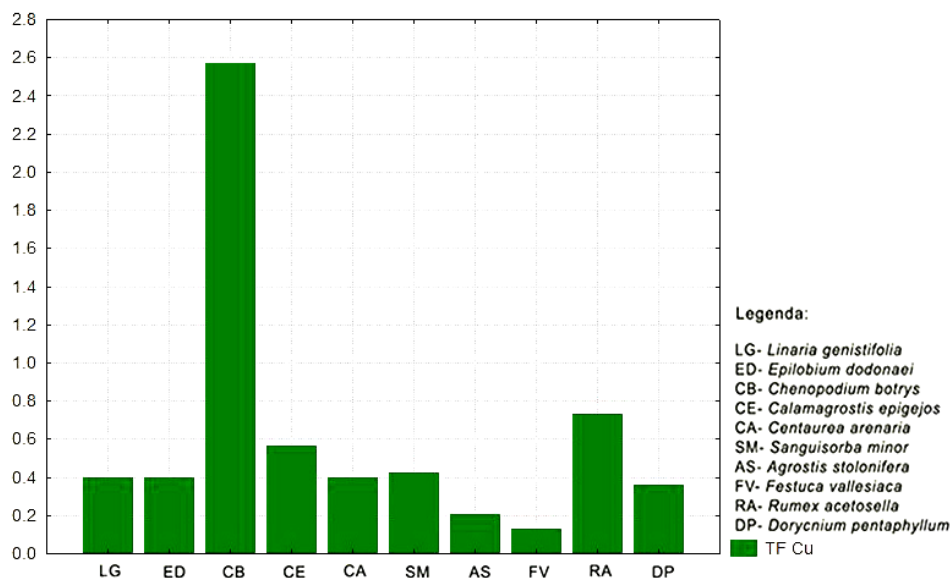
Slika 121: Translokacioni faktori (TF) uzorkovanih vrsta biljaka za arsen

Na slici 121 uočava se povišena vrednost TF za arsen (>1) kod vrsta *Rumex acetosella* (1,96), *Epilobium dodonaei* (1,54), *Chenopodium botrys* (1,37), *Linaria genistifolia* (1,11) i *Calamagrostis epigejos* (1,06). Ove vrste koncentrišu arsen u svom nadzemnom delu. Najniže vrednosti TF za arsen poseduju vrste *Agrostis stolonifera* (0,33), *Dorycnium pentaphyllum* (0,33) i *Festuca valesiaca* (0,34).



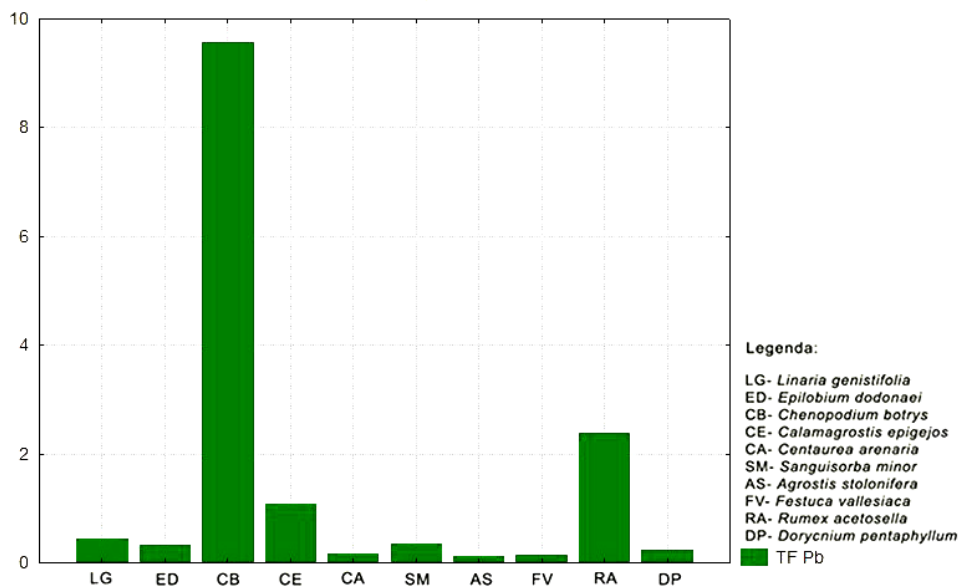
Slika 122: Translokacioni faktori (TF) uzorkovanih vrsta biljaka za hrom

Na slici 122 se zapaža povišena vrednost TF za hrom kod vrste *Chenopodium botrys* (19,92), dok su preostale vrste sa $TF > 1$ *Epilobium dodonaei* (1,17), *Rumex acetosella* (1,15) i *Calamagrostis epigejos* (1,03). Najniže vrednosti TF za hrom poseduju vrste *Centaurea arenaria* (0,11), *Linaria genistifolia* (0,16) i *Sanguisorba minor* (0,19).



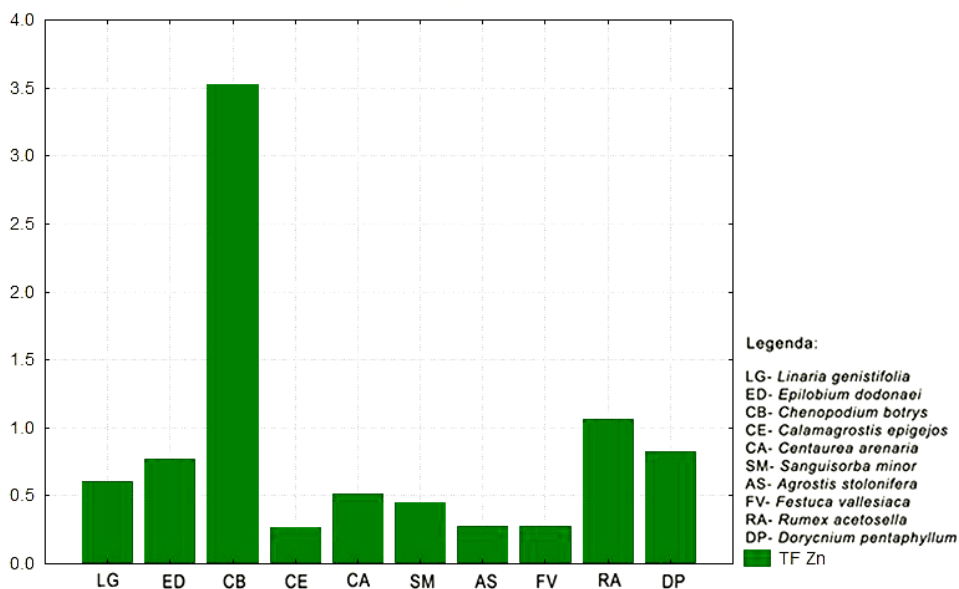
Slika 123: Translokacioni faktori (TF) uzorkovanih vrsta biljaka za bakar

Na slici 123 se zapaža vrednost $TF > 1$ za bakar kod vrste *Chenopodium botrys* (2,57), dok među ostalim uzorkovanim vrstama *Rumex acetosella* dostiže najviši iznos ovog faktora od 0,73. Najnižu vrednost TF za bakar poseduju vrste *Agrostis stolonifera* (0,21) i *Festuca valesiaca* (0,13).



Slika 124: Translokacioni faktori (TF) uzorkovanih vrsta biljaka za olovo

Na slici 124 se uočavaju vrednosti $TF > 1$ za olovo za vrste *Chenopodium botrys* (9,56), i *Rumex acetosella* (2,37) i *Calamagrostis epigejos* (1,09). Najniže vrednosti TF za olovo poseduju vrste *Agrostis stolonifera* (0,13), *Festuca valesiaca* (0,14) i *Centaurea arenaria* (0,15).



Slika 125: Translokacioni faktori (TF) uzorkovanih vrsta biljaka za cink

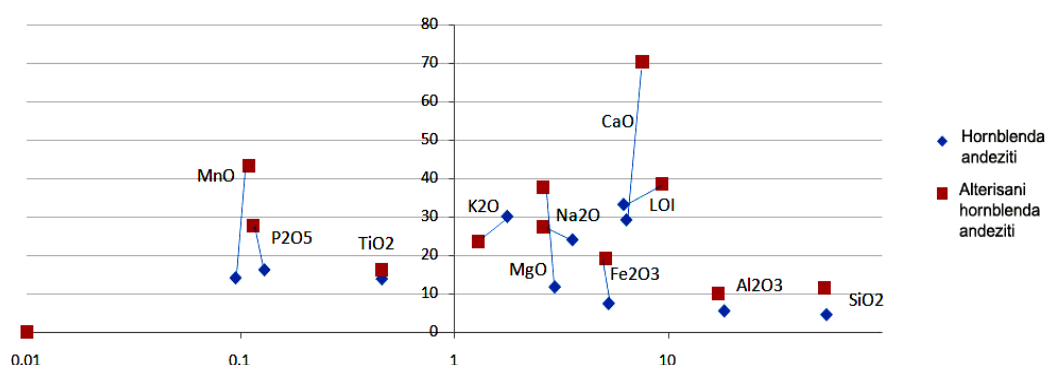
Na slici 125 se uočavaju vrednosti $TF > 1$ za cink kod vrsta *Chenopodium botrys* (3,52) i *Rumex acetosella* (1,07). Najniže vrednosti TF za cink imaju vrste *Calamagrostis epigejos* (0,26), *Agrostis stolonifera* (0,28) i *Festuca valesiaca* (0,28).

6. DISKUSIJA

6.1. Karakterizacija izdvojenih litoloških grupa

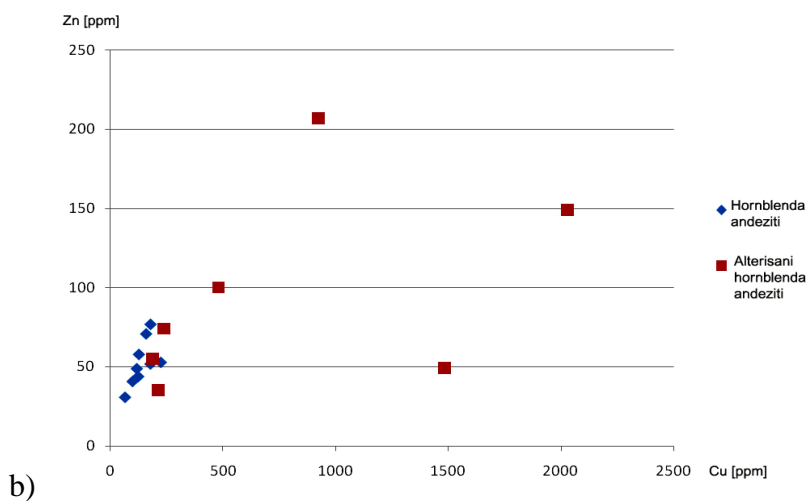
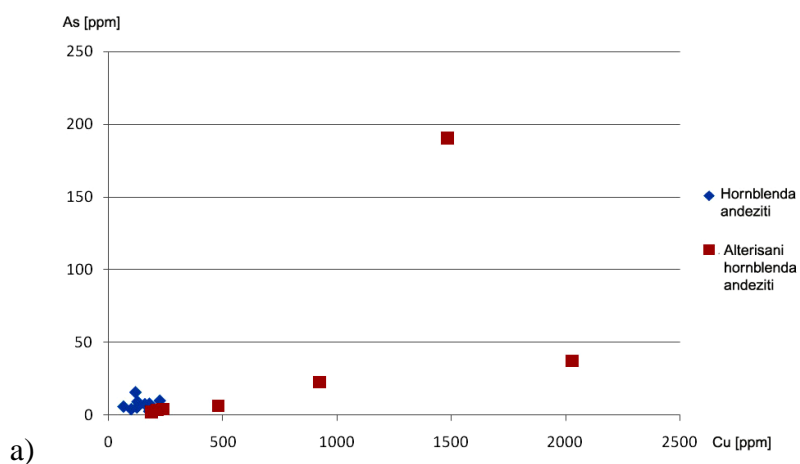
Petrološka i geohemijska karakterizacija uzoraka stenskog materijala sa odlagališta otkrivke u Boru ukazuje na postojanje pet zasebnih litoloških grupa na kojima se razvija samonikla vegetacija. U ovom odeljku prikazana je karakterizacija četiri od pet izdvojenih grupa. Uzorci nevezanih sedimenata metodološki su tretirani XRD analizom, i svojim mineraloškim i hemijskim sastavom pokazali su najveći stepen sličnosti sa litologijom hidrotermalno izmenjenih hornblenda andezita.

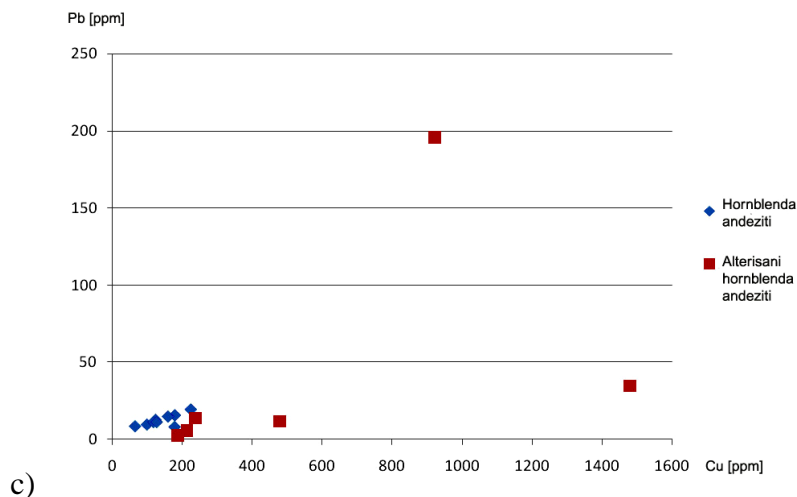
U prvom koraku karakterizacije izvršena je uporedna analiza sastava hornblenda andezita i alterisanih hornblenda andezita. U poređenju s primercima svežih hornblenda andezita, primerci alterisanih hornblenda andezita pokazuju izrazitiju heterogenost u pogledu sadržaja glavnih oksida. Na slici 126 prikazan je dijagram prosečnih vrednosti sadržaja glavnih oksida u odnosu na vrednosti standardne devijacije (%). Zapaža se da su vrednosti standardne devijacije za većinu oksida više u ispitivanim alterisanim, nego u svežim hornblenda andezitima. Prosečne vrednosti glavnih oksida pokazuju bitnija odstupanja u sadržajima CaO i gubitka žarenjem (LOI), čiji su sadržaji jasno povišeni u alterisanim andezitima, odnosno koncentracija K₂O i Na₂O, koje su u ovim stenama niže u odnosu na koncentracije u svežim hornblenda andezitima.



Slika 126: Dijagram prosečnih vrednosti sadržaja glavnih oksida svežih i alterisanih andezita u odnosu na vrednosti standardne devijacije (%)

Koncentracije i odnosi koncentracija nekompatibilnih elemenata u alterisanim i svežim hornblenda andezitima ne pokazuju bitne razlike. Upadljiva razlika, međutim, zapaža se kod apsolutnih koncentracija teških metala koji su asocirani s orudnjenjem bakra. Na slikama 127a, 127b i 127c, na kojima su prikazani dijagrami varijacija As, Zn i Pb prema koncentracijama bakra uočava se jasno odvajanje alterisanih hornblenda andezita. Alterisani hornblenda andeziti pokazuju jasno povišene i veoma varijabilne koncentracije navedenih elemenata.





Slika 127: Dijagrami varijacija arsena (a) cinka (b) i olova (c) prema sadržajima bakra u svežim i alterisanim andezitima Borskog odlagališta.

Faktorijalna analiza glavnih komponenti pokazala je izdvajanje dva osnovna faktora u odnosu na hemijski sastav stena iz grupa hornblenda andezita, dvostrukih litologija, borskih konglomerata i alterisanih hornblenda andezita (tabela 97).

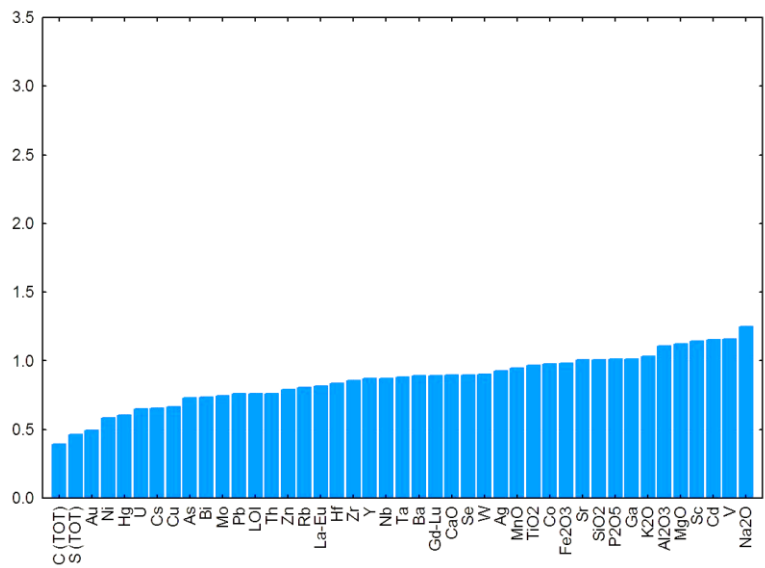
Tabela 97: Faktorijalna analiza hemijskih elemenata litoloških grupa sa odlagališta otkrivke u Boru (Comm. - komunalitet, Obj. var. – objašnjena varijabilnost, Prop. Tot. - ukupna proporcija, relativna težina svakog faktora u ukupnoj varijansi), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Hemijski element	Faktor 1	Faktor 2	Comm.
S _(TOT)	0,04	*0,67	45,4
Ag	-0,16	*0,78	63,3
As	0,16	*0,69	49,6
Au	-0,02	*0,75	57,0
Bi	-0,06	*0,75	56,3
Cd	-0,29	0,51	32,3
Cs	*0,67	0,22	50,0
Cu	0,20	*0,68	49,5
Hf	*0,93	-0,11	88,3

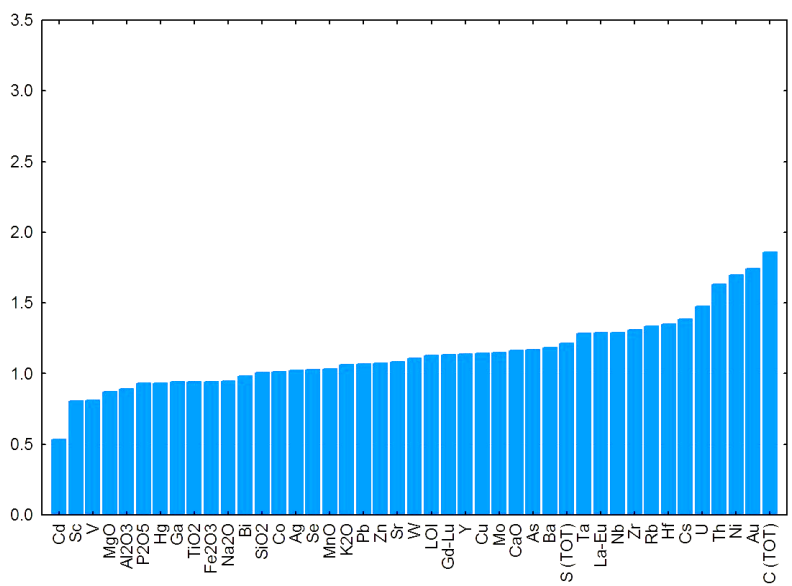
Hg	-0,03	*0,73	52,8
Mo	0,26	*0,71	57,1
Nb	*0,95	-0,01	90,8
Ni	*0,80	0,23	69,5
Pb	0,04	*0,68	45,9
Rb	*0,90	-0,01	81,1
Se	-0,06	*0,84	70,4
Th	*0,96	-0,00	92,6
U	*0,86	0,34	84,6
W	*0,72	*0,52	78,8
Y	*0,89	-0,20	83,1
Zr	*0,97	-0,10	95,3
La-Eu	*0,94	-0,06	88,7
Gd-Lu	*0,91	-0,18	86,0
Prp.totl	41,5	26,6	68,2
Obj. var.	9,56	6,13	

Na osnovu faktorijalne analize sadržaja hemijskih elemenata u stenskom materijalu sledi da prvi izdvojeni faktor utiče na 41,5% varijabilnosti podataka, a odnosi se uglavnom na elemente retnih zemalja i njemu značajno doprinose elementi Zr, Th, Nb, La-Eu, Hf, Gd-Lu, Rb, Y, U, Ni, W, Cs. Drugi faktor utiče na 26,65% varijabilnosti podataka, i odnosi se u većoj meri na elemente vezane za orudnjenja, pa njemu značajno doprinose elementi Se, Ag, Au, Bi, Hg, Mo, As, Pb, Cu, S_(TOT) i W.

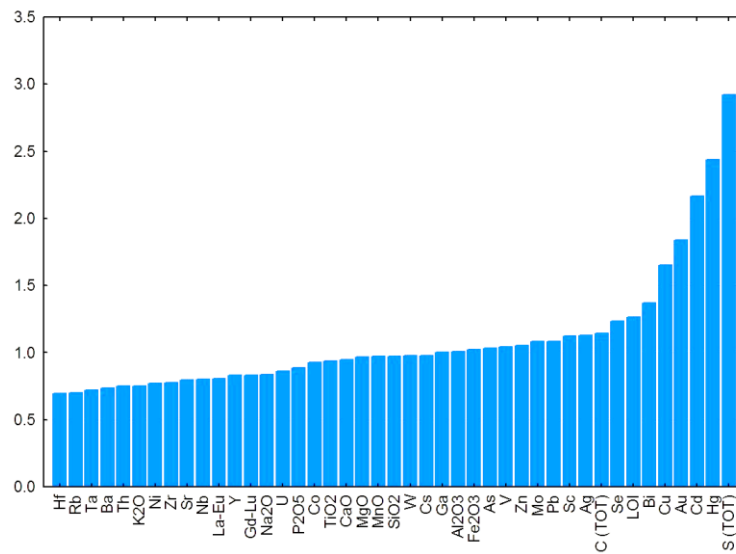
Na slikama 128 - 131 prikazani su faktori obogaćenja u odnosu na srednju vrednost sadržaja elemenata u četiri ispitivane litološke grupe. Na slici 112 uočavaju se povećani faktori obogaćenja za elemente Cu, Au, Cd, Hg, S_(TOT) kod alterisanih hornblenda andezita, a na slici 113 za elemente Rb, La-Eu, U i Th kod litološke grupe borskih konglomerata.



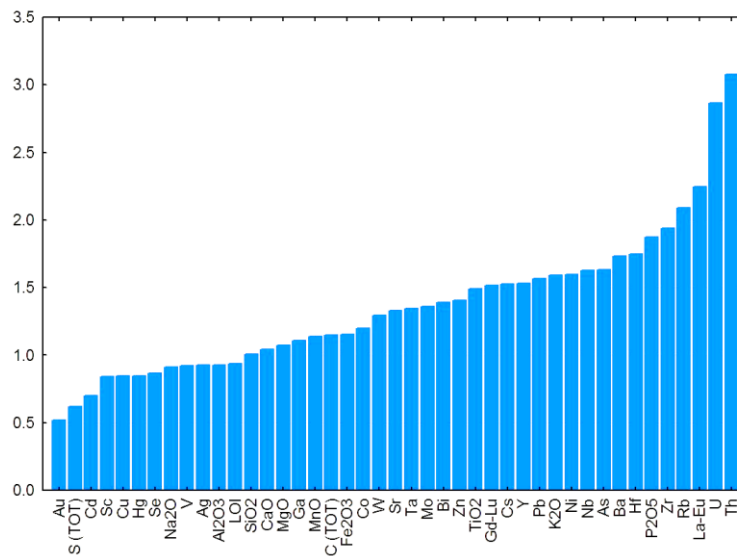
Slika 128: Faktori obogaćenja u odnosu na srednju vrednost sadržaja hemijskih elemenata za grupu hornblenda andezita



Slika 129: Faktori obogaćenja u odnosu na srednju vrednost sadržaja hemijskih elemenata za grupu dvostrukih litologija



Slika 130: Faktori obogaćenja u odnosu na srednju vrednost sadržaja hemijskih elemenata za grupu alterisanih hornblenda andezita



Slika 131: Faktori obogaćenja u odnosu na srednju vrednost sadržaja hemijskih elemenata za grupu borskih konglomerata

Izdvajanje zasebnih litoloških grupa na odlagalištu otkrivke u Boru, utvrđivanje faktora obogaćenja i međusobnih razlika u mineraloškom i hemijskom sastavu preliminarni je korak koji omogućava dalji uvid u sastav formiranih deposola, njihov potencijal za formiranje kiselih procednih voda obogaćenih metalima i metaloidima, kao i njihov potencijalni kapacitet za neutralizaciju ovih rastvora. U tom smislu, najveći

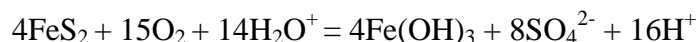
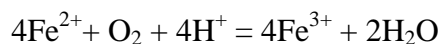
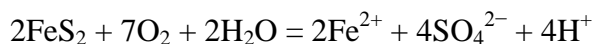
kapacitet za formiranje kiselih procednih rastvora pokazuju alterisani hornblenda andeziti (i njima u mineraloškom pogledu najsljedniji, nevezani sedimenti) koji se od ostalih litoloških grupa izdvajaju uvećanim sadržajem rudnih minerala i faktorima obogaćenja u odnosu na metale i metaloide karakteristične za rudnu paragenezu borske metalogenetske zone, a pre svega izvornog ležišta Tilva Roš.

6.2. Karakterizacija izdvojenih grupa deposola

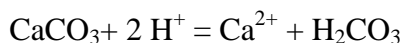
Matriks deposola borskog odlagališta sačinjen je u najvećoj meri od elemenata Si, Al, Ca, Fe, zatim Na, Mg i K, a potom i Ti, P i Mn (tabele 8,10,12,13,16). Od elemenata u tragovima koji vode poreklo iz stenskog materijala prema sadržaju u ppm (*parts per milion*) izdvajaju se Cu, Sr, Ba, V, a potom Zn, Zr, Ru i drugi (tabele 8,10,12,13,16). Elementi koji putem atmosferske depozicije iz emisija topioničkih pogona u neposrednoj blizini dodatno dospevaju u deposol borskog odlagališta i okolna područja su u prvom redu Cu, As, Cd i Pb (Nikolić i sar., 2011; Šajn i sar., 2014). U ispitivanim deposolima borskog odlagališta preovlađuje mineralna komponenta, u najvećoj meri sastavljena od silikata a potom i sulfidnih minerala, dok organska komponenta učestvuje sa svega oko 1% (tabela 38). Na specijaciju i mobilnost različitih elemenata unutar matriksa ispitivanih deposola zato presudno utiču kako njegov mineraloški sastav tako i kompleksni procesi koji se između njegovih komponenti odvijaju, poput rastvaranja, izluživanja, sorpcije, oksido-redukcije, kompleksacije i drugih.

Geohemijske pH-Eh uslove unutar odlagališta, kao i preovlađujuću formu i mobilnost asociranih metala i metaloida određuje u najvećoj meri ravnoteža između procesa oksidacije sulfidnih minerala i neutralizacije nastalih rastvora putem reakcije sa karbonatima i silikatima. Pirit se smatra najzastupljenijim sulfidnim mineralom u polimetaličnim rudnim ležištima i rudničkim deponijama (Bogdanović i sar., 2013), što je karakteristika i rudnih mineralizacija borskog područja. Zahvaljujući prisustvu vode vazduha, ali i povišenih temperatura i svetlosti na površinama ovakvih rudničkih odlagališta, dolazi do hemijskih i biohemijskih reakcija oksidacije pirita i drugih prisutnih sulfidnih minerala (Schoonen et al., 2000). Iako oksidacija pirita podrazumeva

i nastanak nekoliko metastabilnih sekundarnih produkata (Dold, 2005), osnovni mehanizam njegove oksidacije predstavljen je jednačinama:



U inicijalnom koraku oksidacije proizvodi se gvožđe (II)-jon koji u kasnijem procesu uz učešće mikroorganizama biva oksidovan do gvožđe (III)-jona. Proizvedeni gvožđe (III)-jon postaje u tom slučaju glavni oksidant za pirit i ostale sulfidne minerale. Oksidacija sulfidnih minerala prisutnih u borskom rudničkom otpadu (poput halkozina, kovelina, koluzita, bornita, enargita, halkopirita i drugih) po analognom mehanizmu dovodi do oslobađanja jona halkofilnih metala i metaloida u rastvor. Joni vodonika, nastali u ovim procesima oksidacije, snižavaju pH jalovinskog materijala proizvodeći lužene rastvore nazvane kiselim rudničkim vodama. Ovi rastvori sadrže mobilne jone gvožđa, bakra, olova, cinka, arsena, kadmijuma, nikla i drugih elemenata prethodno sadržanih u sulfidima, predstavljajući tako glavni izvor ugrožavanja životne sredine na i u okolini rudničkih jalovišta. Ovi kiseli rastvori mogu biti neutralisani baznim katjonima ukoliko su u jalovini prisutni karbonati i/ili silikati koji ih sadrže. Reakcije neutralizacije odvijaju se različitim brzinom, u zavisnosti od rastvoljivosti određene vrste minerala. Karbonatni minerali, poput kalcita, smatraju se visoko reaktivnim, a njegov mehanizam reakcije predstavljen je jednačinom:



Procesi neutralizacije odnosno pratećeg povećanja pH vrednosti dovode do povezivanja mobilnih elemenata sa OH-grupom, dalje precipitacije i prelaska u okside, hidrokside, sulfate i druga jedinjenja, sprečavajući na taj način njihovo dalje rasejavanje i kontaminaciju okruženja. Ukoliko se neutralizacijski kapacitet minerala u otkrivci

prevaziđe, dolazi do nastanka kontaminiranih kiselih rudničkih voda, koje predstavljaju rizik po kontaminaciju okolne životne sredine.

U nastavku ovog odeljka biće prodiskutovane osnovne fizičko-hemijske karakteristike deposola borskih odlagališta kao i sadržaj ispitivanih elemenata u njima. Takođe će biti razmatrani rezultati statističke obrade podataka i utvrđene asocijacije hemijskih elemenata i fizičko-hemijskih osobina analiziranih deposola.

6.2.1. Karakterizacija prema mehaničkom sastavu deposola

Deposole borskih odlagališta pod samoniklom vegetacijom, koji suštinski predstavljaju tek početne stadijume obrazovanja zemljišta, karakteriše generalno visok udeo primarnih minerala magmatskih stena i veoma nizak sadržaj frakcije gline (1,72-3,02 %), pa njihov utvrđeni teksturni sastav odgovara peskušama i ne pokazuje značajne razlike između deposola formiranih nad izdvojenim litološkim grupama.

Za razliku od njih, deposoli rekultivisanih delova borskih odlagališta kao posledicu razvoja vegetacije od nekoliko decenija poseduju povećan sadržaj gline u površinskim slojevima (13,5 – 38,4%) i spadaju u klasu peskovitih do peskovito-glinovitih ilovača (Randelović, 2010). Tekstura deposola, prema rezultatima Randelović i sar. (2014) predstavlja jedan od najuticajnijih edafskih faktora na području borskih odlagališta, i kao takva u vezi je sa kompozicijom životnih formi biljnih vrsta koje naseljavaju ovo područje. Ovi podaci sugerišu da se pri samoj karakterizaciji otkrivke i izboru odgovarajućih vrsta za remedijaciju borskih odlagališta ovoj fizičkoj karakteristici deposola, njenim inicijalnim osobinama ali i pravcu razvoja u toku vremena mora posvetiti odgovarajuća pažnja.

6.2.2. Karakterizacija prema hemijskim osobinama deposola

Smatra se da je pH vrednost deposola osobina direktno nasleđena iz matične stene to jest stenskog materijala otkrivke. Dominacija određenih tipova elemenata u stenama diktira potencijal tih stena da produkuju alkalne ili kisele materijale pri svom

razlaganju i rastvaranju. Odnos između količine minerala koji proizvode kiseline i minerala koji, usled mogućnosti da proizvode baze u stenama, imaju neutrališuće sposobnosti, snažno utiče na pH vrednost rastvora deponata i mogućnost njene promene. Osnovni generatori kiselina u rudničkom otpadu su: oksidacija gvožđevih sulfida (odgovorna za najveći deo proizvedene kiselosti), rastvaranje lakorastvornih sulfata gvožđa i slaborastvornih minerala serije alunit-jarosit (Stumm & Morgan, 1981). Najefektivniji neutralizatori su minerali koji sadrže kalcijum- i magnezijum-karbonat, i to u prvom redu kalcit, magnezit, dolomit i ankerit. Rastvaranje silikata poput plagioklasa i olivina takođe može doprineti neutralizaciji proizvedenih kiselina (Lapakko, 2002).

Reaktivnost minerala koji imaju kapacitet za neutralizaciju kiselina razlikuje se u zavisnosti od vrste prisutnog minerala. Najreaktivnijim se u tom smislu smatraju karbonati, a slabije reaktivnim silikati. Relativna reaktivnost minerala (na osnovu podataka Kwong, 1993 i Sverdrup, 1997) pri pH 5 pokazuje da su direktno rastvorni a samim tim i najreaktivniji karbonati poput kalcita, dolomita i magnezita. Sa druge strane, brzim procesima površinskog raspadanja podležu silikati poput anortita, dok srednju brzinu površinskog raspada imaju epidot, hornblenda, hlorit i biotit. Sporom procesu raspadanja podležu albit i kaolinit, dok se veoma sporo raspadaju kalijski feldspati i muskoviti.

Izmerene pH vrednosti (aktivna kiselost) deponata borskih odlagališta kreću se u širokom opsegu od 3,45 – 8,4, odnosno variraju od ekstremno kiselih do blago alkalnih. Najveći broj uzoraka (33%) ima pH vrednost (aktivnu kiselost) između 7 i 8, dok je nešto manji broj (23%) u opsegu pH vrednosti između 3 i 4. Ostale kategorije pH vrednosti zastupljene su manjim brojem uzoraka. Izdvojene grupe deponata pokazuju statistički značajne razlike prema vrednosti ovog parametra, pa tako deponata borskih konglomerata imaju najviše konstatovane pH vrednosti (8,24), dok deponata alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata imaju najniže konstatovane pH vrednosti zemljišnog rastvora (4,6 i 4,7). Raspon konstatovanih pH vrednosti ispitivanih deponata borskog odlagališta rezultat je u prvom redu prisustva sulfida i karbonata u izdvojenim litološkim gupama odnosno u njihovim deponatima. Prisustvo sumpora u deponatima izdvojenih litoloških grupa (tabela 51) posredno ukazuje na prisustvo sulfata i drugih reaktivnih sumpornih jedinjenja koja snižavaju pH vrednost zemljišnog rastvora.

Direktne geohemijske analize litološkog materijala iz zone rizosfere takođe ukazuju na prisustvo sumpora u pojedinim uzorcima (tabele 8,10,12 i 13).

Iako u ovom istraživanju nije vršeno direktno određivanje sadržaja karbonata u deposolima, može se posredno zaključiti da njihovo prisustvo u laporcima u vidu organogenog karbonata i peščarima sa delimično karbonatnim vezivom kao sastavnim delom dvostrukih litologija (slika 62, 63), kao i u pojedinim primercima konglomerata u vidu karbonatnog veziva koje spaja njihove klasti utiče na pH vrednost zemljišnog rastvora koja je viša u odnosu na pH vrednost deposola ostalih litoloških grupa. Pored toga, u svim litologijama u većoj ili manjoj meri zastupljeni su i silikati, čiji su procesi razlaganja i produkcije baznih katjona nešto sporiji u odnosu na produkciju kiselih jona koja se dešava pri oksidaciji sulfida, pa im je prema tome i neutralizacijski potencijal srazmerno manji. Sledi da litologije sa niskim prisustvom baznih katjona i karbonata, poput alterisanih andezita i nevezanog sedimenta, imaju daleko manji neutralizacijski potencijal koji vodi poreklo od prisutnih silikata, te su stoga i njihovi deposoli podložni jačem stepenu zakišeljavanja. Neutralizacijski potencijal deposola svežih hornblenda andezita takođe je sveden na silikatne minerale, ali oni, u odnosu na deposole alterisanih andezita i nevezanih sedimenata, sadrže manju količinu sulfidnih minerala i sporo raspadajućeg albita i kaolinita, pa im je i ukupni potencijal za produkciju kiselina unekoliko manji.

Prema vrednosti supstitucione kiselosti, gde izmerene vrednosti variraju u opsegu od 2,65-7,25, borski deposoli variraju od jako kiselih do praktično neutralnih. Pri tome najveću izmerenu vrednost supstitucione kiselosti pokazuju deposoli borskih konglomerata (6,77) i dvostrukih litologija (6,57), a najmanju deposoli aliterisanih hornblenda andezita (3,95) i nevezanih sedimenata (4,17). Utvrđene vrednosti hidrolitičke kiselosti deposola borskog odlagališta kreću se u opsegu od 0,17-30,98 cmol/kg. Najviši iznosi utvrđeni su kod deposola alterisanih horblenda andezita (8,96) i nevezanih sedimenata (5,16), a najmanji kod dvostrukih litologija (0,55) i borskih konglomerata (0,36).

Zemljišni rastvor poseduje izvesna puferska svojstva, čime se do određenog nivoa odupire nagloj promeni pH vrednosti sredine a time i promene u rastvorljivosti hranljivih materija ili koncentraciji drugih prisutnih elemenata. Veličina puferske sposobnosti deposola određena je osobinama njegovog adsorptivnog kompleksa.

Deposoli sa malim učešćem gline i niskim sadržajem organske materije po pravilu se odlikuju i nižim puferkim kapacitetom.

Kapacitet razmenjivih katjona odražava mogućnost deposola za razmenu jona. On najčešće zavisi od sadržaja gline, pH vrednosti, a potom i organske materije i njenog kvaliteta. U ovom istraživanju kapacitet izmenjivih katjona izražen je kao suma vrednosti hidrolitičke kiselosti i sume ekstrahovanih baznih katjona. U pogledu sadržaja izmenjivih katjona deposoli borskog odlagališta na kojima se razvija samonikla vegetacija pokazuju vrednosti u intervalu 8,5 – 101 meq/100 gr zemljišta. Poređenja radi, kapacitet razmene katjona u dubljim slojevima profila (13-50 cm) na rekultivisanim delovima borskog jalovišta (odlagališta i flotacijskog jalovišta) kretao se u rasponu od 48,3 – 60,2 meq/100 gr zemljišta kod bezkarbonatnih slojeva, i generalno opadao sa smanjenjem pH vrednosti rastvora deposola (Randelović, 2010). Najveću izračunatu vrednost kapaciteta razmenjivih katjona na području borskih odlagališta pokazuju deposoli dvostrukih litologija, što je prouzrokovano prisustvom rastvornih karbonata u gornjokrednim laporcima kao delu litološke grupe koja čini njihovu matičnu podlogu. Slede deposoli alterisanih andezita, koji sporadično mogu sadržati lako rastvorni kalcit, a potom hornblenda andeziti i nevezani sedimenti, kod kojih su bazni katjoni pretežno vezani u kristalnoj rešetki silikata. Odatle se osobađaju u rastvor iz koga mogu biti absorbovani od strane korena biljaka.

Rezultati vrednosti sume baza i kapaciteta izmenjivih katjona dobijenih upotrebom standardnih metoda po Kappenu pokazuju donekle uvećane vrednosti, karakteristične za supstrate sa većim učešćem gline, organske materije ili amorfnih minerala, kojima su, međutim, borski deposoli uglavnom siromašni. Dobijeni iznosi se mogu dovesti u vezu sa procesima koji se odvijaju u površinskim delovima rudničkih odlagališta sa sulfidnim opadom, a čiji geohemijski karakter još uvek nije u dovoljnoj meri proučen i razjašnjen (Dold, 2005). Oksidacione, površinske zone rudničkih odlagališta odlikuju se kompleksnim hemijskim reakcijama i prisustvom složenih mineralnih asocijacija (Valente i Gomez, 2009; Lottermoser, 2010), gde se određena količina katjona nalazi u prelaznim i slabo vezanim oblicima iz kojih može lako prelaziti u rastvor (Bartlett, 1992; Dold, 2003). Prisustvo rastvornih sulfida, u prvom redu gipsa (u površinskoj zoni nastao kao sekundarni mineral) i reaktivnih karbonata, produkuje dodatne bazne katjone koji ne spadaju u izmenjive i na taj način rezultira

povišenim iznosima ekstrahovanih suma baza odnosno pratećih količina izmenjivih katjona (Sikora et al., 2014). I pored ovoga, dobijeni rezultati jasno prate izdvajanje dve osnovne grupe deposola u odnosu na litološke grupe od kojih su nastali (alterisani hornblenda andeziti i nevezani sedimenti, naspram hornblenda andezita, dvostrukih litologija i borskih konglomerata, tabela 25), a koje je u skladu sa ostalim dobijenim rezultatima kao i sa stanišnim preferencama vrsta koje ih naseljavaju (tabela 77).

Prosečna Eh vrednost zemljišta kreće se u rasponu od -300 do +900 mV. Oksido-redukcioni potencijal deposola borskih odlagališta kreće se u intervalu od 249 do 426 mV, ukazujući na oksidacione uslove koji u njemu vladaju (prema Patrick i Mahapatra, 1968). Poređenja radi, za površinski sloj zemljišta (0-15 cm) razvijenog na andezit-bazaltu u blizini Borskog jezera, Jović (2000) konstatuje vrednost oksido-redukcionog potencijala od 412 mV. Dobijene vrednosti ukazuju da u površinskom sloju odlagališta otkrivke u Boru preovlađuju oksidacioni uslovi, koji sa svoje strane regulišu specijaciju i ponašanje hemijskih elemenata. Deposoli alterisanih hornblenda andezita i deposoli nevezanih sedimenta pri tome se nešto višim prosečnim iznosom oksido-redukcionog potencijala značajno razlikuju od deposola ostalih litologija (tabela 27).

Vrednosti električnog konduktiviteta ispitivanih deposola borskog odlagališta kreću se u rasponu od 0,06 - 2,31 mS. Za razliku od ostalih grupa, deposoli alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenta poseduju vrednosti električnog konduktiviteta koje ukazuju na postojanje procesa salinizacije (tabela 29). Na utvrđenu ukupnu koncentraciju soli utiču rastvorne soli sulfida (poput anhidrita i gipsa), nastale kao posledica razlaganja sulfida pod uticajem vlage u površinskom sloju ovih dveju grupa deposola.

6.2.2.1. Karakterizacija prema sadržaju makroelemenata i organske materije

Kalijum je jedan od osnovnih makroelemenata u zemljištu. Sadržaj kalijuma (K_2O) u površinskim slojevima zemljišta Evrope iznosi u proseku 2020 mg/100g (Salminen et al., 2005). Prosečni sadržaj K_2O u andezitima iznosi 1640 mg/100g odnosno 1,64% (Best, 2003), a u kontinentalnoj kori 1800 mg/100g odnosno 1,8%

(Rudnick & Gao, 2003). Količina ukupnog kalijuma (K_2O) konstatovanog u matičnim stenama od kojih su nastali depoziti borskog odlagališta iznosi 730 – 1560 mg/100 g za alterisane hornblenda andezite, 1050- 2480 mg/100g za hornblenda andezite, 1090 - 2220 mg/100g za dvostruke litologije i 2160– 3500 mg/100 g za borske konglomerate (tabele 8, 10, 12, 13). Na području borskog odlagališta kalijum (K_2O) je konstatovan u mineralima: kalijskom feldspatu (13,5 %), sericitu (7,69-10,1%), biotitu (7,84-9,17%), hloritu (1,39-3,51%), hornblendi (0,23-0,77%), plagioklasu (0,18-0,54%), kaolinitu (0,32-1,47%) i albitu (0,2%) (tabele 7, 9, 11 i 15). Od navedenih minerala površinskom raspadanju i pratećem oslobađanju kalijumovih jona podležu najpre biotit i hornblenda, kao i hlorit koji je inače formiran transformacijom biotita i hornblende, pa ove faze najverovatnije predstavljaju primarni izvor oslobođenog kalijuma u borskoj otkrivci. Izvor ovog elementa u površinskim slojevima depozita je, sa jedne strane, posledica raspadanja primarnih minerala i oslobađanja kalijuma iz njihove kristalne rešetke, a sa druge rezultat biološke akumulacije oslobađanjem kalijuma iz izumrlih biljnih ostataka. Oko 90-98% od ukupne količine kalijuma u zemljištu i mineralima koji ga čine nalazi se u biljkama nedostupnom obliku (Frank & Knudsen, 1974).

Količina pristupačnog kalijuma značajna je i zbog uticaja na otpornost biljaka ka oboljenjima i temperaturnim ekstremima, što je naročito važno za razvoj biljaka u nepovoljnim uslovima sredine koji generalno vladaju na rudničkim odlagalištima. Prosečan sadržaj izmenjivog kalijuma (K_2O) u prirodnim zemljištima kreće se u rangu od 10 - 20 mg/100 g zemljišta (Brady i Weil, 2008). Sadržaj lakopristupačnog kalijuma (K_2O) u depozitima borskog odlagališta (0-20 cm) na kojima se razvija samonikla vegetacija nalazi se u intervalu 2,65-36,9 mg/100 gr zemljišta, što ih svrstava u klasu srednje do visoko obezbeđenih ovim elementom. Pri tome, prosečni sadržaj kalijuma pokazuje visoke vrednosti u depozitima nad litološkim grupama borskih konglomerata (22,63 mg/100 gr), hornblenda andezita (14,9 mg/100 gr) i dvostrukih litologija (14,5 mg/100 gr), dok su depoziti nevezanih sedimenata (10,9 mg/100 gr) i alterisanih hornblenda andezita (8,99 mg/100 gr) srednje obezbeđeni pristupačnim kalijumom. Poređenja radi, sadržaj lakopristupačnog kalijuma (K_2O) u površinskim slojevima profila (0 - 13 cm) na rekultivisanim delovima borskog odlagališta kreće se u rasponu od 6,2 – 27,9 mg/100 gr zemljišta (Randelović, 2010).

Sadržaj fosfora (P_2O_5) u prirodnim zemljištima prema Troeh i Tompson-u (1993) iznosi 35-250 mg/100g, dok njegov sadržaj u površinskim slojevima zemljišta Evrope iznosi 116 mg/100 g zemljišta (Salminen et al., 2005). Prosečni sadržaj P_2O_5 u andezitima iznosi 210 mg/100g (odnosno 0.21%, po Beat-u, 2003). Količina ukupnog fosfora (P_2O_5) konstatovanog u matičnim stenama od kojih su nastali deposoli borskog odlagališta iznosi 80 – 1150 mg/100g) za dvostruke litologije, 220 - 270 mg/100 g za borske konglomerate, 100 – 170 mg/100g za hornblenda andezite i 70-170 mg/100 g za alterisane hornblenda andezite (tabele 8, 10, 12, 13). Osnovni izvori fosfora u primarnim mineralima litologija borskog odlagališta su minerali apatita (44,7 % P). Apatiti se smatraju relativno stabilnim mineralima koji sporo oslobađaju fosfor u neutralnoj sredini, dok sa smanjenjem pH vrednosti sredine njihova rastvorljivost raste (Smith et al., 1977; Brantley et al., 2008). Istraživanja su pokazala da su više biljke i njima simbiotske mikorizne gljive razvile različite mehanizme, poput produkcije organskih kiselina i izlučivanja vodonikovih jona iz korena odnosno hifa, koji im omogućavaju rastvaranje i iskorišćavanje fosfora iz ovih minerala (Moorby et al., 1988; Wallander, 2000; Arcand & Schneider, 2006). Deo pristupačnih oblika fosfora biva oslobođen i iz organske materije putem mineralizacije.

Na količinu pristupačnog fosfora u deposolima utiču osobine deponovanih materijala, u prvom redu pH vrednost koja posredno određuje i njegov oblik u zemljištu. Generalno, niže pH vrednosti u rizosferi pogoduju rastvaranju fosfornih jedinjenja i njihovom prevođenju u biljkama pristupačan oblik (Marschner, 1995, Schlesinger 1997). Sadržaj lakopristupačnog fosfora u deposolima borskog odlagališta (0-20 cm) na kojima se razvija samonikla vegetacija nalazi se u intervalu 0,05-25 mg/100 gr zemljišta, varirajući od deposola veoma slabo do dobro obezbeđenih pristupačnim fosforom. Generalno se prema njegovom sadržaju mogu izdvojiti dve grupe deposola, pri čemu prvu čine deposoli obrazovani od hornblenda andezita, dvostrukih litologija i borskih konglomerata koji su u proseku slabo do dobro obezbeđeni (5,91-15,2 mg/100g zemljišta), a drugu deposoli alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata veoma slabo obezbeđeni pristupačnim fosforom (0,67-1,2 mg/100 g zemljišta). Poređenja radi, sadržaj pristupačnog fosfora u površinskim slojevima profila rekultivisanih delova borskog odlagališta (0-13 cm) kreće se u rasponu od 2,9-68,5

mg/100 g zemljišta (Randelović, 2010), čemu pored ostalog doprinosi i formirani organogeni sloj na njihovoj površini kao jedan od dodatnih izvora fosfora.

Jalovina po svojoj prirodi ne sadrži azot, već on u zemljište dospeva putem aktivnosti biota i razlaganjem izumrle organske materije biljaka. Sadržaj ukupnog azota u deposolima borskog odlagališta (0-20 cm) na kojima se razvija samonikla vegetacija nalazi se u intervalu 0,01 - 0,075 %. Poređenja radi, sadržaj ukupnog azota u površinskim slojevima profila (0-13 cm) na rekultivisanim - pošumljenim delovima borskog odlagališta kreće se u rasponu od 0,08 - 0,17 % (Randelović, 2010), što ukazuje na višestruko manji dosadašnji prinos ukupnog azota od strane samonikle zeljaste vegetacije u analiziranim deposolima. Deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih andezita pokazuju izuzetno nisku snabdevenost azotom (0,01 %), dok se deposoli dvostrukih litologija generalno smatraju veoma siromašnim azotom (0,02 %). Deposoli hornblenda andezita (0,03 %) i borskih konglomerata (0,04 %) siromašni su ukupnim azotom.

Izvorni stenski materijali na borskim jalovištima u najvećoj meri ne sadrže organsku materiju, pa je njen sadržaj u ispitivanim deposolima uglavnom produkt samonikle vegetacije. Sadržaj organske materije u deposolima borskog odlagališta (0-20 cm) na kojima se razvija samonikla vegetacija nalazi se u intervalu 0,01 – 9,29 % , pri čemu je visok maksimalni iznos sadržaja organske materije delom rezultat prisustva čestica organske materije u karbonatnom delu laporaca (organska materija zapaža se u vidu tamije obojenih čestica na preparatu, slika 63) iz grupe deposola dvostrukih litologija. Blizu polovine broja uzoraka (33 od 67) sadrži do 1% organske materije, pa su iz tog razloga na borskoj otkrивci najzastupljeniji njome vrlo slabo obezbeđeni deposoli. Kada su u pitanju pojedinačne grupe, deposoli alterisanih andezita spadaju u vrlo slabo obezbeđene organskom materijom (0,41 %), dok deposoli hornblenda andezita (0,79 %), nevezanog sedimenta (1,06 %) i borskih konglomerata (1,28 %) spadaju u slabo obezbeđene. Deposoli dvostrukih litologija pokazuju povišen sadržaj organske materije u odnosu na deposole ostalih litologija (1,91 %) usled prisustva organske materije u karbonatnom mikritskom mulju od koga su nastali, pa spadaju u kategoriju slabo obezbeđenih do obezbeđenih organskom materijom. Poređenja radi, sadržaj organske materije u površinskim slojevima profila na rekultivisanim delovima

borskog odlagališta (0-13 cm) očekivano je nešto je viši i kreće se u rasponu od 1,06 - 7,24 % (Randelović, 2010).

Prosečan sadržaj kalcijuma (Ca) u andezitima iznosi 4,85 % odnosno 48500 mg/kg (Best, 2003), dok je njegov sadržaj u kontinentalnoj kori nešto niži i iznosi 4,57 % odnosno 45700 mg/kg (Rudnick i Gao, 2003). Količina ukupnog kalcijuma (Ca) konstatovanog u matičnim stenama od kojih su nastali deposoli borskog odlagališta iznosi 20437 - 62242 za alterisane hornblenda andezite, 31371 - 70245 mg/kg za hornblenda andezite, 33229 - 108976 mg/kg za dvostruke litologije i 45663 - 55239 mg/kg za borske konglomerate. Izvori kalcijuma (CaO) u borskoj otkrivci su minerali kalcit (99,1-100%), apatit (50,3-51,6%), ankerit (50-54,7%), epidot (23-23,3%), titanit (10,6-27,6%), plagioklas (0,84-14,9%), hornblenda (0,41-11,8%), albit (0,35-1,96%) i kaolinit (0,3-0,55%). Procesu površinskog i biotičkog razlaganja uz otpuštanje kalcijumovog jona ovde podležu najpre karbonati poput kalcita i ankerita, zatim hornblenda, apatit i plagioklasi, dok su ostali minerali rezistentniji.

Osnovni izvori kalcijumovog jona u borskoj otkrivci su kalciti u slučaju litologija sa karbonatnim učešćem, a plagioklasi i hornblende iz ostalih, u osnovi andezitskih litologija, u kojima su ove mineralne vrste zastupljene sa preko 50% učešća. Procesi acidifikacije rizosfere dodatno doprinose otpuštanju kalcijumovog jona i njegovom prelasku u rastvor putem pojačanog razlaganja karbonata, silikata i fosfata koji ga sadrže (Gregory & Nortcliff, 2013). Prosečan sadržaj pristupačnog (razmenjivog) kalcijuma u deposolima borske otkrivke iznosi 7916 mg/kg, krećući se u rasponu od 1760 do 33887 mg/kg. Najveći broj uzoraka deposola (46 %) sadrži pristupačni kalcijum u opsegu 2000 - 6000 mg/kg, a prema sadržaju ovog elementa borski deposoli spadaju u veoma dobro obezbeđene. Statistički značajne razlike u sadržaju pristupačnog kalcijuma pokazuju deposoli borskih konglomerata (11418 mg/kg) i hornblenda andezita (4584 mg/kg).

Ukupan sadržaj magnezijuma (Mg) u površinskim slojevima zemljišta Evrope u proseku iznosi 7115 mg/kg (Salminen et al., 2005). Prosečni sadržaj magnezijuma u andezitu iznosi 2,03 % odnosno 20300 mg/kg (Best, 2003), dok je njegov prosečni sadržaj u kontinentalnoj kori 2,66 % odnosno 26590 mg/kg (Rudnick i Gao, 2003). Količina ukupnog magnezijuma (Mg) konstatovanog u matičnim stenama od kojih su nastali deposoli borskog odlagališta iznosi 7537- 22371 mg/kg za alterisane hornblenda

andezite, 15437-21949 mg/kg za hornblenda andezite, 8623-17728 za dvostruke litologije, i 16 040 - 18 090 mg/kg za borske konglomerate. Izvori magnezijumovih jona (izraženo u MgO) u borskoj otkrivci su minerali poput hornblende (13,9-27,2%), hlorita (12,1-24%), ankerita (0,71-30,8%), sericita (1,25-33,9%), biotita (6,33-17,8%), epidota (2,5-3,84%), magnetita (0,69-2,91%) i izomorfne serije hematita-ilmenita (1,24-2,66%) (tabele 7, 9, 11 i 15). Može biti zastupljen i u kalcitu, kao dolomitska komponenta. U većim količinama ovaj element konstatovan je u hornblendi, međufazama raspada biotita i hornblende ka hloritu, u ankeritu i sericitu. Od navedenih minerala, površinskom raspadanju najbrže podležu biotit i ankerit, a potom hornblenda i hlorit. Deo magnezijuma nalazi se vezan u organskoj materiji i biljnim ostacima, odakle se njihovim daljim razlaganjem oslobađa.

Sadržaj pristupačnog (razmenjivog) magnezijuma u prirodnim zemljištima lakšeg mehaničkog sastava kreće se u rangu od 50-250 mg/kg (Schulte, 2004). Prosečan sadržaj pristupačnog (razmenjivog) magnezijuma u deposolima borske otkrivke iznosi 203 mg/kg, krećući se u rasponu od 8,1 do 695 mg/kg, pa se deposoli borskog odlagališta mogu svrstati u srednje obezbeđene ovim elementom. Najveći broj uzoraka (49 %) sadrži pristupačni magnezijum u opsegu od 50 - 200 mg/kg. Zapaža se razlika u sadržaju pristupačnog magnezijuma između deposola hornblenda andezita (263 mg/kg) i borskih konglomerata (266 mg/kg) sa jedne strane, i deposola alterisanih hornblenda andezita (128 mg/kg), dvostrukih litologija (115 mg/kg) i nevezanih sedimenata (122 mg/kg) sa druge strane.

6.2.2.2. Karakterizacija prema sadržaju mikroelemenata i sumpora

Arsen je po prirodi halkofilni element koji gradi sulfide, a prisutan je u njima i kao akcesorni element. U fosfatima može u izvesnoj meri zamenjivati fosfor. Hidrotermalni procesi u stenama mogu dovesti do njihovog obogaćenja arsenom (Salminen et al., 2005), pa je ovaj element vezan za različite tipove rudnih ležišta.

Prosečan sadržaj arsena u timocitima Timočkog magmatskog kompleksa generalno je nizak i iznosi 1,9 ppm (Aleksić, 1983, po Dangić i Dangić, 2007). Ukupni sadržaj arsena u litologijama borskog odlagališta iznosi 2,6-16 ppm za hornblenda

andezite, 2,3-191 ppm za alterisane hornblenda andezite, zatim 13 – 17 ppm za borske konglomerate i 4,2-24 ppm za dvostruke litologije. Arsen je u stene koje su deponovane na borskom odlagalištu originalno dospeo u hidrotermalnom stadijumu, i vezan je za rudonosne procese, o čemu govori i njegov sadržaj u litološkoj grupi orudnjenih stena koji iznosi 6-117 ppm. Glavni nosilac arsena u konstatovanim litološkim grupama odlagališta borske otkrivke je pirit (Deditius et al., 2008; Pačevski i sar., 2012). Na površinu odlagališta otkrivke u Boru deo arsena dospeva i atmosferskom depozicijom iz obližnjih pogona topionice i prerade bakarne rude (Nikolić i sar., 2011).

Prosečan sadržaj arsena u Zemljinoj kori iznosi 1,8 ppm, a u zemljištima sveta 6,83 ppm, po Kabata-Pendias (2011). Prema podacima Izveštaja o stanju zemljišta u Republici Srbiji (Agencija za zaštitu životne sredine, 2009), pseudo-ukupan sadržaj arsena u zemljištima centralne Srbije iznosi u proseku 11 ppm, dok u pojedinim uzorcima iz okoline Bora njegov sadržaj u zemljištu prelazi 25 ppm. Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog arsena u zemljištima Bora i okoline je 20 ppm, krećući se u rangu od 13,6-31,55 ppm (po Maksimoviću i Dangiću, 1973, i Marić i sar., 2000). Sa druge strane, Nikolić i sar. (2011) konstatuju prosečan ukupni sadržaj (koristeći metodu potpunog razaranja zemljišta) arsena na lokacijama u Boru i neposrednoj okolini od 59,1 ppm.

Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog arsena u deposolima borske otkrivke iznosi 92,4 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a među deposolima izdvojenih litoloških grupa nema statistički značajne razlike u odnosu na ovaj parametar. Faktor obogaćenja za arsen u deposolima borskog odlagališta iznosi 15,4 u poređenju sa prosečnim vrednostima sadržaja arsena konstatovanim u površinskim slojevima zemljišta Evrope (Salminen et al., 2005). Prema Pravilniku o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (Sl. glasnik RS, 23/94), maksimalna dozvoljena (MDK) pseudo-totalna koncentracija arsena iznosi 25 ppm-a. Uredba o Programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl.glasnik RS, 88/2010), navodi remedijacionu vrednost za arsen u zemljištu od 55 ppm (nekorigovana vrednost). Remedijaciona vrednost za deposite borskog odlagališta izračunata na osnovu korekcionog faktora iznosi 30,3 ppm. Prosečan sadržaj pseudo-totalnog arsena u

deposolima borske otkrivke prelazi granične vrednosti utvrđene nacionalnim pravilnicima 3,7, odnosno 1,7 puta, a korigovanu remedijacionu vrednost za deposole borskog odlagališta 3 puta. Na osnovu ovih podataka proizilazi da sadržaj arsena u deposolima borske otkrivke prevazilazi granične vrednosti koje su određene nacionalnim uredbama i da je potrebno izvršiti njihovu remedijaciju u odnosu na koncentraciju ovog elementa.

Minerali koje gradi arsen su generalno rastvorljivi, ali je pokretljivost arsena u zemljištu prilično ograničena. Sorpcija arsena, prema istraživanjima Fritz i Wenzel (2002) i Bissena i Frimmel (2003) kontrolisana je u najvećoj meri pH-Eh režimom, dok Mandal i Suzuki (2002) i Cao i Ma (2004) konstatuju i značajan uticaj mineralnog sastava, sadržaja organske materije i sadržaja fosfata. Mobilnost arsena često je direktno povezana sa njegovim ukupnim sadržajem a inverzno sa sadržajem aluminijuma i gvožđa (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Naime, istraživanja Hartley et al. (2004) i Garcia et al. (2009) pokazuju da oksidi i hidroksidi gvožđa predstavljaju glavne sorpcione površine za arsen u zemljištima.

Forme arsena ekstrahovane sa EDTA smatraju se biodostupnim od strane različitih autora, jer su vezane za karbonate, amorfne okside i organske ligande koji mogu biti usvojeni od strane većine biljaka (Quevauviller et al., 1998; Gregori et al., 2004). Sa druge strane, određen broj autora dovodi u pitanje efikasnost ovog liganda u ekstrakciji arsena iz zemljišta, naročito onih koja sadrže karbonatnu komponentu (Papassiopi et al., 1999; Cappyns, 2012). Prosečan sadržaj EDTA-pristupačnog arsena u deposolima borske otkrivke iznosi 0,9 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine). U odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnog arsena mogu se izdvojiti dve grupe deposola: u prvu grupu spadaju deposoli svežih hornblenda andezita (4,3 ppm), konglomerata (8,2 ppm) i dvostrukih litologija (1,45 ppm), a u drugu deposoli alterisanih andezita (0,21 ppm) i nevezanih sedimenata (0,18 ppm).

Sadržaj EDTA-pristupačnog arsena u deposolima borske otkrivke čini u proseku svega 0,97% od njegovog pseudo-totalnog sadržaja. Ovaj podatak ukazuje na veoma nisko učešće pristupačnog arsena u odnosu na njegov pseudo-ukupan sadržaj u otkrivci obrasloj vegetacijom. Slične odnose konstatuju i Masscheleyn et al. (1991) na zemljištima kontaminiranim arsenom, gde se zemljišta sa redoks potencijalom u rangu od 200-500 mV odlikuju generalno niskim stepenom rastvorljivosti arsena. Pored toga,

uočeno je da pretežno oksidacioni uslovi u zemljištu diktiraju dominaciju petovalentnih formi arsena u odnosu na trovalentne (Masscheleyn et al., 1991; Fritz & Wenzel, 2002). Koncentracija mobilnog arsena u zemljišnom rastvoru takođe je zavisna od pH vrednosti, i zabeleženo je njeno generalno povećanje sa povećanjem pH vrednosti rastvora, kada je u pitanju petovalentni oblik (Tyler & Olson, 2001; Fritz & Wenzel, 2002). Ovaj odnos uočljiv je i kod grupa deposola borskog odlagališta, gde deposoli borskih konglomerata sadrže u EDTA-pristupačnoj formi u proseku 8,5% od utvrđenog pseudo-ukupnog sadržaja arsena, deposoli hornblenda andezita 4,6%, dvostrukih litologija 1,3%, a deposoli alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata, koji se odlikuju i najnižim konstatovanim pH vrednostima, svega 0,2% EDTA-pristupačne forme arsena.

Hrom je litofilni element koji se najčešće nalazi u sastavu bazičnih i ultrabazičnih magmatskih stena (gde njegova koncentracija može dostići i preko 3000 ppm), dok je njegov sadržaj u kiselim magmatskim stenama prilično niži (do 50 ppm, po Kabata-Pendias, 2011). Sadržaj hroma u Zemljinoj kori u proseku iznosi 135 ppm (Rudnick & Gao, 2003). Hrom se taloži iz magme u ranoj fazi, pa su njegovi minerali prilično otporni na površinsko raspadanje a često su koncentrisani i u različitim tipovima intruzija i depozita. Minerali koji sadrže hrom grade asocijacije sa piroksenom, amfibolima i liskunima. Ukupni sadržaj hroma u litologijama borskog odlagališta je ispod 14 ppm, izuzev pojedinih uzoraka dvostrukih litologija u kome njegov sadržaj dostiže 27 ppm. Hrom ovde nije bio vezan za procese orudnjenja, o čemu govori i njegov sadržaj u litološkoj grupi orudnjenih stena koji ne prelazi vrednost od 14 ppm.

Prosečni sadržaj hroma u zemljištima sveta iznosi 60 ppm (Kabata-Pendias, 2011), i njegov sadržaj najčešće je direktno nasleđen iz matične stene. Prema podacima Izveštaja o stanju zemljišta u republici Srbiji (Agencija za zaštitu životne sredine, 2009) prosečni sadržaj hroma u zemljištima centralne Srbije iznosi 48 ppm. Zemljišta Bora i okoline, prema ovom Izveštaju, svrstana su u klasu zemljišta sa sadržajem hroma u intervalu od 40-110 ppm.

Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog hroma u deposolima borskog odlagališta iznosi 55,8 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a

među deposolima izdvojenih litoloških grupa nema statistički značajne razlike u odnosu na njegov sadržaj. Faktor obogaćenja za hrom u deposolima borskog odlagališta iznosi 2,5 u poređenju sa prosečnim vrednostima sadržaja hroma konstatovanim u površinskim slojevima zemljišta Evrope (Salminen et al., 2005). Prema Pravilniku o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (Sl. glasnik RS, 23/94), maksimalna dozvoljena (MDK) pseudo-ukupna koncentracija hroma u zemljištu iznosi 100 ppm. Uredba o Programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl. glasnik RS, 88/2010), navodi remedijacionu vrednost za hrom u zemljištu od 380 ppm (nekorigovana vrednost). Korigovana remedijaciona vrednost za sadržaj hroma u deposolima borskog odlagališta iznosi 201 ppm. Na osnovu ovih podataka proizilazi da je ustanovljen sadržaj hroma u deposolima odlagališta ispod ustanovljenih graničnih vrednosti i da potreba remedijacije u odnosu na sadržaj ovog elementa nije izražena.

Hrom se u zemljištima javlja u obliku Cr^{3+} i Cr^{6+} . Ponašanje hroma u zemljištu često je uslovljeno pH i Eh vrednošću i sadržajem organske materije, koje utiču na njegov pojavni oblik odnosno valentno stanje (Kabata-Pendias, 2011). Utvrđeno je da prisustvo prisustvo fero jona i sulfida utiče na redukciju šestovalentnog hroma u njegov manje toksični, trovalentni oblik (Fendorf, 1995), što je naročito od značaja u deposolima koji sadrže pirit i sulfidne minerale. Trovalentni hrom je pretežno stabilan odnosno veoma slabo mobilan, dok je šestovalentni hrom izuzetno mobilan u zemljištu i pri višoj i pri nižoj pH vrednosti (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

Prosečna vrednost EDTA-pristupačnog hroma za deposole borske otkrivke iznosi 0,40 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine). Prema sadržaju EDTA-pristupačnog hroma deposoli hornblenda andezita (0,49 ppm) i alterisanih hornblenda andezita (0,4 ppm), kao i deposoli nevezanih sedimenata (0,48 ppm) statistički značajno se razlikuju od deposola borskih konglomerata (0,21 ppm). Sa druge strane, deposoli dvostrukih litologija (0,34 ppm) ne pokazuju značajne razlike prema ovom parametru o odnosu na deposole ostalih litologija. Sadržaj EDTA-pristupačnog hroma u deposolima borske otkrivke čini u proseku 0,72 % od njegovog pseudo-totalnog sadržaja. Podatak ukazuje na veoma nisko učešće frakcije pristupačnog hroma u odnosu na njegov pseudo-ukupan sadržaj u ispitivanim deposolima. Deposoli

hornblenda andezita sadrže u EDTA-pristupačnoj formi u proseku 1 % od utvrđenog pseudo-ukupnog sadržaja hroma, deposoli alterisanih hornblenda andezita, dvostrukih litologija i nevezanih sedimenata po 0,7 %, i deposoli borskih konglomerata svega 0,3%. Generalno mala mobilnost u zemljišnom rastvoru karakteristična je za trovalentni oblik hroma u zemljištu (Adriano, 2001), pa ovi podaci mogu posredno ukazivati na dominantni oblik pojavljivanja hroma u ispitivanim deposolima borskog odlagališta.

Poreklo **bakra** u hidrotermalnim masivno-sulfidnim ležištima i ležištima porfirskog tipa je magmatsko. U toku kristalizacije magme bakar se, budući nekompatibilan i praktično bez mogućnost ulaska u kristalnu rešetku silikata, koncentriše u poslednjoj magmatskoj fazi koja potom prelazi u hidrotermalnu fazu. Kao takav prolazi kroz stensku masu i nakuplja se u vidu orudnjenja.

Prosečna koncentracija bakra u Zemljinoj kori iznosi 27 ppm (Rudnick i Gao, 2003). Ovaj element pokazuje tendenciju koncentracije u magmatskim stenama. Posедуje snažan afinitet prema sumporu i ulazi u sastav mnogih sulfidnih minerala bilo kao direktni graditelj ili kao primešana komponenta. Ukupni sadržaj bakra u litologijama borskog odlagališta iznosi 66-179 ppm za hornblenda andezite, zatim 139-230 ppm za borske konglomerate, 185-2028 ppm za alterisane hornblenda andezite i 82-6168 ppm za dvostruke litologije. Sadržaj bakra u litološkoj grupi orudnjenih stena, koje nisu obrasle samoniklom vegetacijom, u saglasnosti je sa njihovim visokim stepenom heterogenosti i iznosi 58 - 2562 ppm. Jedan deo bakra konstatovanog u deposolima borske otkrivke potiče iz rudnih minerala karakterističnih za Borsku metalogenetsku zonu. Izvor bakra u litologijama borske otkrivke, u prvom redu alterisanim hornblenda andezitima ali i orudnjenim stenama su sulfidni minerali, poput konstatovanog halkopirita (tabela 9), bornita, digenita, kovelina i koluzita (tabela 11).

Prosečan sadržaj bakra u zemljištu kreće se od 14-109 ppm (Kabata-Pendias, 2011). Neki od osnovnih faktora koji utiču na njegovo prisustvo u zemljištu su matična stena, proces formiranja zemljišta i njegova tekstura (peskovita zemljišta sadrže ga u proseku manje od glinovitih). U zemljištu se ovaj element najčešće nagomilava u površinskom sloju, što je sa jedne strane posledica njegove bioakumulacije od strane organske materije, a sa druge posledica dospevanja bakra u zemljište antropogenim putem. Najveći antropogeni izvori bakra su različite vrste industrija koje ga eksploatišu

ili prerađuju. Deposoli borskog odlagališta takođe su izvori deponovanih čestica bakra, poreklom iz okolnih pogona prerade bakarne rude. Istraživanja Nikolića i saradnika (2011) i Šajna i saradnika (2014) pokazuju višestruka prekoračenja graničnih vrednosti sadržaja bakra u zemljištima i u tavanskoj prašini u okolini pogona prerade, što upućuje na to da je određeni deo bakra na čitavom ovom području, pa i u deposolima borske otkrivke, antropogenog porekla.

Prema podacima Izveštaja o stanju zemljišta u republici Srbiji (Agencija za zaštitu životne sredine, 2009), pseudo-ukupni sadržaj bakra u zemljištu se kreće u opsegu 0,1-1219 ppm (u proseku 27 ppm) a najveća kontaminacija uzoraka bakrom zabeležena je upravo u okolini Borskog rudnika. Prosečni ukupni sadržaj bakra u površinskom sloju zemljišta Bora i bliže okoline, prema Nikoliću i sar. (2011) iznosi 913,33 ppm, dok Šajn i sar. (2014) navode maksimalne vrednosti sadržaja bakra u površinskom sloju zemljišta ovog područja od 11000 ppm.

Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog bakra u deposolima borske otkrivke iznosi 671 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a njegov prosečni sadržaj u deposolima obrazovanim iznad različitih litologija pokazuje statistički značajne razlike. U tom smislu, najviši sadržaj pseudo-ukupnog bakra poseduju deposoli borskih konglomerata (1337 ppm). Zatim slede deposoli hornblenda andezita (865 ppm) i dvostrukih litologija (857 ppm), dok najniži izmereni sadržaj pseudo-ukupnog bakra pokazuju deposoli nevezanih sedimenata (433 ppm) i alterisanih hornblenda andezita (400 ppm). Faktor obogaćenja za bakar u deposolima borskog odlagališta iznosi 55,9 u poređenju sa prosečnom vrednošću sadržaja bakra u površinskim slojevima zemljišta Evrope (Salminen et al., 2005). Prema Pravilniku o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (Sl. glasnik RS, 23/94), maksimalna dozvoljena (MDK) pseudo-ukupna koncentracija bakra iznosi 100 ppm. Uredba o Programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl. glasnik RS, 88/2010), navodi remedijacionu vrednost za bakar u zemljištu od 190 ppm (nekorigovana vrednost). Korrigovana remedijaciona vrednost za bakar u deposolima borskog odlagališta iznosi 86,8 ppm-a. Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog bakra u deposolima borske otkrivke prevazilazi granične vrednosti utvrđene navedenim domaćim pravilnicima za 6,7

odnosno 3,5 puta, a korigovanu remedijacionu vrednost za deposole borskih odlagališta 7,7 puta. Iz navedenih podataka proizilazi da sadržaj bakra u deposolima borske otkrivke prevazilazi granične vrednosti određene nacionalnim uredbama i da je potrebno izvršiti remedijaciju ovih deposola u cilju smanjenja njihove koncentracije bakra.

Bakar ulazi u sastav pojedinih sulfidnih minerala koji su lako rastvorljivi u procesu površinskog razlaganja. To je naročito slučaj u kiselim sredinama rudničkih odlagališta, kada je ovo razlaganje ubrzano i kada za posledicu ima otpuštanje jona bakra. Bakar se smatra jednim od mobilnijih metala u hipergenim procesima (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). Nekoliko parametara zemljišta utiče na rastvorljivost a time i biodostupnost bakra. To su, prema Kabata-Pendias (2011): pH vrednost, oksido-redukcioni potencijal, sadržaj organske materije, tekstura zemljišta, mineralni sastav, temperatura i vodni režim zemljišta. Najveći potencijal za ispiranje bakra odatle imaju zemljišta peskovite teksture i nižih pH vrednosti. Sa povećanjem pH vrednosti bakar biva imobilisan u zemljištu (Cavallaro & McBride, 1978), dok sniženje pH vrednosti generalno povećava njegovu mobilnost (Reddy et al., 1995).

Prosečna vrednost EDTA-pristupačnog bakra za deposole borske otkrivke iznosi 229 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a moguće je jasno izdvojiti dve grupe koje se međusobno statistički značajno razlikuju u pogledu sadržaja EDTA-pristupačnog bakra. Prvu grupu čine deposoli formirani od dvostrukih litologija (355 ppm), svežih hornblenda andezita (384 ppm) i borskih konglomerata (408 ppm), a drugu deposoli koji su se formirali od alterisanih andezita (102 ppm) i nevezanih sedimenata (115 ppm). Sadržaj EDTA-pristupačnog bakra u deposolima borske otkrivke čini u proseku 34,2 % od njegovog pseudo-totalnog sadržaja. Ovaj podatak ukazuje na značajno učešće frakcije pristupačnog bakra u odnosu na njegov pseudo-ukupan sadržaj u ispitivanim deposolima. Mnoga istraživanja ukazuju na mogućnost povećane mobilnosti elemenata u tragovima koji vode poreklo iz antropogenih izvora u odnosu na one čije je poreklo geogeno (npr. Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Chlopecka et al., 1996; Kabala & Singh, 2006). Deposoli hornblenda andezita sadrže u EDTA-pristupačnoj formi u proseku 44,4 % od utvrđenog pseudo-ukupnog sadržaja bakra, deposoli dvostrukih litologija 41,5%, borskih konglomerata 30,5%, nevezanih sedimenata 26,6% i alterisanih andezita 25,6%. Niže apsolutno i relativno učešće EDTA-pristupačnih frakcija na litologijama sa najnižom prosečnom pH

vrednošću najverovatnije je posledica mobilizacije i ispiranja jona bakra u uslovima oksidacije i kisele sredine, što je proces široko konstatovan u površinskim slojevima različitih jalovišta sulfidnih ruda (Sidenko et al., 2005; Langman et al., 2014).

Iz priloženih podataka sledi da je EDTA-pristupačni sadržaj bakra u deposolima svih konstatovanih litologija viši i od propisane maksimalne dozvoljene pseudo-ukupne koncentracije bakra (Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja, Sl. glasnik RS, 23/94), a u slučaju deposola hornblenda andezita, dvostrukih litologija i borskih konglomerata i od propisane remedijacione vrednosti (Uredba o Programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa, Sl. glasnik RS, 88/2010). Sve ovo ukazuje na visok stepen kontaminacije područja borskog odlagališta bakrom, koji je pored visoke ukupne koncentracije u značajnoj meri u ovim deposolima mobilan i biodostupan, kao i na neophodnost remedijacije područja borskih odlagališta u odnosu na sadržaj ovog elementa.

Olovo je halkofilni metalni element, koji gradi pojedine sulfide i karbonate, a u tragovima se može naći i u silikatima poput kalijevog feldspata, plagioklasa, liskuna, apatita i magnetita. Olovo se pretežno koncentriše u kiselim magmatskim stenama i glinasto-ilovastim sedimentima gde se njegove koncentracije kreću u rangu od 10-40 ppm, dok se u bazičnim magmatskim stenama i karbonatnim sedimentima nalazi u daleko manjem opsegu od 0,1-20 ppm (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). Olovo je halkofilan element i nalazi se uglavnom vezano u sulfidima. Prosečan sadržaj olova u Zemljinoj kori iznosi 11 ppm (Rudnick & Gao, 2003).

Ukupan sadržaj olova u litologijama borskog odlagališta iznosi 8-19 ppm za hornblenda andezite, zatim 22-27 ppm za borske konglomerate, 6,2-51 ppm za dvostruke litologije i 2,5-196 ppm za alterisane hornblenda andezite. U litologijama borske otkrivke olovo je jednim delom vezano u silikatima gde zamenjuje kalijum. Njegove povišene koncentracije, registrovane kod alterisanih hornblenda andezita, ukazuju na prisustvo olova u hidrotermalnim procesima i to ili u vidu građenja olovnih sulfida ili pri zameni kalijuma u mineralima koji su nastali hidrotermalnim putem

(sericit, neobiotit, adular i drugi). Na ovo upućuju i konstatovane koncentracije olova u orudnjenim stenama koje se kreću u intervalu od 22 do 179 ppm.

Sadržaj olova u površinskim slojevima prirodnih zemljišta u svetu kreće se u opsegu od 10-67 ppm, sa prosečnom vrednošću od 32 ppm (po Kabata-Pendias i Pendias, 1992) i uglavnom je nasleđen iz matičnog supstrata. Izveštaj o stanju zemljišta u republici Srbiji (Agencija za zaštitu životne sredine, 2009) daje podatak da prosečan sadržaj olova u zemljištima centralne Srbije iznosi oko 40 ppm. Prema Nikoliću i sar. (2011) prosečni totalni sadržaj olova u površinskom sloju zemljišta Bora i bliže okoline iznosi 86,7 ppm.

Prosečan sadržaj pseudo-totalnog olova u deposolima borskog odlagališta iznosi 89,4 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a njegov prosečni sadržaj u deposolima obrazovanim iznad različitih litologija pokazuje statistički značajne razlike. Tako se u odnosu na sadržaj pseudo-ukupnog olova deposoli hornblenda andezita (95,8 ppm) i borskih konglomerata (123 ppm) statistički razlikuju od deposola nevezanih sedimenata (71,8 ppm), dok deposoli alterisanih hornblenda andezita (91,1 ppm) i dvostrukih litologija (91,9 ppm) ne pokazuju statistički značajne razlike u odnosu na navedene krajnosti. Faktor obogaćenja za olovo u deposolima borskog odlagališta je 6 u odnosu na prosečne vrednosti sadržaja olova konstatovanih u površinskim slojevima zemljišta Evrope (Salminen et al., 2005). Prema Pravilniku o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (Sl. glasnik RS, 23/94) maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) pseudo-ukupnog olova u zemljištu iznosi 100 ppm. Uredba o Programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl.glasnik RS, 88/2010) navodi remedijacionu vrednost za olovo u zemljištu od 530 ppm, dok korigovana remedijaciona vrednost za deposole borskih odlagališta iznosi 327 ppm. Iz ovih podataka sledi da je ustanovljen sadržaj olova u deposolima odlagališta ispod ustanovljenih graničnih vrednosti i da potreba remedijacije u odnosu na sadržaj ovog elementa u ovom trenutku nije izražena.

Mobilnost i rastvorljivost olova uzrokovana je smanjenjem pH vrednosti zemljišnog rastvora (Kabata-Pendias, 2011). U područjima sulfidne mineralizacije olovo je mobilisano procesima raspadanja sulfidnih minerala koji ga sadrže. U kiseloj

sredini (ispod pH=6) olovo je prisutno u obliku Pb^{2+} , ali mu mobilnost može biti ograničena u slučaju formiranja kompleksa sa sekundarnim oksidima gvožđa i mangana, kao i sekundarnih minerala niske rastvorljivosti (Salminen et al., 2005). Prema Jin et al. (2005), sadržaj organske materije u zemljištu je faktor važniji od pH vrednosti koji utiče na dostupnost olova živom svetu. Uobičajena povećana količina olova konstatovana u površinskim slojevima zemljišta rezultat je prisustva organske materije koja ga vezuje.

Prosečan sadržaj EDTA-pristupačnog olova u deposolima borske otkrivke iznosi 13,1 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a na osnovu ovog parametra mogu se statistički izdvojiti dve grupe deposola. U prvu grupu spadaju deposoli formirani od dvostrukih litologija (20,7 ppm), hornblenda andezita (23,5 ppm) i borskih konglomerata (41,5 ppm), dok drugu grupu čine deposoli alterisanih andezita (4,98 ppm) i nevezanih sedimenata (4,12 ppm). Sadržaj EDTA-pristupačnog olova u deposolima borske otkrivke čini u proseku 14,7 % u odnosu na njegov pseudo-totalni sadržaj u otkrivci obrasloj vegetacijom. Deposoli borskih konglomerata sadrže u EDTA-pristupačnoj formi u proseku 33,6 % od utvrđenog pseudo-ukupnog sadržaja olova, deposoli hornblenda andezita 24,6 %, dvostrukih litologija 22,5%, nevezanih sedimenata 5,7% i alterisanih hornblenda andezita 5,5%. Nizak apsolutni i relativni sadržaj olova u grupama deposola nevezanih sedimenata i alterisanih andezita najverovatnije je posledica ispiranja ovog elementa iz površinskih slojeva usled nižih pH vrednosti rastvora deposola.

Sadržaj **cinka** u magmatskim stenama iznosi u proseku 80-120 ppm u bazičnim i 40-60 ppm u kiselim stenama. Prosečni sadržaj cinka u Zemljinoj kori iznosi 72 ppm (Rudnick & Gao, 2003). Ukupan sadržaj cinka u litologijama borskog odlagališta iznosi 31-77 ppm za sveže hornblenda andezite, zatim 87-97 ppm za borske konglomerate, 24-146 ppm za dvostruke litologije i 35-207 ppm za alterisane andezite. U orudnjenim stenama sadržaj cinka iznosi 13-52 ppm. Izvor cinka u litologijama borskog odlagališta su rudni minerali, ali ga u tragovima mogu sadržati amfiboli i magnetiti. Cink takođe može zamenjivati Fe i Mg u različitim oksidima i silikatima, zbog sličnosti jonskog radijusa sa ovim elementima (Salminen et al., 2005).

Sadržaj cinka u korelaciji je sa teksturom zemljišta i najčešće je niži u peskovitim zemljištima (Kabata-Pendias, 2011). Matični supstrat, način formiranja i sadržaj organske materije u najvećoj meri utiču na njegov inicijalni sadržaj u zemljištu. Zbog tendencije vezivanja za organsku materiju, cink teži akumulaciji u površinskim slojevima zemljišta. Srednji ukupan sadržaj cinka u površinskim slojevima zemljišta sveta varira od 60-89 ppm (Kabata-Pendias, 2011). Prosečan sadržaj cinka u zemljištima centralne Srbije, prema Izveštaju o stanju zemljišta u Republici Srbiji (Agencija za zaštitu životne sredine, 2009) iznosi 48 ppm.

Prosečan sadržaj pseudo-totalnog cinka u deposolima borskog odlagališta iznosi 112 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a među deposolima izdvojenih litoloških grupa postoje statistički značajne razlike u odnosu na njegov sadržaj. Najviši sadržaj ovog elementa pokazuju deposoli borskih konglomerata (178 ppm), potom hornblenda andezita (132 ppm) i dvostrukih litologija (125 ppm), a nešto niži prosečni sadržaj cinka karakteristika je deposola nevezanih sedimenata (88,6 ppm) i alterisanih hornblenda andezita (76,7 ppm). Faktor obogaćenja za cink u deposolima borskog odlagališta iznosi 2,3 u poređenju sa prosečnim vrednostima sadržaja cinka konstatovanog u površinskim slojevima zemljišta Evrope (Salminen et al., 2005). Prema Pravilniku o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (Sl. glasnik RS, 23/94) maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) pseudo-ukupnog olova u zemljištu iznosi 300 ppm-a. Uredba o Programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl.glasnik RS, 88/2010), navodi remedijacionu vrednost za olovo u zemljištu od 720 ppm, dok korigovana vrednost za deposole borskih odlagališta iznosi 287 ppm. Ustanovljen sadržaj cinka u deposolima odlagališta je ispod graničnih vrednosti propisanih nacionalnim uredbama pa potreba remedijacije u odnosu na sadržaj ovog elementa na istraživanom području nije izražena.

Cink se smatra veoma mobilnim elementom u procesu površinskog raspadanja. Mobilnost i rastvorljivost cinka veća je u oksidacionim uslovima zemljišta, pri nižoj pH vrednosti zemljišnog rastvora i povećanom učešću peskovite frakcije. Prema istraživanjima Voegelin i sar. (2008), specijacija odnosno hemijska forma cinka u zemljištu pretežno zavisi od pH vrednosti zemljišnog rastvora i ukupnog sadržaja cinka,

pa je sadržaj dostupnog cinka najčešće linearno zavistan u odnosu na sadržaj ukupnog cinka u zemljištu (Kabata-Pendias, 2011). Ispod pH 8 cink je pretežno prisutan u formi Zn^{2+} , dok na višim pH vrednostima formira slabo rastvorna kompleksna jedinjenja sa karbonatima i hidroksojonima koja ga efikasno imobilizuju (Brookins 1988). Inverzna korelacija utvrđena je između količine dostupnog cinka i izvesnih hemijskih osobina zemljišta, poput pH vrednosti, sadržaja slobodnih karbonata i stepena zasićenosti adsorptivnog kompleksa bazama (Mihaljević, 1999).

Prosečan sadržaj EDTA-pristupačnog cinka u deposolima borske otkrivke iznosi 19,98 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a između deposola izdvojenih litoloških grupa postoje statistički značajne razlike u odnosu na ovaj parametar. Najveći sadržaj EDTA-pristupačnog cinka imaju deposoli hornblenda andezita (30,8 ppm), dvostrukih litologija (27,5 ppm) i borskih konglomerata (26,6 ppm). Nešto nižim sadržajem EDTA-pristupačnog cinka odlikuju se deposoli nevezanih sedimenata (15,2 ppm) i alterisanih hornblenda andezita (8,03 ppm). Sadržaj EDTA-pristupačnog cinka u deposolima borske otkrivke čini 17,8 % u odnosu na njegov pseudo-totalni sadržaj u otkrivci obrasloj vegetacijom. Deposoli hornblenda andezita sadrže u EDTA-pristupačnoj formi u proseku 23,3% od utvrđenog pseudo-ukupnog sadržaja cinka, dvostrukih litologija 22 %, nevezanih sedimenata 17,1%, borskih konglomerata 14,9% i alterisanih hornblenda andezita 10,5%. Niži sadržaj pristupačnog cinka u deposolima nevezanih sedimenata i alterisanih hornblenda andezita posledica je ispiranja mobilnih jona cinka u dublje slojeve odlagališta u kiseloj sredini.

Sadržaj **sumpora** u intermedijarnim i kiselim magmatskim stenama iznosi 60-3600 ppm, bazičnim i ultrabazičnim stenama od 300-23000 ppm, dok ga karbonati i peščari najčešće sadrže u količini manjoj od 10000 ppm (Wedepohl, 1978). Prosečan sadržaj sumpora u Zemljinoj kori iznosi 404 ppm (Rudnick i Gao, 2003). Sumpor u litologijama borske otkrivke u prvom redu vodi poreklo iz minerala sulfida, vezanih za vulkanske aktivnosti i nastanak rudnih ležišta na području Borske metalogenetske zone. Jednim delom u deposole je dospelo i putem atmosferske depozicije sumpor-dioksida emitovanog iz obližnjih pogona prerade Rudnika bakra Bor, usled čega deposoli

pokazuju izvesno obogaćenje u pogledu sadržaja ovog elementa u odnosu na stensku podlogu (tabela 52).

Sumpor u deposolima izdvojenih litoloških grupa poreklom je iz različitih sumpornih jedinjenja u kojima je vezan. Sadržaj ukupnog sumpora u fragmentima alterisanih hornblenda andezita borskog odlagališta kreće se u intervalu od 300-12700 ppm i konstatovan je u najvećem broju ispitivanih uzoraka (6 od 7, tabela 10). Kod fragmenata hornblenda andezita sadržaj ukupnog sumpora kreće se u intervalu od 4400-4600 ppm-a i konstatovan je u svega dva od devet ispitanih uzoraka (tabela 8). Fragmenti dvostruke litologije sadrže ga u količini od 600-14000 ppm-a u osam od deset ispitivanih uzoraka (tabela 12). Svi uzorci borskih konglomerata koji su analizirani u ovom istraživanju sadrže sumpor u rasponu od 300-600 ppm-a (tabela 13). Sadržaj sumpora u orudnjenim stenama pokazuje povećane vrednosti u odnosu na ostale litološke grupe, a ove vrednosti se kreću u intervalu od 18700 do 325300 ppm (tabela 16).

Primarno je sumpor u litologijama borskog odlagališta vezan u sulfidnim jedinjenjima i primarnim, hidrotermalnim sulfatima, kao i u sekundarnim sulfatima, i to u prvom redu sekundarnom gipsu i sulfatima bakra. Kod alterisanih andezita sumpor je pretežno prisutan u obliku sulfida u metaličnim mineralima (poput halkopirita, slika 51n, odnosno slabih impregnacija pirita karakterističnih za ovaj tip litologije) razbacanim u osnovnoj stenskoj masi. Nevezani sedimenti, koji u najvećoj meri vode poreklo od alterisanih andezita, imaju ekvivalentne izvore sumpora. Još jedan mogući izvor sumpora u ovoj litološkoj grupi su sekundarni sulfati, nastali usled procesa ispiranja i površinskog raspadanja koji su kod ovog rastresitog tipa litologije izraženi u najvećoj meri. Kod svežih andezita sumpor se nalazi u praškastim metaličnim mineralima, prisutnim u manjoj meri, a jednim delom je vezan i u akcesornim apatitima (slika 34b, 34d). Dvostruka litologija jednim delom je sastavljena od svežih hornblenda andezita, pa za ovu litološku grupu u pogledu sadržaja sumpora važi slično što i za sveže andezite. Sporadična nagomilanja metaličnih odnosno sulfidnih minerala u svežim andezitima daju pojedinačne povišene vrednosti sadržaja sumpora konstatovane u grupi dvostrukih litologija. Borski konglomerati mogu sadržati sumpor u sulfidima ili sulfatima u delovima klasti od kojih su sastavljeni. Na prisustvo procesa oksidacije u konstatovanim litološkim grupama i njihovim deposolima posredno ukazuje i prisustvo

limonita, u vidu limonitskih prevlaka na površini skeleta svežih hornblenda andezita (slika 28) ili praškastih nagomilanja u alterisanim andezitima (tabela 9).

Ukupan sadržaj sumpora u zemljištima veoma je varijabilan i kreće se u generalnim okvirima od 100-1000 ppm (Stevenson and Cole, 1999). Prosečan sadržaj sumpora u deposolima borske otkrivke iznosi 4435 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a utvrđene su i statistički značajne razlike deposola izdvojenih litoloških grupa u odnosu na ovaj parametar. Najveći prosečni sadržaj pseudo-ukupnog sumpora poseduju deposoli nevezanih sedimenata (7368 ppm) i alterisanih hornblenda andezita (5935 ppm), dok se deposoli dvostrukih litologija (3566 ppm), hornblenda andezita (3100 ppm) i borskih konglomerata (2865 ppm) odlikuju nižim pseudo-ukupnim sadržajem sumpora. Faktor obogaćenja za sumpor u deposolima borskog odlagališta iznosi 19,5 u odnosu na prosečne vrednosti sadržaja sumpora konstatovanih u površinskim slojevima zemljišta Evrope (Salminen et al., 2005). Sadržaj ukupnog sumpora u zemljištima u direktnom je odnosu sa sadržajem sulfida i produkata njihovog razlaganja, kako konstatuju Uzarowicz (2011) i Langman (2014).

U oksidacionim uslovima u zemljištu prisutni su lakorastvorni sulfati gvožđa, aluminijuma i kalcijuma (Kabata-Pendias, 2011). Mikroorganizmi, koji vrše procese oksidacije ili redukcije, imaju značajnu ulogu u određivanju pojavnih oblika sumpora u zemljištu. Prosečan sadržaj EDTA-pristupačnog sumpora u deposolima borske otkrivke iznosi 706 ppm (inverzno transformisana Box-Cox vrednost aritmetičke sredine), a među grupama deposola konstatovane su statistički značajne razlike u pogledu sadržaja ovog oblika sumpora. U tom smislu, kao najbogatiji izdvajaju se deposoli nevezanih sedimenata (1909 ppm) i alterisanih hornblenda andezita (1032 ppm), dok se nešto nižim sadržajem EDTA-pristupačnog sumpora odlikuju deposoli dvostrukih litologija (591 ppm), borskih konglomerata (539 ppm) i hornblenda andezita (359 ppm). Sadržaj EDTA-pristupačnog sumpora u deposolima borske otkrivke čini 15,9 % u odnosu na njegov pseudo-totalni sadržaj u uzorkovanoj otkrivci. Deposoli nevezanih sedimenata sadrže u EDTA-pristupačnoj formi u proseku 25,8% od utvrđenog pseudo-ukupnog sadržaja sumpora, deposoli borskih konglomerata 18,8%, deposoli alterisanih hornblenda andezita 17,4%, dvostrukih litologija 16,6% i hornblenda andezita 11,6%. Relativno visok sadržaj pristupačne forme sumpora u deposolima nevezanih sedimenata

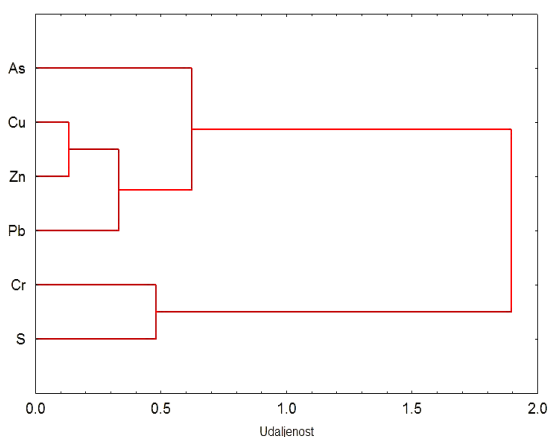
u odnosu na ostale grupe posledica je prisustva uvećane količine lakorastvornih sulfatnih soli (u prvom redu sekundarnog gipsa, slika 77).

6.2.3. Statistička obrada podataka o deposolu

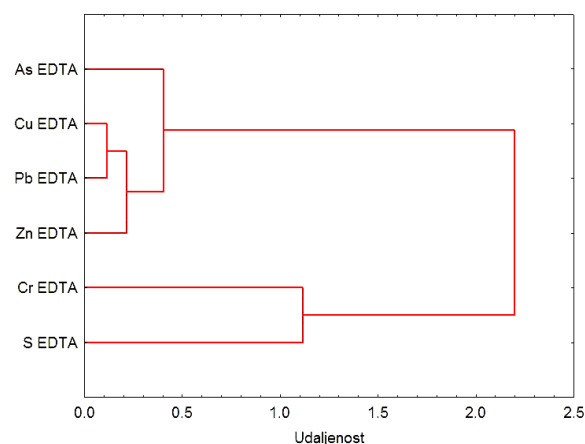
Pseudo-ukupni i EDTA-pristupačni sadržaj ispitivanih mikroelemenata deposola borske otkrivke stoji u odnosu $Cu > Zn > Pb > As > Cr$. Izmereni sadržaji analiziranih elemenata u deposolu pokazuju određene međusobne korelacije. Sadržaj pseudo-ukupnog bakra veoma visoko je korelisan sa sadržajem EDTA-pristupačnog bakra u deposolima ($r=0,92$), ukupno olovo korelisano je sa sadržajem EDTA-pristupačnog olova ($r=0,7$), ukupan cink sa sadržajem EDTA-pristupačnog cinka ($r=0,84$), a ukupan sumpor sa EDTA-pristupačnim sumporom ($r=0,78$). Ukupni sadržaji arsena i hroma u deposolu ne pokazuju izraženu korelaciju sa njihovim EDTA-pristupačnim sadržajem. U pogledu međusobnih korelacija pseudo-ukupnog sadržaja ispitivanih elemenata, uočljiva je statistički značajna visoka vrednost korelacije pseudo-ukupnog bakra i olova ($r=0,7$), olova i cinka ($r=0,73$) i bakra i cinka ($r=0,87$) u ispitivanim uzorcima deposola, ukazujući na to da ovi elementi imaju slične izvore porekla i hemijsko ponašanje u borskim deposolima. Ovo potvrđuju i visoke međusobne korelacije koje se odnose i na EDTA-pristupačne frakcije ovih elemenata, pa je tako visoka korelacija ($r=0,88$) karakteristična za EDTA-pristupačan bakar i olovo, potom EDTA-pristupačno olovo i cink ($r=0,77$), a takođe i za EDTA-pristupačan bakar i cink ($r=0,85$).

Iz klaster analiza pseudo-ukupnih i EDTA-pristupačnih sadržaja ispitivanih elemenata u deposolima borske otkrivke proizilaze dendrogrami (slike 132 i 133) na kojima se zapaža izdvajanje dveju zasebnih klaster grupa. U prvu klaster grupu u oba slučaja spadaju halkofilni elementi arsen, bakar, olovo i cink vezani u prvom redu za sulfidne rudne minerale, koji, pored geogenog porekla, u deposole borske otkrivke dospevaju i antropogenim putem (Šajn i sar., 2014). Unutar ove grupe mogu se izdvojiti dve podgrupe, gde prvu čine elementi bakar, olovo i cink, dok drugu podgrupu čini arsen. Drugu izdvojenu klaster grupu čine sumpor i litofilni hrom, gde sumpor takođe ima dvojak (geogeni i antropogeni) izvor prisustva u borskim deposolima. Za halkofilne elemente prve izdvojene grupe karakteristična je povećana mobilnost u uslovima

promene pH vrednosti zemljišnog rastvora, dok se elementi druge grupe u ovim sredinama nagomilavaju, kao direktna posledica slabije mobilnosti u slučaju izluživanja u slučaju sumpora i redukcije u slučaju hroma.



Slika 132: Dendrogram klaster analize pseudo-ukupnih sadržaja ispitivanih elemenata prema metodu Ward-a, kao mera sličnosti korišćen je Pearson-ov koeficijent korelacije



Slika 133: Dendrogram klaster analize EDTA-pristupačnih sadržaja ispitivanih elemenata prema metodu Ward-a, kao mera sličnosti korišćen je Pearson-ov koeficijent korelacije

Sadržaj ispitivanih elemenata u tragovima i sumpora pokazuje određene korelacije sa hemijskim osobinama deposola. Generalno, konstatovan je veći broj značajnih korelacija ispitivanih fizičko-hemijskih osobina deposola sa sadržajem EDTA-pristupačnih elemenata u odnosu na pseudo-ukupan sadržaj elemenata. Statistički značajna korelacija sa aktivnom i potencijalnom kiselošću kao i oksidoredukcionim potencijalom deposola konstatovana je kod većine halkofilnih elemenata. Ona ukazuje da sa porastom pH vrednosti raste i konstatovan sadržaj ovih elemenata, što, imajući u vidu njihovu povećanu mobilnost u kiselim sredinama, upućuje na postojanje posledičnih procesa mobilizacije ili ispiranja ovih elemenata iz površinskog sloja deposola. U slučaju pseudo-ukupnih koncentracija, visoke vrednosti korelacija sa ovim parametrima deposola pokazuju u prvom redu bakar i cink (tabela 64). U slučaju olova ova korelacija je takođe statistički značajna, ali i dosta slabije izražena, što je najverovatnije posledica znatno manje mobilnosti ovog elementa u zemljištima (Alloway, 1990). Značajna korelacija takođe je kod pomenutih elemenata uočena u

odnosu na sumu ekstrahovanih baznih katjona u deposolu ($r_{Cu}=0,71$, $r_{Pb}=0,51$, $r_{Zn}=0,67$), a kod bakra i cinka i u odnosu na sadržaje pristupačnog kalijuma i magnezijuma ($r_{Cu}=0,61$, $r_{Zn}=0,56$). Kada je u pitanju sumpor, ovaj element pokazuje jasnu korelaciju sa električnim konduktivitetom kao merom zaslanjenosti ($r=0,76$), što upućuje na zaključak o postojanju rastvornih sulfatnih soli u deposolu.

Utvrđene EDTA-pristupačne količine arsena, bakra, olova i cinka takođe su značajno korelisane sa izmerenom aktivnom i potencijalnom kiselošću deposola, kao i njegovim oksido-redukcionim potencijalom (tabela 66). U slučaju olova, koeficijenti korelacije primetno su veći kod EDTA-pristupačnih za razliku od pseudo-ukupnih koncentracija u deposolima. EDTA-pristupačni arsen, za razliku od pseudo-ukupnog, takođe pokazuje značajne korelacije sa ovim fizičko-hemijskim parametrima deposola iako je u određenom broju uzoraka njegov sadržaj ispod granice detekcije. Sadržaj EDTA-pristupačnog bakra i olova korelisani su sa ekstrahovanom sumom baza borskih deposola ($r_{CuEDTA}=0,65$, $r_{PbEDTA}=0,76$). Pristupačni oblici bakra, olova i cinka korelisani su sa sadržajem pristupačnog kalijuma ($r_{CuEDTA}=0,66$, $r_{PbEDTA}=0,6$, $r_{ZnEDTA}=0,59$), a u slučaju bakra i cinka, i pristupačnog magnezijuma ($r_{CuEDTA}=0,64$, $r_{ZnEDTA}=0,58$). Ovi odnosi ukazuju na povezanost postojećih procesa oksidacije sulfida pri kojima nastaje snižavanje pH vrednosti i povećanje mobilnosti ovih elemenata, a koje posledično prati i rastvaranje karbonatnih i silikatnih minerala, koji sadrže bazne katjone (Bartlett, 1992; Sikora et al., 2014). Jedan deo rastvornih sulfatnih soli, naročito u pojedinim grupama deposola, čini i sekundarno formirani gips, pa EDTA-pristupačna količina sumpora pokazuje i izvesnu korelaciju sa sadržajem izmenjivog kalcijuma ($r=0,56$). Sadržaj pristupačnog arsena korelisani su sa sadržajem pristupačnog fosfora u deposolima borske otkrivke ($r=0,73$), što je, imajući u vidu poznatu analogiju između hemijskog ponašanja ova dva elementa, saglasno sa istraživanjima koja su utvrdila da povećan sadržaj fosfata u zemljištu prati i uvećanje mobilnosti i pristupačnosti petovalentnog arsena u zemljištima (Signes-Pastor et al., 2007; Castlehouse et al., 2010; Bolan et al., 2013).

Međusobni odnos između ispitivanih osobina deposola, predstavljen analitički utvrđenim vrednostima ovih varijabli ukazuje na postojanje izvesnih korelacija. Rezultati korelacione analize pokazuju standardno visoke iznose korelacija aktivne i potencijalne kiselosti deposola ($r_{pHKCl}=0,98$, $r_H=-0,95$). Korelacija pH vrednosti sa

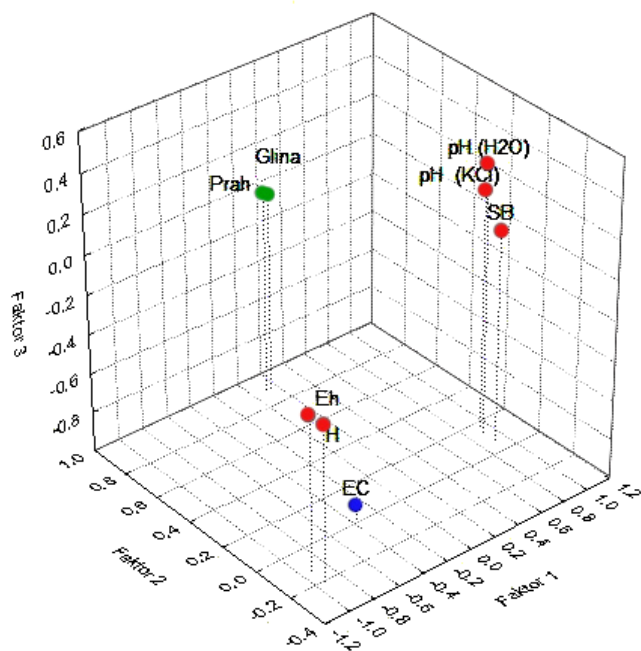
sumom baznih katjona ($r=0,85$) odlikava proces porasta pH vrednosti sa prisustvom veće količine baza u adsorptivnom kompleksu deposola borskih odlagališta. Vrednosti pH i Eh su generalno negativno korelisane u zemljištima, gde u aerobnim uslovima oksido-redukcionni potencijal teži rastu pri acidifikaciji zemljišta, dok sa njenim smanjenjem opada (Bohrerova et al., 2004; Van Breemen, 1987, po Husson, 2012). Isti odnos pH i Eh vrednosti uočen je i u deposolima borskih odlagališta ($r=-0,94$), a konstatovana korelacija vrednosti ekstrahovanih suma baza i oksido-redukcionog potencijala ovih deposola ($r=-0,82$) u saglasnosti je sa ovom tvrdnjom. Uočena korelacija ekstrahovane sume baza i pristupačnog kalijuma ($r=0,61$) potencijalno može ukazivati na stepen prisustva kalijumovih jona u ukupnoj sumi ekstrahovanih baznih katjona, s obzirom na to da se ova razmenjiva forma smatra osnovnim izvorom pristupačnog kalijuma u zemljištu (Kozak et al., 2005). Količina pristupačnog kalijuma takođe je u deposolima borskih odlagališta korelisana sa sadržajem pristupačnog magnezijuma ($r=0,62$). Električna konduktivnost kao mera zaslanjenosti negativno je korelisana sa aktivnom kiselošću rastvora ($r= -0,63$). Ova veza je donekle i očekivana, budući da je zaslanjenost ovih deposola posledica rastvorenih sulfatnih soli koje umanjuju pH vrednost rastvora. Statistički značajna, ali prilično slaba korelacija izmerenog sadržaja izmenjivih katjona ($p= 0,36$, korelacija izračunata za deo uzoraka čija je $pH<7$) i pH vrednosti povezana je sa relativnim potencijalom adsorpcije različitih katjona, koja prema Troeh i Thompson (2005) glasi: $Al^{3+} > H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$. Sa porastom kiselosti, odnosno smanjenjem pH vrednosti, veća količina kiselih jona vezuje se za postojeće koloide i istiskuje ostale katjone u rastvor, tako da kapacitet izmene katjona srazmerno opada.

Faktorijalna analiza sprovedena nad veličinama koje karakterišu fizičko-hemijske osobine deposola izdvaja tri zasebna faktora njihove varijabilnosti (tabela 98, slika 134), koja zajedno objašnjavaju 91,6% ukupnog varijabiliteta. Prvi izdvojeni faktor odnosi se na kompleks aktivne i potencijalnih kiselosti deposola, njegov oksido-redukcionni potencijal kao i ekstrahovanu sumu baznih katjona, koji svi zajedno doprinose ukupnom varijabilitetu sa 64,2 %. Prema Dold (2005), upravo odnos procesa produkcije kiselina i neutralizacije baznim katjonima određuje geohemijske oksido-redukcione i uslove pH vrednosti u sulfidnom rudničkom otpadu. Drugi faktor

varijabilnosti borskih deposola u vezi je sa mehaničkim sastavom sitne zemlje odnosno učešćem čestica različitih frakcija, i doprinosi ukupnoj varijabilnosti podataka sa 19 %. Treći izdvojeni faktor odnosi se na salinitet deposola, učestvujući u ukupnoj varijabilnosti sa 8,3 %.

Tabela 98: Faktorijalna analiza fizičko-hemijskih svojstava deposola odlagališta otkrivke u Boru (Comm. - komunalitet, Obj. var. – objašnjena varijabilnost, Prop. Tot. - ukupna proporcija, relativna težina svakog faktora u ukupnoj varijansi), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Varijabla	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Comm,
pH (H ₂ O)	*0,92	0,14	-0,35	98,0
pH (KCl)	*0,95	0,18	-0,20	96,7
H	*-0,93	-0,20	0,21	94,7
Eh	*-0,93	-0,13	0,22	92,3
SB	*0,92	0,06	-0,07	85,5
Prah	0,12	*0,91	-0,01	83,4
Glina	0,15	*0,90	0,01	82,5
EC	-0,34	0,02	*0,94	99,4
Obj,var	4,46	1,73	1,14	
Prop,Tot	0,56	0,22	0,14	



Slika 134: Vizuelni prikaz rezultata faktorijalne analize fizičko-hemijskih osobina deposola borskih odlagališta (metod rotacije: normalizovana varimax rotacija, ekstrakcija faktora: analiza glavnih komponenti)

6.3. Geobotanička karakterizacija

Areal spektar ukupne flore i horološki spektri po litološkim grupama karakterišu se dominacijom vrsta širokih areala. Šireći se u prvom redu anemohorno i antropohorno, ove vrste naseljavaju najpre otvorena, biološki relativno prazna staništa koja su cenološki i kompetitivno nedovoljno stabilizovana, uglavnom intenzivno insolirana, termofilna i higrički nestabilna.

Na ovom području, kao najbrojnija, konstatovana je grupa vrsta Holarktičkog areal tipa (65%), čiji areali zahvataju široke oblasti Severne Zemljine hemisfere. Istovremeno, najveći broj vrsta unutar ovog areal tipa pripada grupama evropsko-zapadnoazijskog podtipa i evroazijskoj grupi flornih elemenata koje zajedno čine osnovno horološko jezgro ukupne flore, kao i flore po istraživanim litološkim grupama borskih jalovišta. Svojim kvantitativnim prisustvom posebno se ovde ističu vrste *Epilobium dodonaei*, *Linaria genistifolia* i *Chenopodium botrys* (na svežim andezitima), *Calamagrostis epigejos* i

Rumex acetosella (na litološkoj grupi alterisanih hornblenda andeza), kao i *Sanguisorba minor* (na grupi dvostrukih litologija i borskih konglomerata).

Na drugom mestu se nalazi areal tip mediteransko - kontinentalnih vrsta sa ukupno 4 predstavnika (14%). Sve vrste ovog areal tipa pripadaju istoj grupi (mediteransko-pontsko-južnosibirsko-orijentalno-turanska) sa osnovnom karakteristikom da se jezgro njihovih areala nalazi u mediteranskom regionu odakle se pružaju više ili manje duboko u kontinentalna (meridionalno-submeridionalna) područja Evrope i Azije. Među njima se, na pojedinim staništima dvostrukih litologija, kao i nevezanih sedimentata, ističu vrste *Dorycnium pentaphyllum* ssp. *herbaceum* i *Petrorhagia saxifraga*. Njihovo prisustvo ukazuje na prelazni fitogeografski karakter flore borskih jalovišta između mediteranskog i srednjeevropsko-zapadnoazijskog regiona. U sličnom kontekstu pojavljuju se još dva taksona prelaznog srednjeevropsko – mediteranskog areal tipa (*Dorycnium pentaphyllum* ssp. *germanicum* i *Euphorbia cyparissias*). Ovakva zastupljenost mediteranskih vrsta u skladu je sa otvorenim, insoliranim i pretežno kserofilnim staništima borskih odlagališta otkrivke. Na sličan zaključak u prelaznoj geografsko-klimatskoj i ekološkoj karakterizaciji ovog područja upućuje i nešto značajnije kvantitativno učešće inače malobrojnih vrsta pontsko-južnosibirskog rasprostranjenja (*Centaurea arenaria* i *Erisimum diffusum*). Naime, njihovo prisustvo i uočeni značaj u primarnoj kolonizaciji ovih staništa može se objasniti izraženim kserotermnim karakterom, kao i većim uticajem kontinentalne klime sa severa i severoistoka koja vlada na obodu Panonskog basena odnosno u Istočnoj Srbiji (Randelović i Jovanović, 2013).

Prisustvo dve vrste kosmopolitskog areal tipa (*Polygonum aviculare* i *Agrostis stolonifera*) neočekivano je nisko za degradirana i ekološki nestabilna staništa poput borskih odlagališta, što se uslovno može objasniti nepovoljnim uslovima istraživanih staništa. U tom smislu, vrsta *Polygonum aviculare*, kao kosmopolit tropskog porekla i korovsko-segetalnog karaktera ima samo sporadično prisustvo bez ikakvog kvantitativnog značaja. Međutim, druga kosmopolitska vrsta evro-azijskog porekla (*Agrostis stolonifera*) ima veliku ulogu u kolonizaciji i prirodnom obrastanju jalovišta rudničke otkrivke u Boru. To se posebno odnosi na nešto vlažnija staništa sa nevezanim sedimentima na kojima ova mezo-higrofilna vrsta aluvijalnih rečnih nanosa pronalazi izvesnu ekološko-stanišnu kompenzaciju.

Analizom zastupljenosti životnih formi biljaka u ukupnoj flori odlagališta rudničke otkrivke u Boru utvrđen je njen hemikriptofitski karakter. Visoko učešće hemikriptofita (H=66%) u skladu je sa dominantnom zastupljenošću ove životne forme u flori Srbije i čitavog pojasa umerene klime (Diklić, 1984). Među hemikriptofitama istraživanih staništa u Boru, uočljiva je dominacija stablovihi formi (H scap), leti-cvetajućih (e-estivalne), i visokih biljaka (Meg ili Meg-Alt), što je u skladu sa višegodišnjim karakterom ove životne forme kao i opštim ekološko-klimatskim uslovima istraživanog područja. Ovakva zastupljenost i struktura prisutnih hemikriptofita ističe predstavnike ove životne forme kao presudne u procesima ne samo primarne, već i sekundarne kolonizacije ispitivanih staništa (Randelović i Jovanović, 2013). U tom smislu, s obzirom na visoko učešće frakcije peska kod deposola svih litoloških grupa, posebno se izdvajaju hemikriptofite psamofitskog karaktera: *Agrostis stolonifera*, *Epilobium dodonaei*, *Calamagrostis epigeios* i *Centaurea arenaria*.

Jednogodišnje vrste–terofite, iako na drugom mestu po broju predstavnika, imaju neočekivano slabo kvalitativno, ali i kvantitativno učešće u biološkom spektru flore borskih jalovišta (14%). Slična zapažanja u vezi sa niskom zastupljenošću terofita u procesima primarne sukcesije na odlagalištima kamenoloma i prirodnim stenskim odsecima navode Ribeiro (2002), Rekouhova (2007) i Jacobi et al. (2011). Detaljniji uvid u morfološku strukturu prisutnih terofita ukazuje da se uglavnom radi o stablovim oblicima (T scap), dok se u pogledu fenološke dinamike i zastupljenosti različitih kategorija porasta zapaža njihova leti-cvetajuća (estivalna) fenologija, kao i niži rast (Mes-Meg) u odnosu na hemikriptofite. Ovakva struktura životne forme terofita u direktnoj je vezi sa njenim jednogodišnjim karakterom, odnosno relativno ograničenim vegetacionim periodom i dostupnošću mineralnih resursa u okviru kojih ove biljke ostvaruju svoj ontogenetski razvoj. U prilog ovome svedoči i podatak da od samo četiri utvrđene terofite, *Crepis foetida ssp. rhoeadifolia* ima prelazni (tero-hemikriptofitski) karakter odnosno može da alternira i kao dvogodišnja (a H scap bienn) hemikriptofita.

Procentualno učešće životne forme fanerofita (drveća i žbunova) od 10% u izvesnoj meri prevazilazi zastupljenost ove životne forme u flori Srbije (7,4%, prema Dikliću, 1984) i Balkanskog poluostrva (7,2%, prema Turill, 1929). U kvantitativnom smislu, međutim, od tri konstatovane fanerofite, žbunasta vrsta *Rubus caesius* postiže značajniju brojnost i pokrovnost na pojedinim deposolima borskih konglomerata i

nevezanih sedimenata. Ostale fanerofite (*Populus nigra* i *Betula pendula*) imaju nešto manji strukturno - cenološki značaj. Činjenica da sve tri zabeležene fanerofite predstavljaju autohtone biljke, ide u prilog tezi o visokom značaju okolne prirodne vegetacije u sukcesijama degradiranih staništa (Prach i Řehouňková, 2006). Istovremeno, uprkos potpunoj otvorenosti ovih staništa i odsustvu kompeticije autohtonih vrsta, adventivne fanerofite ipak odsustvuju, što dodatno potvrđuje nepovoljnost ekoloških uslova.

Procentualno učešće životne forme hamefita (Ch=10%) u relativnom je skladu sa njenim prisustvom u flori Srbije (9,8%, prema Diklić, 1984) i Balkanskog poluostrva (15,2%, prema Turill, 1929). Ovakav podatak iznenađuje s obzirom na činjenicu da ova životna forma karakteriše pre svega ekološki stabilnija staništa sa primarnom zeljastom vegetacijom u kojoj antropozoogeni uticaji potpuno odsustvuju, ili su neznatno izraženi (visokoplaninske rudine, kamenjari, stene i sl.). Ipak, prisustvo tri poludrvenaste busenaste hamefite (Ch suff caesp) govori da su u pitanju vrste koje prirodno preferiraju staništa poput suvih serpentinitičkih kamenjara čija se zemljišta odlikuju nepovoljnim odnosom Ca/Mg, kao i visokim sadržajem metala. Na pojedinim staništima odlagališta otkrivke u Boru ove vrste su pronašle supstituciju za svoja primarna staništa. Od prisutnih hamefita, veliki potencijalni značaj u smislu obogaćivanja supstrata azotom, mogu imati predstavnici familije Fabaceae: *Dorycnium pentaphyllum* ssp. *herbaceum* i *Dorycnium pentaphyllum* ssp. *germanicum*.

Odsustvo životne forme geofita je indikativno za ovakva staništa s obzirom da su pedogenetski procesi prisutni samo u inicijalnim fazama. To se posebno odnosi na lukovičaste i krtolaste geofite koje su uglavnom vezane za stabilnija staništa koja predstavljaju ostatke autohtone vegetacije šumskog, stepskog ili livadskog tipa, dok u novoformiranim ili jako narušenim i promenljivim staništima potpuno odsustvuju. Predstavnici životne forme skandentofita (lijane - puzavice) takođe u potpunosti odsustvuju na samoniklo obraslim delovima rudničke otkrivke u Boru, što je i očekivano s obzirom na njihov pretežno geofitski karakter kao i siromašan vegetacijski pokrivač. Rezultati istraživanja Randelović i sar. (2014) pokazuju veoma nisku zastupljenost životnih formi terofita i geofita na rekultivisanim i nerektivisanim delovima jalovišta u Boru, svrstavajući ih u generalno neuspešne kolonizatore ispitivanih staništa.

Najveći diverzitet, kao i najusklađeniji odnos životnih formi prisutan je na staništima sa nevezanim sedimentima, nešto manji diverzitet konstatovan je na deposolima hornblenda andezita, dok je na deposolima alterisanih hornblenda andezita situacija u ovom smislu još uniformnija.

Hemikriptofite dominiraju na deposolima svih litoloških grupa, dostižući najveću brojnost na deposolima borskih konglomerata (13 vrsta). Inače, borski konglomerati se na ovom području karakterišu najvećim diverzitetom vrsta kao i najvećom raznovršnošću životnih formi biljaka. To neposredno ukazuje i na veći stepen heterogenosti ekoloških uslova unutar deposola ovih litoloških grupa, u kojima različite životne forme pronalaze određeni ekološki (edafogeni) minimum za opstanak i razvoj.

Uvid u spektar vegetacijske odnosno sintaksonomske pripadnosti flore nekog područja ima značaj u indikacionoj ekologiji i može pružiti dodatnu argumentaciju u ekološkoj karakterizaciji određenog područja. U tom smislu, spektar sintaksonomske pripadnosti biljnih vrsta koje se spontano razvijaju na odlagalištu rudničke otkrivke u Boru predstavlja odraz ekoloških uslova istraživanih staništa i stepena antropogenih uticaja (tabela 69).

Analiza vegetacijske pripadnosti ukazuje na dominaciju vrsta koje preferiraju kserofilne i polukserofilne livadske, livado-stepske i stepske biljne zajednice klase *Festuco-Brometea* (ukupno 8 vrsta). Istovremeno, na dominaciju cenobionata sekundarnih livadsko-pašnjačkih ekosistema ukazuje i prisustvo vrste *Agrostis stolonifera* koja je karakteristična za higro-mezofilne livadske zajednice iz klase *Molinio-Arrhenatheretea*, indicirajući na taj način submezofilne uslove na pojedinim staništima sa nevezanim i hidrotermalno alterisanim litološkim materijalom. Na slične higričke uslove unutar pomenutih staništa ukazuje i značajno prisustvo vrste *Calamagrostis epigejos* koja u prirodnim uslovima preferira higrofilne vrbove šume i šibljake iz klase *Salicetea purpureae*. Izražen antropogeni uticaj na ovim staništima se manifestuje u značajnom prisustvu ruderalno – korovskih taksona (ukupno 7), grupisanih u okviru klasa: *Chenopodietea*, *Artemisietea vulgaris*, *Stellarietea mediae* i *Plantaginetea majoris*. Sporadično prisustvo drvenaste vrste *Populus nigra*, koja je karakteristična za higrofilne listopadne šume iz reda *Populetalia albae* (obuhvaćenog vegetacijskom klasom *Quercu-Fagetea*), može se dovesti u vezu sa uticajem okolne šumske vegetacije i uslovima vlažnosti pojedinih mikro-staništa. Ipak, najveći

vegetacijsko-indikatorski značaj u ekološkoj karakterizaciji ovih staništa ima (pored predstavnika klase *Festuco-Brometea*), apsolutno dominirajuća vrsta *Epilobium dodonaei*, kao jedini predstavnik vegetacije suvih stena i sipara iz klase *Thlaspietea rotundifolii*.

6.3.1. Analiza bioindikatorskih vrednosti

Na osnovu objedinjenih srednjih vrednosti ekoloških indeksa biljnih vrsta koje se spontano razvijaju na istraživanim staništima rudničke otkrivke u Boru, može se izvršiti generalna ekološka karakterizacija ukupnog područja.

U pogledu termičkog režima, srednja vrednost ekološkog indeksa od $X_{sr} = 5,73$ odnosno $M_e = 5,79$, uz najveći udeo vrsta koje su karakteristične za brdski, subplaninski i planinski pojas listopadnih šuma, ukazuje na to da su u pitanju pretežno mezotermna staništa. S obzirom da frigorifilne vrste u potpunosti odsustvuju, a da su prisutne pojedine subtermofilne (*Centaurea arenaria* i *Petrorhagia saxifraga*), kao i termofilna vrsta *Chenopodium botrys*, staništa odlagališta otkrivke u Boru se mogu generalno okarakterisati kao mezotermno - subtermofilna.

Srednja vrednost ekološkog indeksa za vlažnost podloge ($X_{sr} = 4,50$, $M_e = 4,13$) ukazuje na polusušna do poluvlažna staništa. U prilog ovome govore podaci da su biljke poluvlažnih i vlažnih staništa prisutne sa ukupno 30%, dok su biljke polusušnih staništa, ksero-tolerantne, ksero-indikativne, kao i biljke ekstremno suvih staništa prisutne sa ukupno oko 60%. S tim u vezi, staništa odlagališta otkrivke u Boru se u pogledu higričkog režima mogu generalno okarakterisati kao subksero-submezofilna.

Reakcija podloge sa prosečnom vrednošću ekološkog indeksa od $X_{sr} = 6,78$ odnosno $M_e = 7$ i preovlađujućim prisustvom biljaka koje se razvijaju na bazičnijim zemljištima (33,3%), kao i bazofilnih biljaka (26,6%) ukazuje da se podloga odlagališta otkrivke u Boru generalno može okarakterisati kao umereno alkalna do neutralna. Ekstremno acidofilne vrste u potpunosti odsustvuju, dok se od dve prisutne umereno acidofilne biljke jedino *Rumex acetosella* pojavljuje u većoj meri (lokalizovano) na pojedinim staništima, indicirajući nižu pH vrednost njihove podloge.

Sadržaj ukupnog azota, sa srednjom vrednošću ekološkog indeksa od $X_{sr}=3,56$ odnosno $M_e = 3,5$, ukazuje na oligo- do mezotrofni karakter podloge rudničke otkrivke, pri čemu je udeo biljaka koje indiciraju oligotrofnost podjednak u odnosu na vrste koje ukazuju na mezotrofnost (20%). Prisustvo vrsta mezotrofnog karaktera (u prvom redu *Calamagrostis epigejos* i *Agrostis stolonifera*) koje se, međutim, mogu razvijati i na staništima sa veoma ograničenom količinom azota, kao i nešto izraženije prisustvo biljaka koje se razvijaju na staništima ekstremno siromašnim azotom (16,67%) i indikatora umereno oligotrofnih (6,67%) do submezotrofnih staništa (13,33%), ukazuju na preovlađujuću oligotrofnost odnosno generalno nizak sadržaj ukupnog azota.

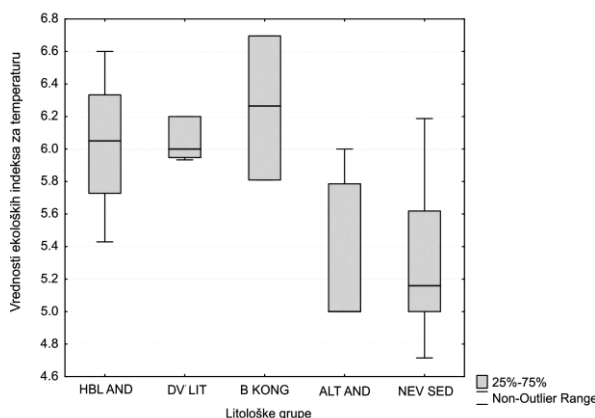
Srednja vrednost ekološkog indeksa za svetlosni režim staništa od $X_{sr}=8,07$ odnosno $M_e = 8,05$ ukazuje na otvorenost istraživanih površina rudničke otkrivke u Boru, pri čemu dominiraju biljke svetlosti (heliofite, sa 63,3%) uz relativno visoko učešće prelazne grupe između heliofita i polusciofita (20%).

Bioindikacija nivoa saliniteta rudničke otkrivke u Boru sa srednjom vrednošću ekološkog indeksa od $X_{sr}=0,32$, odnosno $M_e = 0,22$ ukazuje da su u pitanju generalno nezaslanjena staništa u kojima dominiraju halofobne vrste (ukupno 23). Međutim, prisustvo dve vrste koje su tolerantne na zaslanjenost, mada pretežno naseljavaju nezaslanjena zemljišta (*Agrostis stolonifera* i *Lotus corniculatus*), kao i jedne oligosaline (*Polygonum aviculare*) i jedne mezosaline vrste (*Rubus caesius*), ukazuje na mestimičnu pojavu inicijalnih procesa salinizacije.

Mera kontinentalnosti istraživanog područja (u okvirima evropskog prostora), izražena srednjom vrednošću ekološkog indeksa od $X_{sr}=5,09$ odnosno $M_e = 5$, ukazuje na prelazni, intermedijarni karakter subokeansko - subkontinentalnog tipa, sa relativno ujednačenim učešćem vrsta koje su prisutne u centralnoj i istočnoj Evropi.

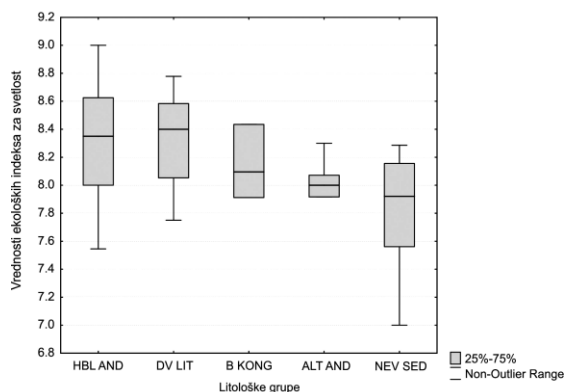
Analiza varijanse bioindikatorskih vrednosti biljaka u odnosu na grupe litoloških podloga pokazala je statistički značajne razlike indikatorskih vrednosti za temperaturu, vlažnost, kiselost, sadržaj azota, svetlost i salinitet. Opsezi bioindikatorskih vrednosti i izmerenih podataka prikazani su box-plot dijagramima (slike 117-125), na kojima je istaknuta medijana vrednosti. Kao skraćenice naziva litoloških grupa korišćene su: HBL AND – hornblenda andeziti, DV LIT – dvostruke litologije, B KONG – borski konglomerati, ALT AND – alterisani hornblenda andeziti, NEV SED – nevezani sedimenti. Na slici 135 uočljive su nešto više srednje vrednosti ekoloških indeksa za

temperaturu kod grupe deposola sa svežih andezita, kao i kod grupe sa dvostrukih litologija i borskih konglomerata, koje su termofilnije u odnosu na deposele alterisanih andezita i nevezanih sedimenata.

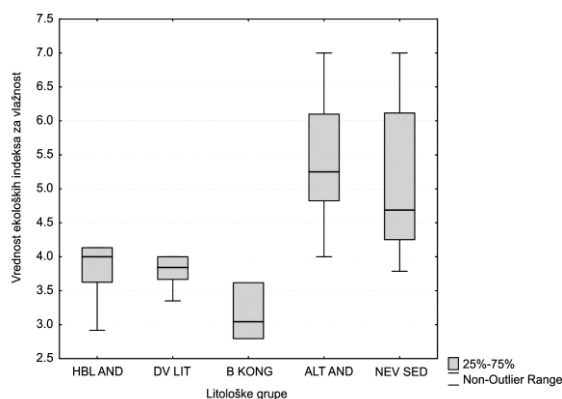


Slika 135: Raspodela bioindikatorskih vrednosti za temperaturu (prema Borhidi, 1995) po litološkim grupama borskog odlagališta ($F=7,825$, $p=0,000$).

Proporcionalno termičkom režimu, uslovi svetlosti su takođe indicirani većim ekološkim indeksima (slika 136) kod litoloških grupa svežih andezita, dvostruke litologije i konglomerata u odnosu na nevezani sediment i alterisani andezit, dok je vlažnost u obrnuto proporcionalnom odnosu (slika 137) pokazujući osetno veću indikatorsku vrednost za vrste na nevezanom sedimentnom materijalu i alterisanom andezitu. Submezofilni karakter prisutnih biljnih vrsta na ove dve grupe može se dovesti u vezu sa činjenicom da nevezani sediment predstavlja rastresitu matičnu podlogu po prirodi uvećane permeabilnosti i vododrživosti, dok je alterisani andezit takođe permeabilniji od preostalih grupa litologija zbog prisustva prslina ispunjenih sekundarnim mineralima rastvornog karaktera, koje vremenom postaju propusne za dotok površinske vode.

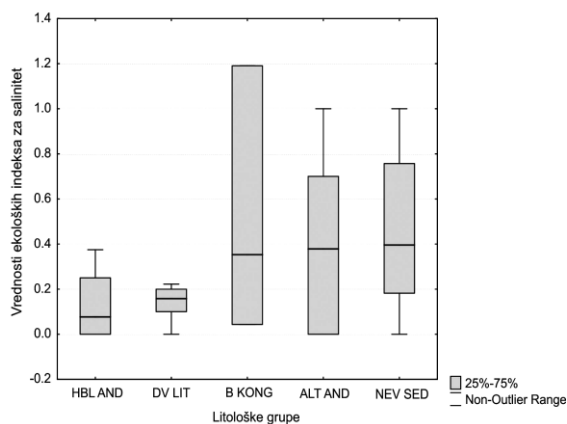


Slika 136: Raspodela bioindikatorskih vrednosti za svetlost po litološkim grupama borskog odlagališta ($F=3,552$, $p=0,014$).

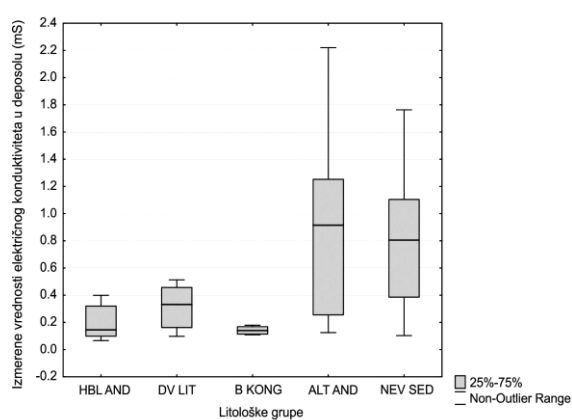


Slika 137: Raspodela bioindikatorskih vrednosti za vlažnost po litološkim grupama borskog odlagališta ($F=5,015$, $p=0,002$).

Prisustvo sulfata, nastalih oksidacijom praškastih sulfida u izmenjenim andezitima i nevezanim sedimentima omogućava postepeni razvoj procesa salinizacije što se u ekološkom smislu odražava kroz pojavu nekoliko halo-tolerantnih i oligosalinih vrsta koje ih naseljavaju (slika 138). Pored toga, izmerene vrednosti električnog konduktiviteta (EC) u deposolu - rizosferi uzorkovanih vrsta pokazuju sličnu vrstu raspodele i statistički značajnu razliku varijanse između konstatovanih litoloških grupa borskog odlagališta (slika 139). Grupa borskih konglomerata veoma je heterogena po svom sastavu, što može biti i uzrok jačem variranju bioindikatorskih vrednosti saliniteta kod biljnih vrsta koje je obrastaju.



Slika 138: Raspodela bioindikatorskih

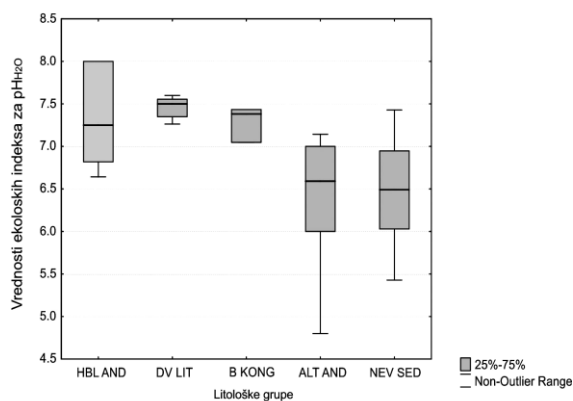


Slika 139: Izmerene vrednosti električnog

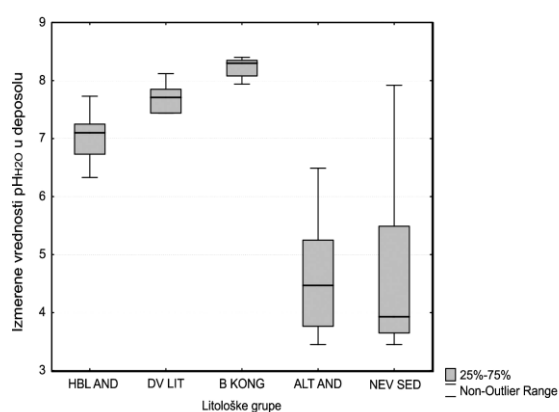
vrednosti za saliniteta po litološkim grupama borskog odlagališta (F=3,006, p =0,030).

konduktiviteta u uzorcima deposola po litološkim grupama borskog odlagališta (F=6,057, p =0,000).

Na istraživanim površinama borskog odlagališta konstatovana je statistički značajna varijansa srednjih bioindikatorskih vrednosti za pH vrednost kod grupa biljaka koje obrastaju različite tipove geološke podloge (slika 140). Utvrđene indikatorske vrednosti prate i izmerene pH vrednosti odnosno aktivnu kiselost deposola formiranih nad ovim tipovima geoloških podloga (slika 141). Izuzetak u ovom pogledu čine borski konglomerati, koji svojim heterogenim sastavom uslovljavaju i pojavu relativno velikog raspona indikatorskih vrednosti za pH biljnih vrsta koje ih naseljavaju.



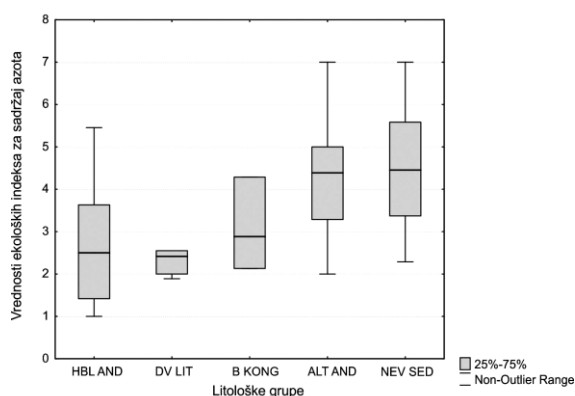
Slika 140: Raspodela bioindikatorskih vrednosti za pH vrednosti po litološkim grupama borskog odlagališta (F=6,385, p =0,000).



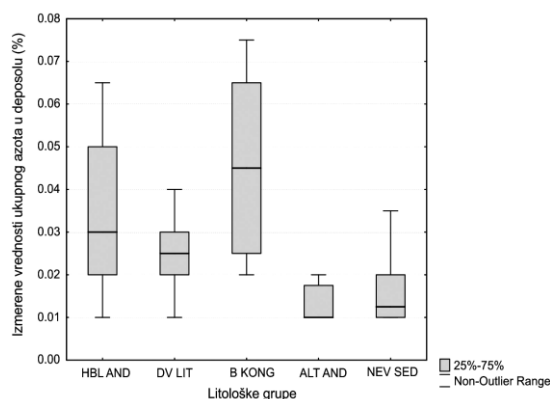
Slika 141: Izmerene vrednosti aktivne kiselosti u uzorcima deposola po litološkim grupama borskog odlagališta (F=25,402, p =0,000).

Bioindikacijske vrednosti biljaka za azot ukazuju da sveže andezite, kao i grupe dvostruke litologije i borske konglomerate karakteriše izražena oligotrofnost, dok se na izmenjenom andezitu i nevezanom sedimentu razvijaju biljke koje indiciraju mezotrofne do submezotrofne uslove podloge. Sa druge strane, međutim, indikativno je da na pojedinačnim poljima sa visokom srednjom indikatorskom vrednošću za azot preovlađuju vrste *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. i *Agrostis stolonifera* L. koje prema Borhidi-ju (1995) ukazuju na mezotrofne do submezotrofne uslove, a čija je

pojava zabeležena i pri malim količinama azota i veoma ograničenoj ukupnoj produktivnosti zemljišta (Hodson et al., 1985; Süß et al., 2004; Wang, 2007; Tuma et al., 2009; Gajić, 2014). Stoga izračunate vrednosti indeksa za azot (slika 142) u ovom slučaju ne moraju odražavati i stvarnu meru snabdevenosti deposola borskog odlagališta azotom, na šta ukazuju i izmerene vrednosti ukupnog azota u rizosferi uzorkovanih biljaka na različitim tipovima litologija, koje pokazuju drugačiju raspodelu (slika 143).



Slika 142: Raspodela bioindikatorskih vrednosti za azot po litološkim grupama borskog odlagališta ($F=4,033$, $p=0,008$).



Slika 143: Izmerene vrednosti ukupnog azota u uzorcima deposola po litološkim grupama borskog odlagališta ($F=7,506$, $p=0,000$).

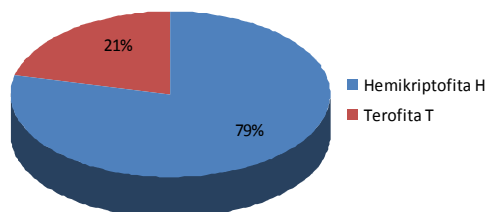
Bioindikacijske vrednosti za kontinentalnost ne pokazuju statistički značajne razlike između različitih tipova litologija na odlagalištu otkrivke u Boru.

6.3.2. Ekološke karakteristike cenotičkih stadijuma

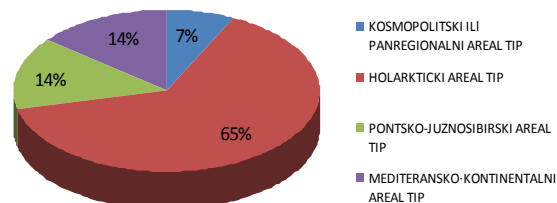
Izdvojeni cenotički stadijumi na području borskih odlagališta ukazuju na direktnu povezanost određenih razvojnih vegetacijskih stadijuma sa utvrđenim litološkim grupama, odnosno karakteristikama deposola koji su nastali njihovim razlaganjem i raspadom.

6.3.2.1. *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia* - razvojni vegetacijski stadijum

Vegetacijski stadijum *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia* razvija se na deposolima rudničke otkrivke formiranim od hornblenda andezita. U 13 fitocenoloških snimaka koji predstavljaju ovaj stadijum konstatovano je ukupno 14 biljnih vrsta sa prosečnom vrednošću od 2,9 vrsta po snimku. Dominantne i karakteristične vrste formiraju oskudno do srednje bogato razvijene sastojine koje pokrivaju 10-60% snimljene površine (prosečno 37,7%). Istovremeno, dominantne i dijagnostičke vrste ovog stadijuma pokazuju i najveći stepen prisutnosti - frekventnosti (*Epilobium dodonaei* = 77%; *Linaria genistifolia* = 61,5%; *Agrostis stolonifera* = 53,8%). Ostale vrste su prisutne u najviše četiri snimka (*Calamagrostis epigejos*), tri snimka (*Chenopodium botrys*), dva snimka (*Bromus tectorum*), dok su ostale vrste prisutne u po jednom fitocenološkom snimku. Spektar životnih formi ovog stadijuma pokazuje najmanji diverzitet s obzirom da su, pored 11 hemikriptofita, prisutne još samo 3 terofitske vrste (slika 144). Horološki spektar cenobionata ovog vegetacijskog stadijuma (slika 145), slično kao i kod drugih istraživanih litoloških tipova, pokazuje dominaciju vrsta širokog - evroazijskog rasprostranjenja (Holarktički areal tip), među kojima se svojim kvantitativnim učešćem posebno ističu dominantne i dijagnostičke vrste *Epilobium dodonaei* i *Linaria genistifolia*.



Slika 144: Spektar životnih formi razvojnog stadijuma *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia* na deposolima svežih andezita



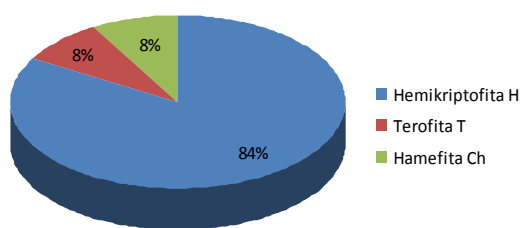
Slika 145: Horološki spektar razvojnog stadijuma *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia* na deposolima svežih andezita

Analiza indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka na staništima svežih andezita (slike 135 - 141), ukazuje da se radi o subtermofilnim, dobro insoliranim, polusušnim, blago baznim, nezaslanjenim i umereno oligotrofnim staništima. Analize deposola iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta sa ovih staništa pokazuju da se njihove pH vrednosti kreću u opsegu od kiselih do blago alkalnih, pri čemu je većina uzoraka u kategoriji blago alkalnih, što je u saglasnosti sa srednjim indikatorskim vrednostima fitocenoloških snimaka ovog vegetacijskog stadijuma. Rezultati merenja električne konduktivnosti njihovih deposola potvrđuju da nema izražene pojave salinizacije. Deposoli hornblenda andezita, na kojima se razvija vegetacijski stadijum *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia*, visoko su obezbeđeni pristupačnim kalijumom, slabo do srednje obezbeđeni pristupačnim fosforom, generalno siromašni ukupnim azotom i slabo obezbeđeni organskom materijom. Sa druge strane, ova staništa veoma dobro su obezbeđena pristupačnim kalcijumom i srednje obezbeđena pristupačnim magnezijumom. Sadržaji pseudo-ukupnog arsena kao i pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog bakra ovde prevazilaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju kao i remedijacione i korigovane remedijacione vrednosti propisane nacionalnim uredbama. Ostali analizirani metali zastupljeni su u manjim količinama koje ne prelaze propisane i remedijacione vrednosti, ali višestruko prelaze prosečan sadržaj metala u odnosu na površinske slojeve zemljišta Evrope.

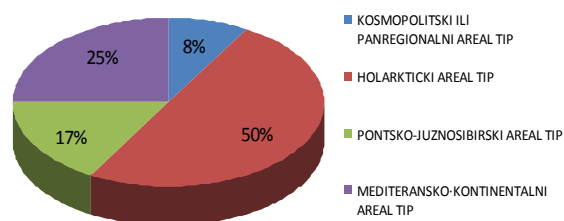
Dominantne vrste ovog razvojnog stadijuma pokazuju različite strategije u odnosu na usvajanje metala i metaloida u deposolu. Vrste *Epilobium dodonaei* i *Linaria genistifolia*, kvantitativno najzastupljenije na ovom staništu, primenjuju strategiju izbegavanja usvajanja bakra i olova, dok pojava akumulacije u odnosu na pristupačan arsen karakteriše vrstu *Linaria genistifolia*, a u odnosu na pristupačan hrom *Epilobium dodonaei*. Vrsta *Agrostis stolonifera* poseduje sposobnost isključivanja akumulacije (u nadzemnim delovima) za pristupačne sadržaje svih ispitivanih elemenata i ukupne sadržaje cinka. Vrsta *Calamagrostis epigejos* takođe pokazuje sposobnost akumulacije u odnosu na sadržaj pristupačnog arsena, kao i isključivanja akumulacije pristupačnog bakra, pristupačnog i pseudo-ukupnog cinka.

6.3.2.2. *Epilobium dodonaei* - *Sanquisorba minor* - razvojni vegetacijski stadijum

Vegetacijski stadijum *Epilobium dodonaei* - *Sanquisorba minor* karakteriše površine odlagališta otkrivke sa dvostrukom litologijom. U pet fitocenoloških snimaka koji reprezentuju ovaj stadijum konstatovano je ukupno 13 biljnih vrsta sa prosečnom vrednošću od 5 vrsta po snimku. Dominantne i karakteristične vrste formiraju srednje bogato razvijene sastojine koje pokrivaju 20-50% snimljene površine (prosečno 40%). Najveći stepen prisutnosti - frekventnosti imaju dominantne vrste *Epilobium dodonaei* (100%) i *Agrostis stolonifera* (80%), kao i jedna od dijagnostičkih vrsta *Erysimum diffusum* (60%). Vrste *Calamagrostis epigejos*, *Linaria genistifolia* i *Sanguisorba minor* su prisutne u najviše dva fitocenološka snimka (40%), dok su ostale vrste zabeležene u po jednom snimku. Spektar životnih formi ovog stadijuma, slično kao i kod prethodnog, pokazuje nizak diverzitet koji se zasniva na apsolutnoj dominaciji hemikriptofita (10 vrsta), uz pojedinačno učešće jedne terofitske i jedne hamefitske vrste (slika 146). Osnovno horološko jezgro ovog vegetacijskog stadijuma, uprkos najmanjoj zastupljenosti upravo na ovom tipu litologije, ipak čine vrste Holarktičkog areal tipa (slika 147), ali uz nešto veće učešće Mediteransko - kontinentalnih vrsta (ukupno 3), među kojima se posebno ističe *Dorycnium pentaphyllum* ssp. *herbaceum*.



Slika 146: Spektar životnih formi razvojnog stadijuma *Epilobium dodonaei* - *Sanquisorba minor* na deposalima dvostrukih litologija



Slika 147: Horološki spektar razvojnog stadijuma *Epilobium dodonaei* - *Sanquisorba minor* na deposalima dvostrukih litologija

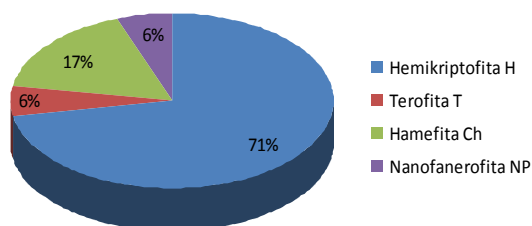
Analiza indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka na staništima dvojne litologije (slike 135 - 141), ukazuje da se radi o subtermofilnim staništima (za nijansu toplijim od svežih andezita), koja su takođe dobro insolirana, izraženije polusušna do sušna, blago bazna, nezaslanjena i umereno oligotrofna. Analize deposola iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta na ovim staništima pokazuju da se njihove pH vrednosti kreću u opsegu od blago kiselih do srednje alkalnih, pri čemu većina uzoraka iz ove grupe spada u kategoriju blago alkalnih, što odražavaju i srednje indikatorske vrednosti vrsta na lokacijama ovog stadijuma. Električna konduktivnost rastvora deposola ne ukazuje na postojanje procesa salinizacije. Sadržaj pristupačnog kalijuma je visok, dok je stepen obezbeđenosti fosforom srednji. Ispitivani deposoli veoma su siromašni azotom (iako srednje indikatorske vrednosti za azot ukazuju na umerenu oligotrofnost), dok se u pogledu sadržaja organske materije ova staništa mogu smatrati slabo obezbeđenim do obezbeđenim. Nizak utvrđeni sadržaj ukupnog azota u deposolima ovog stadijuma može indicirati i prisustvo azotofiksirajuće dominantne vrste *Dorycnium pentaphyllum* ssp. *herbaceum* kao i dijagnostičke vrste *Medicago* sp. Ova staništa veoma dobro su obezbeđena pristupačnim kalcijumom i srednje obezbeđena pristupačnim magnezijumom. Odlikuju se najvišim sadržajem pseudo-ukupnog arsena u odnosu na ostale grupe staništa i povišenim sadržajem pseudo-ukupnog i pristupačnog bakra, koji prevazilaze propisane maksimalne dozvoljene koncentracije i propisane remedijacione vrednosti. Ostali elementi prisutni su u koncentracijama koje su ispod graničnih, ali je stepen obogaćenja ispitivanih deposola ovih staništa i dalje višestruko veći od proseka za evropska zemljišta.

Uzorkovane dominantne vrste ovog vegetacijskog stadijuma takođe pokazuju različite strategije u odnosu na usvajanje metala i metaloida iz podloge. Pored ranije navedenih, vrsta *Sanguisorba minor* pokazuje pojačano nagomilavanje hroma i arsena u svom korenu u odnosu na njihove pristupačne sadržaje u deposolu. Vrsta *Dorycnium pentaphyllum* isključuje akumulaciju (u nadzemnom delu) u odnosu na pristupačan arsen, hrom i cink. Obe vrste primenjuju strategiju izbegavanja usvajanja bakra i olova iz deposola.

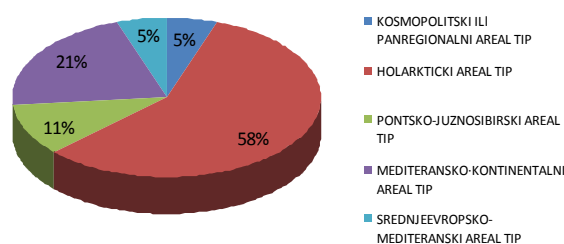
6.3.2.3. *Epilobium dodonaei* - *Centaurea arenaria* - razvojni vegetacijski stadijum

Vegetacijski stadijum *Epilobium dodonaei* - *Centaurea arenaria* razvija se na deposolima odlagališta otkrivke formiranih od borskih konglomerata. U svega tri fitocenološka snimka koja reprezentuju ovaj stadijum konstatovano je ukupno 19 biljnih vrsta, sa prosečnom vrednošću od 10 vrsta po snimku. Dominantne i karakteristične vrste formiraju dobro razvijene sastojine koje pokrivaju 35-85% snimljene površine (prosečno 55%). Najveći stepen prisutnosti - frekventnosti imaju dominantne vrste *Epilobium dodonaei* (100%), *Centaurea arenaria* (100%), *Sanguisorba minor* (100%), kao i *Echium vulgare* (100%), koja uz nominalnu vrstu *Centaurea arenaria* predstavlja jednu od dijagnostički najznačajnijih predstavnika ovog vegetacijskog stadijuma. Relativno visokim stepenom prisutnosti (po 67%) odlikuju se vrste *Rubus caesius*, *Agrostis stolonifera* i *Linaria genistifolia*, dok su ostale vrste na borskim konglomeratima zabeležene samo u po jednom fitocenološkom snimku. Spektar životnih formi ovog stadijuma ima takođe izražen hemikriptofitski karakter (13 vrsta), ali sa nešto većim diverzitetom ostalih životnih formi, koji se ogleda u prisustvu sva tri zabeležena hamefitska taksona (*Dorycnium pentaphyllum* ssp. *germanicum*, *D. pentaphyllum* ssp. *herbaceum* i *Alyssum murale*, kao i pojavom žbunaste vrste *Rubus caesius* (slika 148). Horološki spektar ovog vegetacijskog stadijuma, slično kao i kod drugih istraživanih litoloških grupa (slika 149) pokazuje dominaciju vrsta širokog - evroazijskog rasprostranjenja (Holarktički areal tip), među kojima se svojim kvantitativnim učešćem posebno ističu dominantne vrste *Epilobium dodonaei* i *Sanguisorba minor*. Međutim, indikativno je upravo za ovaj tip deposola odnosno odgovarajuće litološke podloge, prisustvo sve četiri vrste prelaznog mediteransko - kontinentalnog areal tipa (*Festuca valesiaca*, *Dorycnium pentaphyllum* ssp. *herbaceum*, *Petrorhagia saxifraga* i *Alyssum murale*), obe vrste takođe prelaznog srednjeevropsko-mediteranskog areal tipa (*Dorycnium pentaphyllum* ssp. *germanicum* i *Euphorbia cyparissias*), kao i obe vrste pontsko - južnosibirskog areal tipa (*Centaurea arenaria* i *Erysimum diffusum*). Pored izraženije litološke, a posledično i ekološke heterogenosti, ovakva zastupljenost prelaznih - mediteranskih vrsta u širem smislu, kao i predstavnika pontsko - južnosibirskog rasprostranjenja, u skladu je sa ekološkim karakterom ovih

staništa koja su ksero-termnija od svih drugih grupa litologije. U prilog ovakvoj konstataciji stoji i analiza indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka na staništima borskih konglomerata (slike 135 - 141) koja, pored izraženije ksero-termnosti, kao i standardne heliofilnosti, ukazuje i na prisustvo vrsta koje preferiraju baznu podlogu, ali i na umerenu oligotrofnost.



Slika 148: Spektr životnih formi razvojnog stadijuma *Epilobium dodonaei* - *Centaurea arenaria* na deposolima borskih konglomerata



Slika 149: Horološki spektr razvojnog stadijuma *Epilobium dodonaei* - *Centaurea arenaria* na deposolima borskih konglomerata

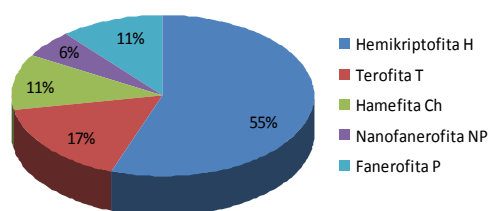
Uzorkovani deposoli formirani na borskim konglomeratima spadaju u kategoriju srednje alkalnih, bez izraženih procesa salinizacije, što potvrđuju i odgovarajuće srednje vrednosti ekoloških indeksa na poljima sa ovim vegetacijskim stadijumom. Ispitivani deposoli visoko su obezbeđeni pristupačnim kalijumom, veoma dobro obezbeđeni pristupačnim kalcijumom, a srednje do dobro obezbeđeni pristupačnim fosforom i magnezijumom. Pokazuju najvišu prosečnu vrednost sume ekstrahovanih baznih katjona u odnosu na ostale litološke grupe, što je propraćeno prisustvom bazifilnih dominantnih i dijagnostičkih vrsta (*Epilobium dodonaei*, *Sanguisorba minor*, *Festuca valesiaca* i druge). Slabo su obezbeđeni organskom materijom, a siromašni ukupnim azotom. Ova staništa odlikuju se visokim sadržajem ispitivanih metala i metaloida, pri čemu su utvrđene koncentracije bakra, olova, cinka i hroma više u odnosu na ostale grupe deposola. Koncentracije pseudo-ukupnog arsena i bakra, kao i pristupačnog bakra višestruko prevazilaze nacionalne maksimalne dozvoljene koncentracije i remedijacione vrednosti. Sadržaji ostalih ispitivanih elemenata nalaze se ispod propisanih graničnih vrednosti.

Uzorkovane vrste nalaze se među dominantnim i dijagnostičkim vrstama ovog vegetacijskog stadijuma. Pored već ranije navedenih taksona, dominantna *Centaurea arenaria* odlikuje se strategijom izbegavanja usvajanja bakra i olova, a strategijom isključivanja akumulacije arsena, hroma i cinka, u odnosu na koje pokazuje sposobnost skladištenja u korenu. Vrsta *Festuca valesiaca* primenjuje strategiju isključivanja akumulacije u odnosu na pristupačne sadržaje arsena, hroma, bakra, olova i cinka.

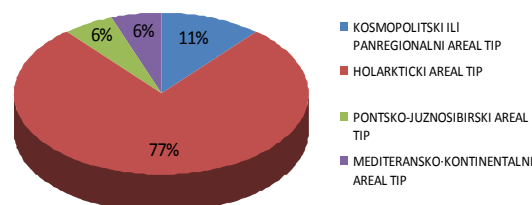
6.3.2.4. *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* - razvojni vegetacijski stadijum

Vegetacijski stadijum *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* razvija se na deposolima otkrivke sastavljene od nevezanih sedimenata, ali i deposolima alterisanih andezita. U okviru 22 fitocenološka snimka koja objedinjavaju oba tipa litologije konstatovano je ukupno 18 biljnih vrsta, sa prosečnom vrednošću od 2,9 vrsta po snimku. Dominantne vrste formiraju oskudne (pre svega na deposolima alterisanih andezita), do relativno dobro razvijene sastojine (pretežno na deposolima nevezanih sedimenata), koje pokrivaju 15-75% snimljene površine (prosečno 41,6%). Najveći stepen prisutnosti - frekventnosti ima dominantna vrsta *Agrostis stolonifera* (82%), dok su *Calamagrostis epigejos* i *Epilobium dodonaei* prisutne u po 45% snimljenih površina. Od ostalih vrsta, jedino je *Rumex acetosella* zabeležena u 5 snimaka (23%), *Linaria genistifolia* i *Chenopodium botrys* u po 3 snimka, *Centaurea arenaria* i *Lotus corniculatus* u po dva snimka, dok su ostale vrste prisutne samo u po jednom snimku. Spektar životnih formi ovog stadijuma na nevezanim sedimentima i alterisanim andezitima pokazuje najveći diverzitet, kao i najusklađeniji odnos životnih formi koji se zasniva na dominaciji hemikriptofita (10 vrsta), uz prisustvo tri terofitske, po dve hamefitske i drvenaste vrste, kao i jednom žbunastom formom (slika 150). Slično važi i za horološki spektar u kojem se sa ukupno 13 vrsta dominantno izdvaja holarktički areal tip. Ipak, slično spektru životnih formi, horološkom diverzitetu ovog vegetacijskog stadijuma mnogo više doprinose biljke koje se razvijaju na nevezanim sedimentima gde su jedino prisutni predstavnici svih ostalih areal tipova među kojima se u kvantitativnom smislu posebno ističe kosmopolitska, nominalna vrsta *Agrostis*

stolonifera (slika 151). Analize indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka na staništima alterisanih andezita i nevezanih sedimenata, koje su detaljnije prikazane u prethodnom poglavlju (slike 135 - 141), ukazuju da se na oba tipa litologije radi o pretežno mezotermnim staništima (hladnijim i nešto slabije insoliranim od grupa svežih andezita, dvojne litologije i borskih konglomerata), koja su osetno vlažnija (submezofilna), pretežno neutralne do blago kisele reakcije, oligotrofna, sa prisutnim inicijalnim procesima salinizacije.



Slika 150: Spektar životnih formi razvojnog stadijuma *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* na deposolima izmenjenih andezita i nevezanih sedimenata



Slika 151: Horološki spektar razvojnog stadijuma *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* na deposolima izmenjenih andezita i nevezanih sedimenata

Analize deposola iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta ovog razvojnog stadijuma pokazuju varijacije u pH vrednostima od ekstremno kiselih do blago alkalnih, pri čemu većina uzoraka sa deposola alterisanih andezita i nevezanih sedimenata spada u kategorije jako do ekstremno kiselih, što u izvesnoj meri odstupa od srednjih vrednosti indeksa kiselosti fitocenoloških snimaka ovog stadijuma. Najniža ustanovljena prosečna suma ekstrahovanih baznih katjona takođe karakteriše ovu grupu deposola. U pogledu sadržaja pristupačnog kalcijuma spadaju u dobro obezbeđene, a srednje su obezbeđeni i pristupačnim magnezijumom. Električna konduktivnost deposola razvojnog stadijuma *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* ukazuje na procese salinizacije koji se u njima odvijaju. Deposoli nevezanih sedimenata i alterisanih hornblenda andezita srednje su obezbeđeni pristupačnim kalijumom i veoma slabo obezbeđeni pristupačnim fosforom, veoma su siromašni azotom i slabo do vrlo slabo obezbeđeni organskom

materijom. Submezofilnost, odnosno pojačani intenzitet vlaženja kod ovih staništa ukazuje na procese ispiranja odnosno izluživanja koji su u njima prisutni, što se posledično ogleda i u sniženom konstatovanom sadržaju metala i metaloida u odnosu na sadržaj u ostalim grupama deposola. Koncentracije pseudo-ukupnog arsena, kao i pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog bakra i u ovom slučaju su iznad maksimalnih dozvoljenih koncentracija i propisanih i korigovanih remedijacionih vrednosti.

Dominantna vrsta *Calamagrostis epigejos* kao i dijagnostička *Rumex acetosella* ovde pokazuju sposobnost fitoakumulacije u odnosu na sadržaje pristupačnih oblika arsena i cinka u svojim nadzemnim delovima, dok dominantna vrsta *Agrostis stolonifera* pribegava isključivanju akumulacije (u nadzemnim delovima) u odnosu na pristupačne sadržaje svih analiziranih metala i metaloida.

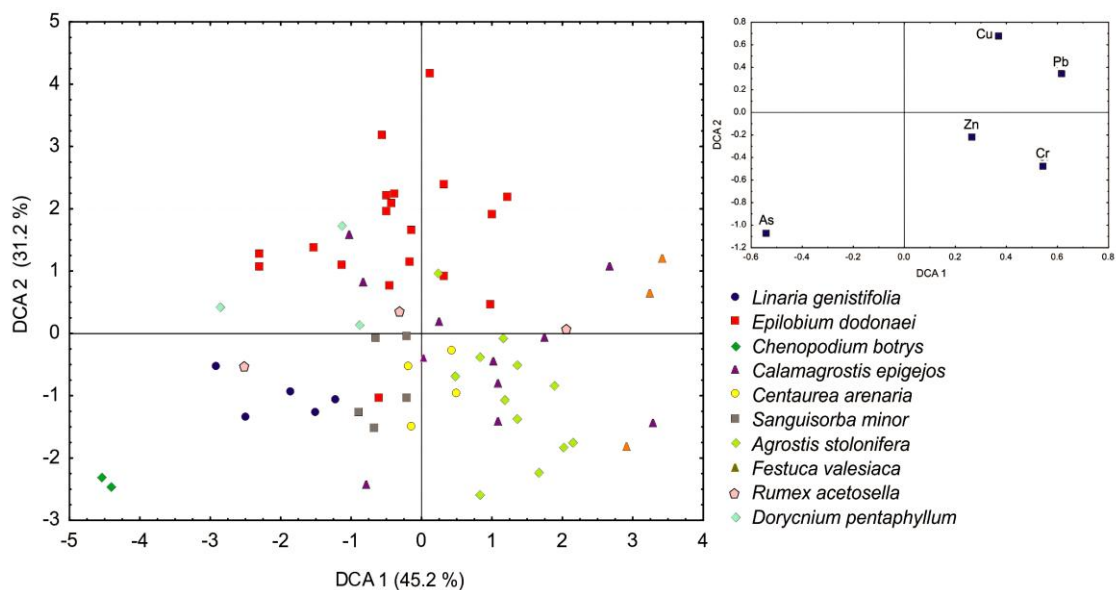
6.4. Biogehemijska karakterizacija

Na području borskih odlagališta uzorkovane samonikle biljne vrste akumuliraju elemente u korenu u odnosu: $Cu > Zn > As > Pb > Cr$. Kada je u pitanju nadzemni deo biljke, akumulacija ispitivanih elementa nalazi se u odnosu: $Cu > Zn > As > Cr > Pb$. U pogledu sadržaja elemenata u korenu i nadzemnom delu uzorkovanih biljaka, analiza varijanse pokazuje da postoje značajne statističke razlike u njihovom sadržaju između uzorkovanih vrsta (tabela 79). Svi ispitivani elementi nagomilavaju se u proseku u većoj koncentraciji u korenu nego u nadzemnom delu uzorkovanih vrsta, pri čemu je ovaj odnos najuži kod arsena, a najširi kod olova. Vrsta *Linaria genistifolia* u svojim nadzemnim delovima skladišti najmanje količine hroma, bakra i olova, dok vrsta *Chenopodium botrys* sadrži minimalne količine ovih elemenata u svom korenu. Vrsta *Rumex acetosella* maksimalno koncentriše bakar i olovo u svojim nadzemnim delovima u odnosu na ostale uzorkovane vrste, dok *Festuca valesiaca* skladišti maksimalne količine arsena, bakra, olova i cinka u svom korenu. Prosečan sadržaj arsena i bakra u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih biljaka borskog odlagališta prelazi granicu toksičnosti. Sadržaj hroma je iznad normalnog opsega, olovo je u nadzemnim delovima biljaka ispod prosečnog sadržaja, dok je koncentracija cinka u okviru normalnog opsega (prema vrednostima iz tabele 99).

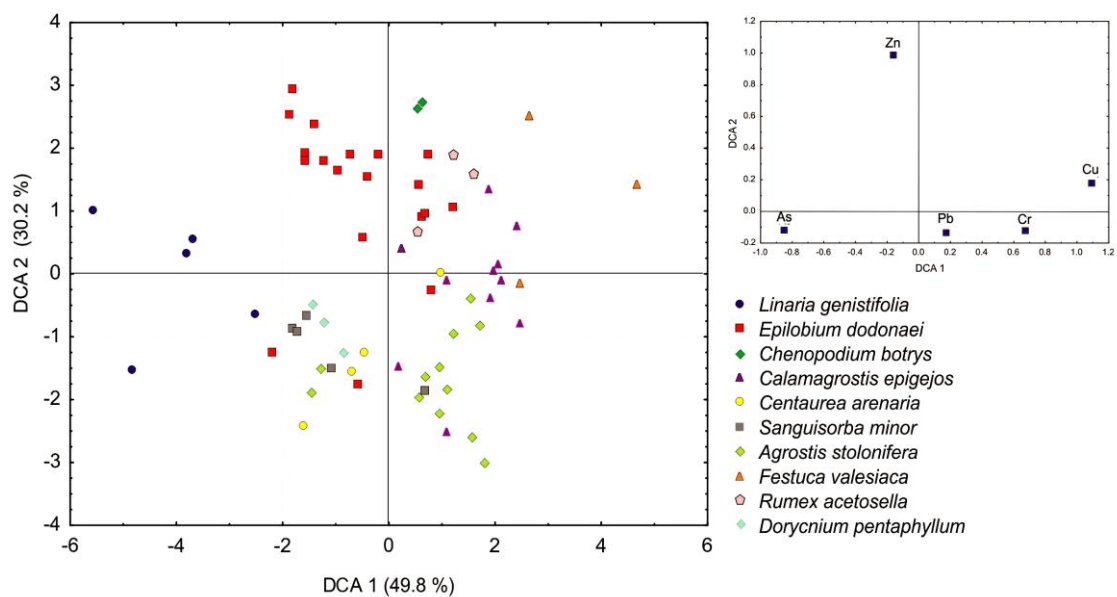
Tabela 99: Okvirne koncentracije elemenata u tragovima u listovima biljaka, prema Kabata-Pendias (2011)

Element (mg/kg)	Deficit	Normalan opseg	Toksičnost
As	-	1-1.7	5-20
Cr	-	0.1-0.5	5-30
Cu	2-5	5-30	20-100
Pb	-	5-10	30-300
Zn	10-20	27-150	100-400

Diskriminantna kanonijska analiza sadržaja ispitivanih mikroelemenata u korenu i u nadzemnom delu uzorkovanih vrsta kao i vizuelni prikaz kanonijskih skorova za ispitivane varijable ilustrirani su na slikama 152 i 153.



Slika 152: Ordinacioni dijagram diskriminantne analize za grupisanje vrsta u odnosu na sadržaj ispitivanih mikroelemenata u korenu uzorkovanih vrsta biljaka. U uglu su prikazani standardizovani koeficijenti kanonijskih varijabli ispitivanih mikroelemenata u korenu uzorkovanih vrsta biljaka.



Slika 153: Ordinacioni dijagram diskriminantne analize za grupisanje vrsta u odnosu na sadržaj ispitivanih mikroelemenata u nadzemnom delu uzorkovanih vrsta biljaka. U uglu su prikazani standardizovani koeficijenti kanonijskih varijabli ispitivanih mikroelemenata u nadzemnom delu uzorkovanih vrsta biljaka.

Na osnovu prethodne analize varijanse i odgovarajućih post-hoc testova (prilog 2) može se zaključiti da postoje značajne razlike u sastavu deposola iz zone rizosfere uzorkovanih samoniklih vrsta borskog odlagališta za većinu ispitivanih parametara. Prema mehaničkom sastavu deposola na kojem se razvijaju (iako svi uzorkovani deposoli generalno spadaju u kategoriju peskuša, prema McDonald et al., 1998) mogu se izdvojiti vrste *Festuca valesiaca* i *Sanguisorba minor* u čijem je deposolu konstatovano pojačano učešće čestica praha i gline. Na osnovu hemijskih osobina deposola takođe se izdvajaju grupe vrsta čiji deposoli pokazuju razlike između ispitivanih parametara. Tako vrste *Agrostis stolonifera*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos* rastu pretežno na deposolima niže pH vrednosti, povišenog oksido-redukcionog potencijala, snižene sume ekstrahovanih baza, snižene količine pristupačnog kalijuma i veoma niskog sadržaja ukupnog azota. Potonji podaci ne odgovaraju visokim ekološkim indeksima za azot kada su u pitanju vrste *Agrostis stolonifera* i *Calamagrostis epigejos*, koje se ovde razvijaju na azotom siromašnim lokacijama, što posredno može ukazati na postojanje efikasnih mehanizma nadomešćivanja nedostatka azota, o čemu svedoči i činjenica da su redovno

konstatovane i na degradiranim, azotom izuzetno siromašnim staništima (Kovar, 2004; Gajić, 2014). *Agrostis stolonifera* i *Calamagrostis epigejos* na području borskih odlagališta rastu u uslovima veoma niskog sadržaja pristupačnog fosfora, a *Agrostis stolonifera* i *Rumex acetosella* i povišenog saliniteta rastvora deposalima. Vrsta *Agrostis stolonifera* tolerantna je na zaslanjenost podloge, pa je i konstatovana u različitim halofilnim vegetacijskim grupacijama u Srbiji (Lakušić i sar., 2005), ali i na zaslanjenim tehnogenim zemljištima srednjeevropskog područja (Hulisz i Piernik, 2013). Nasuprot ovim, na području borskih odlagališta vrste *Epilobium dodonaei* i *Festuca valesiaca* razvijaju se na deposalima sa donekle povišenim sadržajem ukupnog azota i pristupačnog kalijuma.

Sadržaj ispitivanih elemenata u biljnim vrstama uzorkovanim na deposalima različitih litoloških grupa pokazuje statističke razlike jedino u slučaju sadržaja sumpora u korenu (tabela 81), gde se u odnosu na ovaj sadržaj izdvajaju korenovi vrsta na deposalima hornblenda andezita sa jedne strane, i korenovi vrsta na deposalima alterisanih hornblenda andezita, sa druge (tabela 82). Deposoli ovih dveju litoloških grupa takođe pokazuju značajne razlike u međusobnom sadržaju pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog sumpora. Mogući razlog ove pojave je da je povišena koncentracija sumpora na deposalima alterisanih hornblenda andezita rezultat pojačane sinteze proteina koji učestvuju u adaptaciji biljaka na stresogene faktore sredine, što indiciraju određena istraživanja o metaboličkim osnovama tolerancije biljaka na usvajanje metala (Ernst, 1998; Khan et al., 2008; Mazid et al., 2011). Naučnu potvrdu ove pretpostavke trebalo bi potražiti u budućim istraživanjima ovog fenomena na ovakvim i sličnim područjima.

6.4.1. Strategije i faktori usvajanja

Mehanizmi tolerancije biljaka na metale i metaloide zasnivaju se, prema Baker et al. (1988) na strategijama isključivanja ili usvajanja, odnosno akumulacije metala. Smatra se da su ove osobine posledica evolutivnog razvoja biljaka usled modifikacije njihovih fizioloških funkcija u procesu prilagođavanja na uslove sredine staništa bogatih metalima (Ernst, 2006). Varijacije u stepenu tolerancije odnosno akumulacije metala

variraju između različitih vrsta, populacija i klonova (Baker et al., 1988). Usvajanje metala od strane biljaka dešava se ili pasivnim putem difuzije vode u endodermis korena, ili aktivnim transportom kroz plazma membranu epidermalnih ćelija korena (Yoon, 2006). Smatra se da pojedini elementi, poput olova i nikla, bivaju usvojeni pretežno pasivnim putem, a neki drugi, poput bakra, cinka i molibdena pretežno aktivnim putem (Kabata-Pendias, 2011). Usvajanje jona u korenu se odvija pasivnim kretanjem u apoplastu koje je pod uticajem difuzije i transpiracije, ili aktivnim transportom u simplastu gde joni koji kroz membrane endodermalnih ćelija korena dospeju do sprovodnih sudova bivaju transportovani u nadzemne delove biljke (Prasad, 2004).

Tolerancija biljaka na metale putem isključivanja obuhvata dva oblika ponašanja: izbegavanje usvajanja metala i metaloida kroz ograničavanje njihovog transfera iz zemljišta u koren, ili isključivanje metala putem akumulacije u korenu uz istovremeno sprečavanje transporta metala u nadzemne delove biljke (Mehes-Smith, 2013). Strategija isključivanja bazira se na održavanju niske koncentracije metala u ćeliji putem: ograničavanja usvajanja i akumulacije jona metala ekstracelularnom precipitacijom, sorpcijom za ćelijske zidove, izbacivanjem metala iz ćelije aktivnom efluks pumpom ili blokadom ulaska u citoplazmu putem modifikacije jonskih kanala (Hossain, 2012).

Akumulatorima se smatraju biljke koje aktivno usvajaju metale i transportuju ih u svoje nadzemne delove (Zarinkamar, 2013). U zasebnu grupu akumulatora spadaju takozvani hiperakumulatori, biljke koje akumuliraju ekstremno visoke količine metala u svom nadzemnom delu (van der Ent et al., 2013). Visoku koncentraciju metala u citoplazmi ćelije biljke mogu tolerisati putem sledećih mehanizama: inaktivacijom kroz formiranje helatnih jedinjenja sa metalima, putem deponovanja u vakuole ili druge ćelijske organele, ili konvezijom toksičnih jona u manje toksičan oblik (Tong et al., 2004).

U odnosu na strategiju koju koriste ka metalima i na stepen njihovog usvajanja u odnosu na koncentraciju metala u zemljištu, Beker i Walker (1990) izdvojili su tri grupe biljaka: vrste koje poseduju sposobnost isključivanja akumulacije, indikatore i akumulatora/hiperakumulatora. Biljni mehanizmi koji leže u osnovi ovih grupa

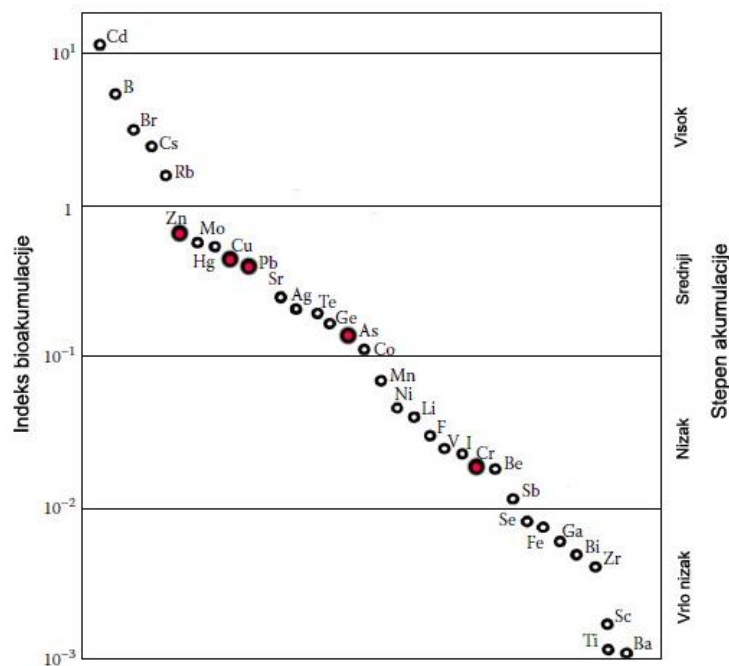
iskorišćeni su u biotehnologiji za procese sanacije zagađenih područja kroz primenu fitoremedijacije, kao i za oblasti procene rizika od zagađenja i prospekcije rudnih tela.

Vrste koje primenjuju strategiju izbegavanja usvajanja metala pokazuju smanjenu sposobnost akumulacije i translokacije metala u nadzemni deo i karakterišu se vrednostima faktora $TF < 1$ i $BCF < 1$. Sa druge strane, biljke koje primenjuju strategiju isključivanja metala putem akumulacije u korenu, uz istovremeno sprečavanje transporta metala u nadzemne delove biljke odlikuju se faktorima $BFC > 1$ i $TF < 1$, što ih čini pogodnim izborom za fitostabilizaciju (Mendez i Maier, 2008). Vrstama sa potencijalom za fitoekstrakciju, koje akumuliraju veću količinu metala u svojim nadzemnim delovima, smatraju se one koje poseduju $BFC > 1$ i $TF > 1$ (Yoon, 2006), ili one koje odlikuje $BAC > 1$ i $TF > 1$ (Mendez i Maier, 2008) i kao takve mogu se koristiti u fitoekstrakciji metala sa kontaminiranih područja. Kriterijumi za hiperakumulaciju određenog elementa od strane biljne vrste su, prema Brooks (1998), Hobbs i Streit (1986), Allen (1989) i van der Ent (2012) :

- 1) visok odnos sadržaja metala u nadzemnom delu u odnosu na koren, odnosno $TF > 1$;
- 2) sadržaj elementa u nadzemnom delu veći je od njegovog sadržaja u zemljištu, odnosno $BAF > 1$;
- 3) biljka akumulira 10 -500 puta veću koncentraciju elementa nego što je to slučaj sa istom vrstom u nekontaminiranim uslovima; i
- 4) biljka usvaja više od 1000 ppm bakra, olova i hroma, a preko 10 000 ppm cinka.

Vrste čija koncentracija metala u nadzemnom delu blisko odražava koncentraciju metala u zemljištu ($BAC \approx 1$) smatraju se indikatorskim vrstama i kao takve mogu biti od praktičnog značaja prilikom geobotaničkih prospekcija mineralnih ležišta, ili pri proceni i monitoringu zagađenja životne sredine.

Specijacija elemenata u zemljištu jedan je od ključnih faktora koji utiče na stepen njihovog usvajanja u biljkama. Promene u hemijskim osobinama zemljišta utiču na koncentraciju mobilnih oblika metala i njihovu dostupnost biljnom svetu. Različite biljne vrste poseduju i različit kapacitet za usvajanje i translokaciju ovih elemenata, a prosečni indeksi bioakumulacije hemijskih elemenata prikazani su na slici 128.



Slika 154: Bioakumulacija elemenata u tragovima iz zemljišta u biljku. Indeks bioakumulacije računat je kao odnos koncentracije elementa u biljci u odnosu na koncentraciju u zemljištu. Posebno su istaknuti ispitivani elementi na području borskog jalovišta. Preuzeto i modificirano iz Kabata-Pendias (2011)

Smatra se da je rastvorljivost pojedinih elemenata u tragovima u zemljištu i stepen njihovog transporta kroz biljku, prema Kabata-Pendias (2011) sledeći: hrom je blago rastvoran u zemljištu i biljke ga ne usvajaju lako; arsen i olovo su relativno snažno vezani za zemljišne čestice, i generalno slabo transportovani u nadzemne delove biljaka; bakar je mobilan u zemljištu, odakle ga biljke lako preuzimaju; cink je veoma mobilan u zemljištu i biljke ga vrlo lako akumuliraju u svoju biomasu (slika 154).

Arsen je neesencijalni element za biljni svet i generalno je toksičan. Njegova dostupnost i način usvajanja u biljkama zavise od koncentracije i forme arsena u zemljištu, kao i od same vrste biljke (Otte & Ernst, 1994). Ovaj element biljka usvaja u obliku arsenata (As-V) ili arsenita (As-III), pri čemu je arsenat dominantan oblik u oksidacionim uslovima zemljišta. Budući da ovaj element ima ponašanje hemijski analogno fosforu, arsenat se usvaja aktivno preko fosfatnog transportnog sistema biljke (MacNair & Cumbes, 1987). Povišena količina fosfata u zemljištu iz tog razloga može uticati na smanjenje usvajanja arsena (MacNair et al., 1992). Budući da je najveći deo arsena u zemljištu u formi koja nije dostupna biljkama, one ga u relativno malim

količinama akumuliraju u svojoj biomasi (tabela 89). Visoke količine arsena izazivaju nekrozu vršnih i rubnih delova liske, i nepovoljno utiču na vodni režim biljaka. Mehanizam toksičnog dejstva arsena na biljni organizam zasniva se na njegovoj inhibiciji metabolizma, a naročito ćelijskog disanja (Kastori, 1997).

Hrom se smatra toksičnim elementom za biljke i ne igra ulogu u njihovim metaboličkim procesima. Njegova toksičnost zavisi od valentnog stanja, pa je Cr-VI visoko toksičan i mobilan, dok je Cr-III to u manjoj meri (Kabata-Pendias, 2011). Biljke ne poseduju poseban transportni sistem za hrom, već ga preuzimaju nosači jona poput sulfata ili gvožđa (Shanker et al., 2005). Generalno, hrom predstavlja slabo mobilan element u zemljištima, a nakon njegove absorpcije od strane biljnog korena, bilo u Cr-VI ili Cr-III obliku, translokacija u ostale delove biljke prilično je ograničena (Zayed et al., 1998). Toksični efekti hroma ogledaju se u redukciji rasta biljke, sadržaja hlorofila, klijavosti semena, degradaciji proteina (Panda i Choudhury, 2005).

Bakar je esencijalni biljni mikronutrijent, koji ulazi u sastav mnogih proteina i enzima, učestvuje u fotosintetičkom transferu elektrona, mitohondrijskom disanju, metabolizmu ćelijskog zida, metabolizmu ugljenih hidrata, redukciji i fiksaciji azota, i regulaciji oksidativnog stresa (Yruela, 2005). Prisustvo bakra utiče na permeabilnost ksilema, modifikujući na taj način vodni režim u biljci (Kabata-Pendias, 2011). Biljke poseduju posebne transportere za ovaj element, pomoću kojih se joni bakra prevode iz zemljišnog rastvora u koren, a potom unutar samih ćelija kroz citoplazmu prenose do različitih ćelijskih organela poput mitohondrija, hloroplasta ili vakuola (Pilon, 2011). Biljke pokazuju sposobnost akumulacije bakra pretežno u korenu, dok je njegov sadržaj u nadzemnom delu uglavnom ograničen zahvaljujući snažnom vezivanju za azot i proteine, i može varirati u zavisnosti od biljne vrste (Kabata-Pendias, 2011). Visoke koncentracije bakra mogu biti veoma toksične za biljne organizme, izazivajući oštećenje tkiva, poremećaje u propustljivosti ćelijske membrane, oštećenja DNK i inhibiciju fotosinteze (Maksymiec, 1997).

Olovo predstavlja neesencijalni element za biljni svet, a relativno mali deo ukupnog olova u zemljištu smatra se pristupačnim biljkama (Sharma & Dubey, 2005). Olovo se u korenove usvaja putem apoplasta ili kanala za sprovođenje Ca, a dalje sprovođenje u nadzemne delove najčešće je blokirano u endodermisu (Pourrut, 2011). Na ćelijskom nivou višak olova izaziva inhibiciju disanja i fotosinteze putem ometanja

transporta elektrona, inhibicije ATP-a kao i oštećenja DNK, dok na nivou organizma dovodi do inhibicije klijanja, rasta biljke, sadržaja proteina i ometanja vodnog režima (Kabata-Pendias, 2011; Pourrut, 2011). Strategije koje biljke primenjuju za regulaciju toksičnosti uključuju različite ćelijske mehanizme poput adsorpcije za ćelijske zidove, deponovanja u vakuolama, formiranja kompleksnih jedinjenja sa olovom - fitohelatina, citrata i sulfida, i drugih (Gupta, 2013; Zarinkamar, 2013).

Cink je esencijalni mikroelement koji je uključen u veliki broj fizioloških procesa u biljkama. Usvaja se iz zemljišnog rastvora u obliku Zn^{2+} jona ili u vidu kompleksa sa organskim ligandima, a još uvek nije razjašnjeno da li preovlađuje proces aktivnog ili pasivnog usvajanja (Kabata-Pendias, 2011). Usvojeni cink transportuje se do ksilema i floema korena u nadzemni deo biljke putem različitih membranskih transportera i helatora koji ga vezuju (Tsonev & Lidon, 2012). Cink je prilično mobilan u biljnom tkivu a istraživanja su pokazala njegovo prisustvo u jedinjenjima iz tečnosti ksilema (Kabata-Pendias, 2011). Kapacitet usvajanja i sprovođenja cinka iz korena u nadzemne delove zavisi od vrste biljke. Toksične količine cinka izazivaju nekrozu, inhibiciju ćelijskog rasta i deobe, poremećaje vodnog režima u biljci, poremećaj procesa fotosinteze i indukciju oksidativnog stresa (Tsonev & Lidon, 2012). Toksičnost cinka unutar biljne ćelije regulisana je različitim mehanizmima inaktivacije, poput kompleksacije sa organskim ligandima ili fosforom, kao i izdvajanjem u vakuolama (Kabata-Pendias, 2011; Marschner, 2012).

Pored navedenih mikroelemenata, u ovom istraživanju vršeno je određivanje sadržaja sumpora kao makroelementa u deosolima i uzorkovanim biljkama. U ovom poglavlju navodimo podatke o njegovoj ulozi u regulaciji usvajanja mikroelemenata iz podloge. Sumpor spada u makroelemente esencijalne za biljnu ishranu. Važan je činilac mnogih amino-kiselina koje učestvuju u produkciji proteina i aktivaciji enzima. Zahvaljući ovim osobinama, potencijal ekstrakcije sumpora iz zemljišta u biljku visok je u poređenju sa elementima u tragovima (Ernst, 1998). Biljke usvajaju sumpor iz zemljišta u obliku sulfata, dok se isparljive komponente sumpora poput sumpordioksida mogu direktno absorbovati folijarnim putem (de Kok, 2002; Dwivedi & Shashi, 2008). Faktori sredine, poput temperature i vlažnosti, mogu uticati na usvajanje sumpora i metabolizam komponenti regulisanih sumporovim jedinjenjima. Istraživanja Coolong i Randle (2004) pokazala su da uvećanje temperature povećava koncentraciju

sumpora u *Allium* sp. Sulfati se aktivno usvajaju putem odgovarajućih transportera na plazma membrani korenovih ćelija. Dalji transport sumpora kroz biljku odvija se putem različitih transportnih sistema, a višak sumpora akumulira se u plastidima ili u vakuolama, gde biva trajno deponovan (Ernst, 1998). Usvajanje sumpora inhibirano je prisustvom šestovalentnih jona u rastvoru, poput hroma i molibdena (Anderson, 1980; Schiavon et al., 2012).

Sumpor u biljkama ulazi u sastav tiola, koji predstavljaju osnovne oblike redukovano sumpora unutar biljnog organizma, a za koje se smatra da imaju značajnu ulogu u aktivaciji antioksidativnih enzima u slučaju oksidativnog stresa (Mazid et al., 2011). Protein glutation koji sadrži sumpor takođe igra ulogu u adaptaciji biljaka na stresogene faktore sredine (Khan et al., 2008). Istraživanja transgenih biljaka *Brassica juncea* sa aktivnim genima koji u sebi sadrže sumpor pokazala su da snažnija produkcija ovih gena rezultuje povećanom tolerancijom na kadmijum (Zhu et al., 1999), dok su eksperimenti na rudničkom zemljištu zagađenom metalima Cd, Cr, Cu, Mn, Pb i Zn pokazali da transgene linije *Brassica juncea* kojima su aktivirani fitohelatini i glutationi akumuliraju veće količine ovih metala u nadzemnom delu u odnosu na njihove divlje srodnike (Bennett et al., 2003). De Oliveira et al. (2014) ustanovili su da je povećana količina sulfata uzrokovala povećanu akumulaciju i translokaciju As i Cr u listovima hiperakumulatora arsena *Pteris vittata*. Istraživanja Khan et al. (2014) pokazala su da povišen metabolizam sumpora u biljci i produkcija sumporovih aminokiselina i proteina povećavaju toleranciju biljaka na zasljenost podloge. Ova ispitivanja ukazuju na značajnu ulogu sadržaja sumpora u različitim metaboličkim komponentima biljke i otpornosti na stresogene uslove sredine i akumulaciju metala, što ukazuje da sumpor može potencijalno igrati važnu ulogu u procesima fitoremedijacije (Ernst, 1998; Wang et al., 2008).

U ovom istraživanju nisu utvrđene značajne korelacije koncentracija ispitivanih elemenata u korenu i nadzemnom delu sa pseudo-ukupnim i pristupačnim sadržajima elemenata u deposolu, što ukazuje na značajne razlike u stepenu usvajanja elemenata od strane pojedinačnih biljnih vrsta. Analizirane samonikle biljne vrste pokazuju korelaciju između koncentracije bakra i olova u korenu (0,8), kao i koncentracije bakra i olova (0,82) i arsena i bakra (0,67) u svojim nadzemnim delovima. Na osnovu visokih korelacija sadržaja bakra i olova u korenu ali i njihovih koncentracija u deposolu, može

se pretpostaviti postojanje sličnih mehanizama usvajanja ova dva elementa, kao i postojanje efikasnih mehanizama njihovog zadržavanja u korenu. Zapaženo je da olovo i bakar teže nagomilavanju u biljnom korenu, dok je njihov transport u nadzemne delove često ograničen (naročito olova) i u mnogome zavisi od vrste biljaka (Kabata-Pendias, 2011). Uočena korelacija bakra i arsena, kao i olova i bakra u nadzemnim delovima biljaka može se dovesti u vezu sa postojećom atmosferskom depozicijom ovih elemenata na području Bora i okoline, koju je konstatovalo više autora (Nikolić, 2011; Šajn i sar., 2014). Tako Šerbula i sar. (2013) zaključuju da su povišeni sadržaji bakra i olova u nadzemnim delovima vrsta *Pinus* spp. i *Tilia* spp. u industrijskoj zoni Bora posledica višegodišnje izloženosti ovih vrsta atmosferskoj depoziciji čestica prašine koje ih sadrže. Folijarno usvajanje aerozagađujućih materija u mnogome zavisi od vrste biljke i morfo-fizioloških osobina njenih nadzemnih delova, kao i od veličine deponovanih čestica, a konstatovano je u blizini različitih pogona za preradu i topljenje rude (Gawel et al., 2001; Schreck et al., 2012).

Uzorkovane samonikle biljne vrste na borskom odlagalištu iz korena u svoje nadzemne organe u najvećoj meri prevode arsen ($TF=0,84$), a najmanjoj olovo ($TF=0,35$). Iz rastvora deposola u koren, kada su u pitanju pseudoukupne koncentracije ispitivanih elemenata biljke najbolje provode cink ($BCF_{PU} 0,67$) a najmanje arsen i hrom ($BCF_{PU}=0,08$), dok u pogledu EDTA-pristupačnih koncentracija elemenata najснаžnije provode hrom ($BCF_{EDTA}= 10,71$), a najslabije olovo ($BCF_{EDTA}=0,75$). Iz rastvora deposola u nadzemni deo biljke u najvećoj meri prevode pseudoukupne koncentracije cinka ($BAC_{PU}= 0,33$), a u najmanjoj olova ($BAC_{PU}=0,02$), a kada je u pitanju akumulacija EDTA-pristupačnih koncentracija elemenata, najveće vrednosti pokazuju za hrom ($BAC_{EDTA}= 7,19$), a najmanje za bakar ($BAC_{EDTA}= 0,12$).

U pogledu faktora usvajanja, povišen koeficijent korelacije pokazuju biokoncentracioni faktori za bakar i cink ($r_{BCF}=0,71$), što se potencijalno može dovesti u vezu sa dokazanim sinergističkim dejstvom bakra i cinka na usvajanje iz zemljišnog rastvora (Luo i Rimmer, 1995; Kabata-Pendias, 2011; Ogunkunle, 2013). Ova dva elementa takođe pokazuju visok stepen korelacije međusobnog sadržaja u deposolu, kako u pseudoukupnoj (0,87), tako i u EDTA-pristupačnoj formi (0,85).

Iznos BCF_{EDTA} za sadržaj arsena kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,93 do 90,4, dok se BAF_{EDTA} kreće u intervalu od 0,98 do 133,2. Vrednosti TF za arsen kod

uzorkovanih vrsta biljaka sa borskog odlagališta kreću se u opsegu 0,33-1,96. Sve vrste osim *Epilobium dodonaei* pokazuju $BCF_{EDTA} > 1$, što ukazuje na njihovu sposobnost nakupljanja arsena u korenu u većem iznosu nego što je to njegov EDTA-pristupačni sadržaj u zemljištu, kao i potencijal za fitostabilizaciju kada je u pitanju ovaj element. Vrednosti $BAF_{EDTA} > 1$ za sve uzorkovane vrste izuzev *Sanguisorba minor* takođe ukazuju na to da ga najveći broj najučestalijih samoniklih vrsta borskog odlagališta akumulira u nadzemnom delu u većoj količini nego što je njegov pristupačan sadržaj u zemljištu. Vrste *Rumex acetosella*, *Chenopodium botrys*, *Linaria genistifolia* i *Calamagrostis epigejos* pokazuju uz to i sposobnost akumulacije arsena u svojim nadzemnim delovima, odnosno imaju potencijal za fitoekstrakciju ovog elementa na području borskog odlagališta. Pri tome je najveća prosečna količina arsena u odnosu na ostale uzorkovane vrste konstatovana u nadzemnom delu *Chenopodium botrys* i *Rumex acetosella* (tabela 89).

Iznos BCF_{EDTA} za pristupačni sadržaj hroma kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 2,93 do 40,56 dok se BAF_{EDTA} kreće u intervalu od 0,98 do 49,42. Vrednosti TF za hrom kod uzorkovanih vrsta biljaka sa borskog odlagališta kreću se u opsegu 0,11-19,92. Sve analizirane vrste pokazuju sposobnost nakupljanja hroma u korenu u većem iznosu nego što je njegov EDTA-pristupačni sadržaj u zemljištu ($BCF_{EDTA} > 1$), pa otud i potencijal za fitoakumulaciju arsena na ovom području. Vrednosti $BAF_{EDTA} > 1$ za sve uzorkovane vrste izuzev *Linaria genistifolia* takođe ukazuju na to da najveći broj samoniklih vrsta akumulira hrom i u nadzemnom delu u većoj količini nego što je njegov pristupačan sadržaj u deposalu. Vrste *Epilobium dodonaei*, *Chenopodium botrys*, *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* takođe pokazuju i sposobnost akumulacije hroma u svojim nadzemnim delovima ($TF > 1$), i zato poseduju potencijal za njegovu fitoekstrakciju na području borskog odlagališta. Od navedenih, najveća prosečna količina hroma u odnosu na ostale analizirane vrste konstatovana je u nadzemnom delu *Chenopodium botrys* (tabela 90).

Izračunat BCF_{EDTA} za pristupačni sadržaj bakra kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,16 do 4,94, dok se BAF_{EDTA} kreće u intervalu od 0,06 do 3,63. Vrednosti TF za bakar kod uzorkovanih vrsta biljaka sa borskog odlagališta kreću se u opsegu 0,13-2,57. Vrste *Calamagrostis epigejos*, *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca* i *Rumex acetosella* imaju vrednosti $BCF_{EDTA} > 1$, odnosno poseduju sposobnost

akumulacije bakra u korenu u većem iznosu što je njegov EDTA-pristupačni sadržaj u deposolu, i stoga pokazuju potencijal za fitostabilizaciju bakra. Pored toga, vrste *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* imaju vrednosti $BAF_{EDTA} > 1$, pa pokazuju sposobnost akumuliranja bakra u nadzemnom delu u većoj količini nego što je njegov pristupačan sadržaj u deposolu. Budući da je podobnost za fitostabilizaciju generalno veća kod biljaka sa nižim transferom akumuliranog elementa iz korena u nadzemni deo, to vrste *Agrostis stolonifera* i *Festuca valesiaca* možemo smatrati pogodnijim za ovu vrstu remedijacije (grafik 13). Sve navedene vrste imaju vrednost $TF < 1$, tako da ne pokazuju potencijal za fitoekstrakciju bakra na području borskog odlagališta.

Iznos BCF_{EDTA} za pristupačni sadržaj olova kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 0,02 do 5,08, dok se BAF_{EDTA} kreće u intervalu od 0,01 do 4,16. Vrednosti TF za olovo kod uzorkovanih vrsta biljaka sa borskog odlagališta kreću se u opsegu 0,13-9,56. Vrste *Calamagrostis epigejos*, *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca* i *Rumex acetosella* imaju vrednosti $BCF_{EDTA} > 1$ i pokazuju potencijal za fitostabilizaciju olova u deposolima borskog odlagališta. Naročito je to slučaj sa vrstom *Festuca valesiaca*, koja pokazuje i najveću prosečnu vrednost akumuliranog olova u korenu u odnosu na ostale analizirane vrste (tabela 92). Pored toga, vrste *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* pokazuju vrednosti $BAF_{EDTA} > 1$, uz koji poseduju i $TF > 1$, tako da se ove dve vrste mogu smatrati pogodnim za fitoekstrakciju olova. Pri tome vrsta *Rumex acetosella* pokazuje veću prosečnu vrednost akumuliranog olova u nadzemnom delu u odnosu na *Calamagrostis epigejos*, kao i veći TF , pa se u tom smislu može smatrati donekle povoljnijom kada je u pitanju fitoekstrakcija olova na istraživanom području.

Proračun BCF_{EDTA} za pristupačni sadržaj cinka kod ispitivanih vrsta kreće se u rasponu od 1,08 do 19,4, dok se BAF_{EDTA} kreće u intervalu od 0,61 do 20,7. Vrednosti TF za cink kod uzorkovanih vrsta biljaka sa borskog odlagališta kreću se u opsegu 0,26-3,52. Sve vrste pokazuju $BCF_{EDTA} > 1$ u odnosu na ovaj element i poseduju određeni potencijal za njegovu fitoremedijaciju na području borskih odlagališta, pri čemu je u odnosu na prosečnu akumuliranu količinu cinka u korenu (tabela 92) i iznosa BCF_{EDTA} (grafik 11) za svrhu fitoekstrakcije posebno pogodna vrsta *Calamagrostis epigejos*. Sve analizirane vrste izuzev *Centaurea arenaria* i *Dorycnium pentaphyllum* imaju vrednost $BAF_{EDTA} > 1$, ali samo *Rumex acetosella* uz to poseduje i $TF > 1$, što je čini pogodnom vrstom za fitoekstrakciju cinka na području borskog odlagališta.

Na osnovu analiziranih podataka, u odnosu na pseudo-ukupne sadržaje ispitivanih elemenata, strategiju isključivanja akumulacije (u nadzemnom delu) pokazuju vrste *Calamagrostis epigejos*, *Agrostis stolonifera* i *Festuca valesiaca* u odnosu na pseudo-ukupan cink u deposolu (grafik 7). Po pitanju ostalih ispitivanih elemenata uzorkovane vrste ne pokazuju izraženu strategiju isključivanja akumulacije u odnosu na njihov pseudo-ukupan sadržaj. Ukoliko u obzir uzmemo EDTA-pristupačnu frakciju ispitivanih elemenata, za koju se smatra da odražava količinu elemenata pristupačnih biljkama, dobijamo nešto veći dijapazon biljnih vrsta i elemenata u odnosu na koje one primenjuju ovu strategiju. Isključivanje akumulacije u odnosu na pristupačan sadržaj svih ispitivanih elemenata (As, Cr, Cu, Pb i Zn) pokazuju vrste *Agrostis stolonifera* i *Festuca valesiaca*, od kojih ova poslednja u nešto nižem stepenu (grafici 8 - 12). Postojanje i razvoj tolerantnih ekotipova *Agrostis stolonifera* na bakar na područjima rudničkih jalovišta dokazano je ranijim istraživanjima (Wu i Antonovics, 1975; Hogan et al., 1977). Vrsta *Rumex acetosella* pokazuje sposobnost isključivanja akumulacije u odnosu na pristupačan bakar, a populacije *Rumex acetosella* tolerantne na povišene količine bakra konstatovane su i na području rudnika bakra Krivelj (Mitrović i sar., 2004) i duž nanosa piritne jalovine na obalama reke Timok (Nikolić, 2013). Vrsta *Calamagrostis epigejos* primenjuje strategiju isključivanja akumulacije u odnosu na pristupačni cink i bakar u deposolu, *Doricnium pentaphyllum* u odnosu na pristupačan arsen, hrom i cink, a vrste *Centaurea arenaria* i *Sanguisorba minor* u odnosu na pristupačni arsen i hrom.

Druga strategija u odnosu na usvajanje teških metala je indikacija, gde vrste indikatori u svom nadzemnom delu usvajaju približno onu količinu metala koja je prisutna u zemljištu ($BAF \approx 1$, prema Baker i Walker, 1990). O odražavanju količine elementa u deposolu kroz količinu akumuliranu u nadzemnom delu na osnovu prosečnog faktora traslokacije, kao i na osnovu sadržaja elemenata u pojedinačnim uzorcima može se govoriti jedino u slučaju pristupačnog cinka i vrste *Linaria genistifolia*. Prosečna količina cinka ovde je, međutim, relativno niska i ne prelazi toksične ili propisane dozvoljene koncentracije.

Treća opisana strategija odnosi se na sposobnost akumulacije, odnosno u posebnim slučajevima, hiperakumulacije elemenata iz zemljišta u nadzemni deo. Na području borskih odlagališta nije konstatovano prisustvo biljaka hiperakumulatora. Kada je u pitanju koncentrisanje metala i metaloida u nadzemnoj biomasi, uslove akumulacije u pogledu pseudo-ukupnog sadržaja elemenata ispunjavaju vrste *Chenopodium botrys* i *Rumex acetosella* za cink. U slučaju pristupačnih količina metala i metaloida u deposolu, akumulatorima u odnosu na arsen i hrom mogu se smatrati vrste *Chenopodium botrys*, *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella*, uz napomenu da *Chenopodium botrys* i *Rumex acetosella* uz to akumuliraju i cink, a *Calamagrostis epigejos* i *Rumex acetosella* i olovo. Najuspešnijim akumulatorima, u odnosu na koncentraciju akumuliranih elemenata, se ovde mogu smatrati vrste *Chenopodium botrys* za elemente hrom i cink, *Calamagrostis epigejos* za arsen i *Rumex acetosella* za arsen i olovo. Pojačana akumulacija arsena u nadzemnim i podzemnim delovima vrste *Rumex acetosella* konstatovana je i na području jalovišta rudnika volframa u Španiji (Otones et al., 2011).

Ostale uzorkovane vrste pokazuju relativno nizak stepen usvajanja ispitivanih elemenata i njihove translokacije u nadzemne delove, ili u manjoj meri poseduju mogućnost akumulacije ovih elemenata u korenu ili svojim nadzemnim delovima. Ovo je naročito izraženo u slučaju olova i bakra, gde vrste *Linaria genistifolia*, *Epilobium dodonaei*, *Centaurea arenaria*, *Sanguisorba minor* i *Dorycnium pentaphyllum* pokazuju strategiju izbegavanja usvajanja u odnosu na njihove pseudo-ukupne i EDTA-pristupačne sadržaje u deposolu. Ovakve vrste se na području borskih odlagališta mogu koristiti u svrhe rekultivacije putem formiranja vegetacionog pokrivača koji bi imao ulogu u zaštiti od erozije i rasejavanja mineralne prašine.

Izdvojene grupe biljaka potrebno je dovesti u vezu sa količinama konstatovanih elemenata u deposolima borskih odlagališta, odnosno sa njihovom koncentracijom u odnosu na granične vrednosti koje predstavljaju prag iznad koga se može govoriti o ugrožavanju životne sredine. U tom smislu najzastupljeniji zagađivači na lokaciji borskih deposola su bakar, arsen, i olovo.

6.4.2. Ekološka diferencijacija vrsta prema faktorima staništa

Odgovor biljnih zajednica i vrsta na promene duž gradijenata životne sredine opisan je različitim vrstama raspodele. Detekcija osnovne ekološke diferencijacije izvršena je metodom direktne ordinacije. Dužina gradijenta prve detrendovane korespondentne ose za vrste konstatovane u ovom istraživanju iznosi 3,63 jedinice standardne devijacije, sugerišćući na postojanje unimodalne raspodele variranja florističkog sastava (Lepš i Šmilauer, 2003).

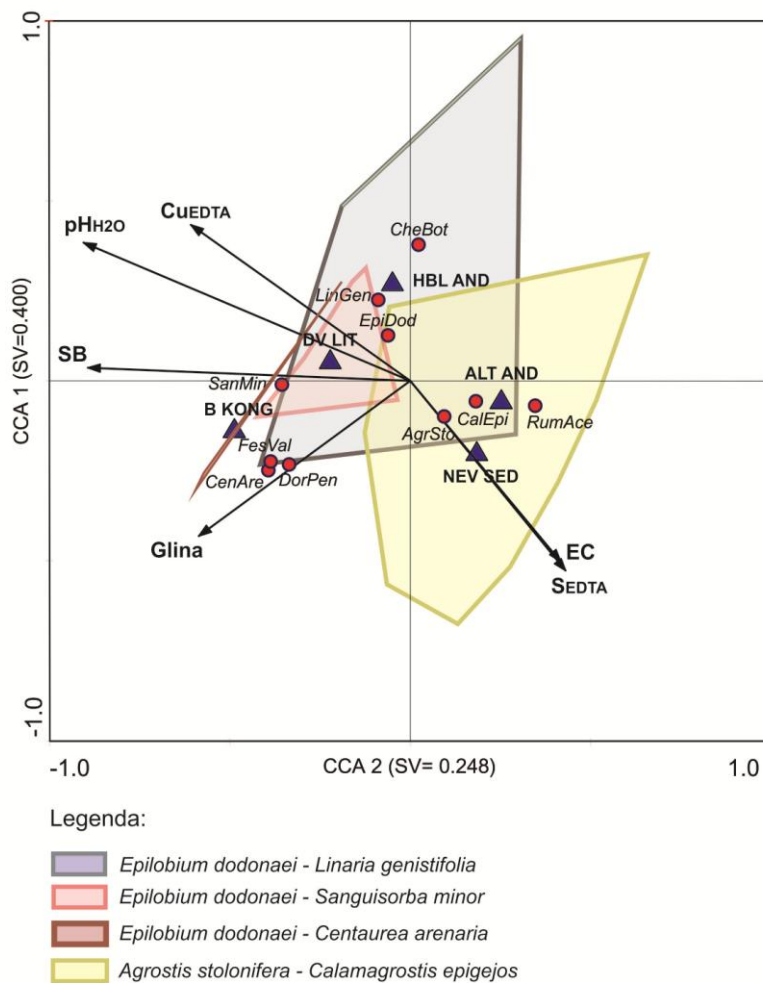
Kanonijska korespondentna analiza, kao metod direktne gradijentne analize preliminarno je sprovedena na kompletnom setu podataka od 28 varijabli koji je obuhvatao fizičko-hemijske karakteristike deposola, pseudo-ukupne i EDTA-pristupačne sadržaje elemenata u deposolu i izdvojene litološke grupe kodirane kao kategoričke, binarne varijable. Set od 28 varijabli objašnjava ukupno 67,8% od ukupne varijanse podataka. Ispitivani marginalni efekti svake varijable pokazuju da najveći udeo ukupne varijabilnosti podataka zasebno objašnjavaju pH vrednost (14,4%), oksido-redukcioni potencijal (13,2%) i suma ekstrahovanih baza (12,9%). Odmah zatim slede ispitivani EDTA-pristupačni (As, Pb, Cu, Zn, S) i pseudo-ukupni (Cu i Zn) sadržaji elemenata u deposolu, a potom set fizičko-hemijskih osobina deposola koje se odnose na njegov mehanički sastav, prisustvo makroelemenata biljne ishrane i azota. Litološke podloge imaju najniži statistički značajan udeo u ukupnom varijabilitetu podataka. Izdvojena varijabilnost svih litoloških grupa, kada se preostale varijable tretiraju kao kovarijable, iznosi 8,81% od ukupne varijabilnosti čitavog seta podataka.

Odabir redukovanog seta varijabli izvršen je na osnovu njihovog marginalnog efekta, testa multikolinearnosti izraženog kroz vrednost VIF (variance inflation factor) faktora, parcijalne forward selection analize i ekološkog značaja varijabli na području istraživanja. Za testiranje varijabli korišćen je Monte Carlo permutacioni test, pri čemu je utvrđeno da varijable pH vrednost, procenat učešća gline i suma ekstrahovanih baznih katjona u rastvoru deposola učestvuju kao statistički najznačajnije u ukupnoj varijabilnosti redukovanog seta podataka sa 72%. Varijable litoloških podloga kompletno su uključene u analizu kada je ispunjen uslov da makar jedna varijabla pokaže statističku značajnost u odnosu na ukupnu varijabilnost. Odabrani set varijabli pokazao je sledeće vrednosti:

Kanonijske ose	1	2	3	4
Svojstvena vrednost (<i>eigenvalue</i>)	0,400	0,248	0,075	0,048
Suma svih svojstvenih vrednosti				2,542
Suma svih kanonijskih svojstvenih vrednosti				0,846

Monte Carlo permutacioni test korišćen je za testiranje značajnosti kanonijskih osa ($p=0,016$), a procenat objašnjene varijanse iznosio je 15,7% za prvu i 9,8% za drugu osu. Izabrani faktori objašnjavaju 33,3% od ukupne varijabilnosti vegetacijskih podataka (slika 155). Visok stepen korelacije sa prvom kanonijskom osom u redukovanom setu podataka pokazuju varijable pH_{H_2O} (-0,91), ekstrahovana suma baza (-0,89) i EDTA-pristupačni sadržaj bakra (-0,61), pa se može smatrati da je prva kanonijska osa najsnažnije povezana sa kiselošću i količinom ekstrahovanih baznih katjona u rastvoru deposola. Nešto niži stepen korelacije sa drugom osom pokazuju varijable S_{EDTA} (-0,53) i EC (-0,5), pa se može zapaziti da je druga osa u izvesnoj meri povezana sa količinom pristupačnog sumpora i salinitetom rastvora deposola.

Primarnu ulogu u varijabilnosti rasporeda uzorkovanih vrsta duž gradijenata sredine pokazuju hemijski faktori deposola, i to u prvom redu koncentracija kiselih i baznih jona u rastvoru deposola. Litološke grupe na području borskog jalovišta pokazuju u ovim analizama sekundarni značaj, iako upravo njihov mineraloški sastav i prateće reakcije razlaganja igraju dominantnu ulogu u generisanju osobina tek inicijalno razvijenih deposola.



Slika 155: Ordinacioni dijagram kanoničke korespondentne analize za uzorkovane vrste na području borskih odlagališta (izdvojene vegetacijske grupe prikazane su u vidu konveksnih omotača, kategoričke varijable prikazane su simbolom)

Litološke grupe na čijim deposalima je konstatovana najniža količina EDTA-pristupačnog bakra (ali i arsena, olova i cinka, koji u ovom modelu nisu prikazani usled pojave multikolinearnosti) istovremeno su one na kojima je uočena najviša koncentracija EDTA-pristupačnog sumpora, što predstavlja jasnu posledicu rastvaranja i ispiranja sulfidnih jedinjenja koja su kod alterisanih andezita i nevezanih sedimenata prisutna u većem stepenu nego što je to slučaj sa ostalim litologijama. Sličnu pojavu, nazvanu 'paradoks bakra' i konstatovanu kao opadanje sadržaja bakra sa povećanjem blizine izvora zagađenja, konstatuju Nikolić i Nikolić (2013) na području aluvijalnih nanosa kontaminiranih flotacijskom jalovinom borskih rudnika u dolini reke Timok.

Povećane količine EDTA-pristupačnog sumpora u deposolu borskih odlagališta otkrivke posledica su rastvaranja sulfidnih soli, što odražava i gradijent električnog konduktiviteta. Ovi odnosi elemenata vezani su uzročno-posledičnim vezama za promenu u pH vrednosti rastvora deposola, zajedno sa ekstrahovanom sumom baza koja u ovom istraživanju u većoj meri predstavlja stepen sadržaja baznih katjona u rastvoru deposola, nego u njegovom adsorptivnom kompleksu.

U ovom istraživanju uočena je i povezanost grupa litološke podloge sa različitim razvojnim vegetacijskim stadijumima, što se jasno uočava i na slici 155. Ova povezanost je naročito izražena među grupama podloga koje svojom mineralogijom generišu kiselu, i onih koje generišu neutralnu do blago baznu reakciju deposola, potvrđujući tako ranija istraživanja koja su utvrdila da kiselost podloge predstavlja jedan od najvažnijih faktora koji direktno ili indirektno utiče na distribuciju vrsta na stenovitim staništima (Tyler, 1997). Primera radi, istraživanja Rufaut et al. (2006) utvrdila su da različite vegetacijske grupe naseljavaju različite vrste stena na odlagalištu rudnika uglja Wangaloa, na Novom Zelandu. Ispitivanja Billings (1950) ukazala su da postoje znatne razlike u vegetacijskom pokrivaču između andezita i hidrotermalno izmenjenih andezita na području Velikog basena u Americi, uzrokovanj razlikama u kiselosti zemljišta i sadržaju pristupačnih nutrijenata. Randelović i sar. (2014) takođe konstatuju hidrotermalno izmenjene andezite kao značajan faktor koji utiče na varijabilnost vegetacijskog pokrivača na rekultivisanim i nerektivisanim delovima odlagališta rudničke jalovine u Boru.

Varijacija ekoloških osobina vrsta u vegetacijskim stadijumima duž ispitivanih gradijenata sredine ogleđa se u opadanju vrednosti ekoloških indeksa za kiselost uz istovremeni porast vrednosti indeksa za salinitet i vlažnost duž gradijenta smanjenja pH vrednosti, što direktno ukazuje na prisutne procese ispiranja, odnosno izluživanja. Ovaj odnos izražen je i kod uzorkovanih vrsta prikazanih na slici 155. Istovremeno, sa snižavanjem pH vrednosti i porastom sadržaja pristupačnog sumpora i električnog konduktiviteta, kod vegetacijskih stadijuma dominaciju preuzimaju vrste sa većim biokoncentracionim faktorima za sve ispitivane mikroelemente. Kako snižavanje pH vrednosti snažno utiče na mobilnost hemijskih elemenata, pojačana tolerancija na prisustvo mikroelemenata u rastvoru deposola ovih litoloških grupa predstavlja adaptivni mehanizam biljaka u odnosu na inicijalno povišene koncentracije polutanata.

Bioakumulacioni faktor takođe raste na litologijama sa nižom pH vrednošću kod svih ispitivanih elemenata izuzev hroma, ukazujući na to da ispitivane vrste generalno odražavaju povećan sadržaj ovih elemenata i u svojim nadzemnim delovima. Translokacioni faktori, sa svoje strane, veoma variraju duž gradijenata sredine, što upućuje na to da je sposobnost translokacije metala u većoj meri zavisna od specifičnosti samih biljnih vrsta i njihovih unutrašnjih mehanizama regulacije sadržaja metala u ćelijama.

6.5. Potencijal biljnih vrsta u remedijaciji odlagališta

Biljne vrste mogu pokazivati fitoremedijacioni potencijal u odnosu na jedan ili više hemijskih elemenata. Kao elementi koji se u deposolima borskih odlagališta javljaju u koncentracijama iznad maksimalno dozvoljenih, prelazeći i nacionalne granične vrednosti nakon kojih je neophodno pristupiti remedijaciji, izdvojeni su bakar i arsen.

Među analiziranim samoniklim biljnim vrstama potencijal u fitoremedijaciji bakra pokazuju *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos*. One se odlikuju strategijom isključivanja akumulacije ovog elementa (u nadzemnom delu) i to u odnosu na njegov pristupačan sadržaj u deposolima borske otkrivke (BCF_{EDTA} 1,81–4,94). Prve tri vrste pokazuju povišen biokoncentracioni faktor i u odnosu na ukupan sadržaj bakra u deposolu (BFC 0,69–0,86), koji, iako ne prelazi zvaničnu graničnu vrednost 1, u kombinaciji sa niskim faktorom translokacije ovih vrsta (TF 0,21–0,73) ipak pokazuje značajnu mogućnost korenovog usvajanja i redukcije sadržaja bakra kao najznačajnije zagađujuće materije na ovom području. U tom smislu se osobine vrsta *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca* i *Rumex acetosella* u pogledu koncentrisanja bakra u korenu mogu primeniti u fitostabilizaciji područja borskih odlagališta. Pored ovih, u izvesnoj meri i vrsta *Calamagrostis epigejos*, sa $BCF=0,41$ i $TF=0,57$ može doprineti procesima fitostabilizacije ukupnog bakra na ovom području.

Kada je u pitanju arsen, među ispitivanim vrstama *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos* pokazuju strategiju akumulacije za pristupačan arsen u deposolu (BAC_{EDTA} 29,12 - 133,24, TF 1,06 - 1,96). Vrsta *Rumex acetosella* pri tome pokazuje dosta veći stepen usvajanja i transfera arsena u nadzemne delove u odnosu na *Calamagrostis epigejos*, pa se iz ovog razloga može preporučiti za primenu u fitoekstrakciji ovog elementa na području borskih odlagališta.

Iz navedenih primera uočava se sposobnost pojedinih biljnih vrsta da neke od ispitanih elemenata koncentrišu u korenu, a druge u svojim nadzemnim delovima. Prilikom upotrebe vrsta sa potencijalom za fitoekstrakciju, odnosno vrsta koje akumuliraju toksične sadržaje elemenata u svojim nadzemnim organima potrebno je imati u vidu rizik od uključivanja akumuliranih elemenata u lance ishrane. Ovo je, u slučaju ispitivanih vrsta na području borskog odlagališta, naročito izraženo kada je u pitanju pristupačni arsen. Iako je EDTA-pristupačna koncentracija arsena veoma mala (u proseku 1%) u odnosu na njegov pseudo-ukupan sadržaj u deposolu, postojanje kontinuirane atmosferske depozicije arsena na ovom području (0,39% od ukupne materije u tavanskoj prašini, prema Šajnu i sar., 2014) i istraživanja koja ukazuju na mogućnost povećane mobilnosti elemenata iz antropogenih izvora u odnosu na one pedo-geogenog porekla (Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Kabala & Singh, 2006), ukazuje na značajnu ekološku ulogu vrsta koje mogu usvajati ovakve oblike arsena.

Borski deposoli spadaju u zemljišta sa većim brojem hemijskih elemenata u odnosu na koje pokazuju visoke faktore obogaćenja u poređenju sa prosečnim zemljištima Evrope (Salminen et al., 2005). Fitoremedijacija ovakvih zemljišta zahteva izbor vrsta koje pokazuju mogućnost akumulacije svih ili većine elemenata od interesa u svojoj biomasi. Na deposolima borskih odlagališta vrste *Agrostis stolonifera* i *Festuca valesiaca* pokazuju strategiju isključivanja akumulacije (u nadzemnom delu) u odnosu na pristupačan sadržaj svih ispitivanih elemenata (As, Cr, Cu, Pb i Zn), što ukazuje na njihov izražen potencijal za fitostabilizaciju ovog područja.

Kod odabira vrsta za upotrebu u fitostabilizaciji poželjno je, upravo iz razloga smanjenja rizika od uključivanja u lance ishrane, upotrebiti vrste koje koncentrišu određeni element iz rastvora u što većoj meri u korenu, a u što manjoj u nadzemnom delu ($BFC \gg 1$ i $TF \ll 1$). Na području borskih odlagališta ovakve osobine u najvećoj meri pokazuje vrsta *Agrostis stolonifera*, i to u odnosu na sve ispitane elemente. Ova

vrsta takođe je konstatovana kao samonikla i u drugim industrijskim područjima Evrope, Severne Amerike i Kanade u kojima je konstatovano zagađenje bakrom, cinkom, arsenom, olovom i niklom (Hogan et al. 1977; Whitmore & Hall, 1978; Benson et al., 1981; Banasova et al., 2006; Moreira et al., 2011), na kojima razvija edafske ekotipove tolerantne na različite teške metale (Wu & Antonovics, 1975).

Pored ovih kriterijuma, na odgovarajući izbor vrsta za potrebe fitoremedijacije utiče i njihova ukupna biomasa kao i karakteristike korenovog sistema, ali i sposobnost vrste da u što većoj meri održi vitalnost i plodnost u uslovima sredine rudničkih jalovišta kao i da formira gust i ujednačen vegetacijski pokrivač. U tom smislu mogu se izdvojiti vrste iz familije *Poaceae*, *Agrostis stolonifera* i *Calamagrostis epigejos*, koje se odlikuju povećanom produkcijom biomase u odnosu na ostale vrste kod kojih je uočen potencijal za fitoremedijaciju. Vrsta *Calamagrostis epigejos* širi se svojim rizomskim sistemom, dok se *Agrostis stolonifera* najčešće širi nadzemnim stolonama koje poseduju sposobnost lakog ukorenjavanja. Obe vrste tako pokazuju sposobnost kolonizacije novih površina deposola, vršeći u njemu prateću stabilizaciju određenih polutanata.

Pored navedenih, moguće je izdvojiti i određene vrste koje ne pokazuju izražen potencijal u remedijaciji ovog područja, ali svojom zastupljenošću i količinom produkovane biomase deluju na stabilizaciju deposola i sprečavanje erozije. Takvu pojavu na deposolima borskih odlagališta predstavlja *Epilobium dodonaei*, pionirska vrsta antropogeno formiranih staništa u Evropi (Brofas, 2007; Himmler, 2008; Opalkova & Cimalova, 2011), koja je na području borskih deposola konstatovana na svim obraslim grupama litologija, pa kao takva pokazuje izraziti potencijal u rekultivaciji ovog područja.

Budući da su borska odlagališta otkrivke heterogena staništa, varijabilnog mineraloškog sastava i fizičko-hemijskih osobina pratećih deposola, u prvim koracima planiranja postupka fitoremedijacije na ovom području potrebno je razmotriti mogućnost formiranja smeša vrsta sa potencijalom za remedijaciju. Smeše se smatraju generalno otpornijim na promenljive uslove staništa i okolne sredine, a moguće ih je formirati po uzoru na već postojeće remedijacione smeše koje se praktično primenjuju u različitim industrijskim područjima u svetu. Sa druge strane, neophodno je imati u vidu i potencijalnu invazivnost vrsta koje bi ulazile u njihov sastav, a koja je do sada opisana

u naučnoj literaturi na teritoriji Evrope ili drugih kontinenata. Izdvajanje vegetacijskih stadijuma i kombinacije dominantnih i dijagnostičkih vrsta koje se u izdvojenim stadijumima javljaju, a koje su utvrđene i prikazane u ovom radu, predstavljale bi prvi korak ka utvrđivanju kandidata za efikasne remedijacione smeše vrsta koje bi se sa uspehom mogle primeniti na području odlagališta otkrivke u Boru.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata prikazanih u ovom istraživanju, moguće je izvesti sledeće zaključke:

► **Autohtone samonikle vrste biljaka selektivno kolonizuju litološke grupe na području borskih odlagališta otkrivke. Utvrđene litološke grupe na ovom području pokazuju izvesne razlike u petrološkom, mineraloškom i geohemijskom pogledu. Na osnovu bioekoloških indeksa samoniklih biljnih vrsta, njihove ekološke, fitogeografske i vegetacijske analize može se dati generalna ekološka karakterizacija mikrostaništa koja naseljavaju.**

Na odlagalištima u Boru, formiranim neselektivnim odlaganjem rudničke otkrivke, petrološkom, mineraloškom i hemijskom karakterizacijom omogućeno je izdvajanje ukupno šest zasebnih litoloških grupa označenih kao: hornblenda andeziti, alterisani hornblenda andeziti, dvostruka litologija, borski konglomerati, nevezani sedimenti i stene sa mineralizacijom.

Hornblenda andeziti odlikuju se visokim stepenom svežine i homogenim hemijskim sastavom. Porfirske su strukture, izgrađene od fenokristala plagioklasa, krupnih amfibola i, podređeno, biotita i mikrofenokristala metaličnih minerala smeštenih u fino-zrnu osnovnu masu izgrađenu od istih sastojaka. Akcesorni minerali su Fe-Ti oksidi, sfen, apatit i cirkon, dok su sekundarni slabo zastupljeni i čine ih sericit, hlorit, epidot, albit, kalcit, kvarc, zeolit, minerali glina i praškasti neprovidni minerali.

Alterisani hornblenda andeziti obrazovani su procesima hidrotermalnih alteracija. Sekundarni minerali poput sericita, hlorita, epidota, kalcita, kvarca, minerala glina i praškastih neprovidnih minerala su veoma zastupljeni, a konstatovane alteracije su propilizacija, sericitizacija, adularizacija i neobiotitizacija. Alterisani hornblenda andeziti se od ostalih neorudnjenih litoloških grupa izdvajaju i po povišenom sadržaju rudnih minerala i faktorima obogaćenja u odnosu na metale i metaloide karakteristične za rudnu paragenezu borske metalogenetske zone.

Grupu dvostrukih litologija karakteriše prisustvo svežih do slabo promenjenih hornblenda andezita udruženih sa sedimentnim stenama - laporcima, alevrolitima, i sitnozrnim peščarima. Učešće laporca u ispitivanom materijalu ogleda se u povišenom sadržaju karbonata, a učešće alevrolitskih peščara u povećanom procentu sadržaja silicijske komponente.

Borski konglomerati su klastični sedimenti heterogenog sastava u koji ulaze sve vrste stena koje izgrađuju Timočki magmatski kompleks, kao i litologije izvan osnovnog timočkog basenskog prostora. Pored odlomaka andezita, odlikuje ih prisustvo valutaka metamorfita, granitoidnih stena, krečnjaka, laporaca, alevrolita i drugih tipova stena, dok je njihov matriks glinovitog karaktera. U hemijskom pogledu ova litološka grupa veoma je heterogena, a povećan faktor obogaćenja za elemente Rb, La-Eu, U i Th u odnosu na druge litološke grupe posledica je pojačanog prisustva akcesornih minerala.

Nevezani sedimenti predstavljaju petrološki relativno homogen, usitnjeni materijal smešten na obodima stenskih brežuljaka i središnjem delu ili u podnožju jalovinskih kipa. Prema mineraloškom sastavu najpribližniji su hidrotermalno promenjenim andezitima, pri čemu je jedan manji deo detritičnog materijala dolazio i iz svežih andezita i intenzivno mineralizovanih stena.

Orudnjene stene su najheterogenije u mineraloško-petrološkom smislu, sa visokim stepenom aliteracija primarnih magmatskih faza i prisutnim asocijacijama rudnih minerala različitog tipa. Većina primeraka predstavlja intenzivno hidrotermalno izmenjene, mineralizovane stene koje se u potpunosti sastoje od kvarca i metaličnih minerala. Dominantni minerali stena iz ove litološke grupe su sekundarnog porekla: kvarc, kalcit, hlorit, hidroksidi gvožđa, kaolinit, epidot, alunit, gips, zeoliti i drugi, dok su rudni minerali predstavljeni halkozinom, kovelinom, koluzitom, bornitom i piritom.

Izuzev stena sa mineralizacijom, koje se u odnosu na ostale litološke grupe odlikuju pre svega izrazito povišenim sadržajem ukupnog sumpora i niskim sadržajem kalcijumovih, natrijumovih i kalijumovih oksida, nad svim ostalim litološkim grupama konstatovan je razvoj određenih samoniklih vaskularnih vrsta biljaka. Samonikle biljke koje kolonizuju navedene litološke grupe mogu se svrstati u 30 različitih taksona iz 15 familija i 29 rodova.

Bioindikacijski faktori samoniklih vrsta pokazuju da one generalno naseljavaju staništa koja su u pogledu termičkog režima mezotermno – subtermofilna, a u pogledu higričkog režima subksero-submezofilna. Ekološki indeks za svetlosni režim staništa pokazuje otvorenost istraživanih površina rudničke otkrivke u Boru. Samonikle vrste preferiraju uglavnom neutralne do umereno alkalne podloge, dok je učešće acidofilnih vrsta ograničeno. Bioindikacijska vrednost za sadržaj azota ukazuje na preovlađujuću oligotrofnost staništa koja ove biljke naseljavaju. Indeksi saliniteta sugerišu da su u pitanju generalno nezaslanjena staništa, uz povremeno prisustvo određenih vrsta koje ukazuju na pojavu inicijalnih procesa salinizacije. Mera kontinentalnosti istraživanog područja indicira intermedijarni karakter subokeansko - subkontinentalnog tipa.

Fitogeografski spektar ukupne flore karakteriše se dominacijom vrsta širokih areala, pri čemu se kao najbrojnija izdvaja grupa Holarktičkog areal tipa. Zastupljenost životnih formi biljaka u ukupnoj flori područja pokazuje izražen hemikriptofitski karakter, dok na nepovoljne uslove podloge ukazuje slaba zastupljenost terofita i potpuno odsustvo geofita. U pogledu vegetacijske pripadnosti dominiraju vrste kserofilnih i polukserofilnih livadskih, livado-stepskih i stepskih biljnih zajednica iz klase *Festuco-Brometea*, dok se antropogeni uticaj dodatno ogleda u značajnom prisustvu ruderalno – korovskih taksona u okviru klasa *Chenopodietea*, *Artemisietea vulgaris*, *Stellarietea mediae* i *Plantaginetea majoris*.

► **Rezultati ove disertacije pokazali su da postoji uzročna veza između tipa litologije, pratećeg deposola kao njenog direktnog derivata, kao i karaktera biljnih formacija koje ih naseljavaju. Pored ovoga, izdvojene su i najznačajnije ekološke varijable koje utiču na diferencijaciju vegetacijskih grupacija i zastupljenost pojedinačnih vrsta na određenim litološkim grupama borskih odlagališta otkrivke.**

Deposoli borskih odlagališta na kojima je započeo proces spontane kolonizacije biljaka predstavljaju inicijalne faze procesa formiranja rudničkih zemljišta, i kao takvi pod snažnim su uticajem osobina mineralnih komponenti litoloških podloga od kojih su nastali. Karakteristike deposola izdvojenih litoloških grupa pokazuju značajne razlike kod svih ispitivanih pedoloških parametara izuzev mehaničkog sastava i sadržaja organske materije, što ukazuje na jasnu diferencijaciju tipova deposola u odnosu na

njihove hemijske osobine. U pogledu sadržaja ispitivanih mikroelemenata i sumpora, analiza varijanse pokazala je razlike u koncentracijama pseudo-ukupnog bakra, olova, sumpora i cinka, kao i razlike u koncentracijama EDTA-dostupnog arsena, hroma, bakra, olova, sumpora i cinka, među ovim grupama deposola. Pseudo-ukupni i EDTA-pristupačni sadržaj ispitivanih mikroelemenata deposola borske otkrivke stoji u odnosu $Cu > Zn > Pb > As > Cr$.

Deposole odlagališta borske otkrivke karakteriše veoma nizak sadržaj frakcije gline, što ih prema teksturnom sastavu svrstava u peskuše. Njihova pH vrednost kreće se u rasponu od ekstremno kisele do blago alkalne, a direktno je uslovljena odnosom između količine minerala koji produkuju kiseline i minerala koji, usled mogućnosti da produkuju baze, imaju neutrališuće sposobnosti. Oksido-redukcioni potencijal deposola ukazuje na pretežno oksidacione uslove koji u njima vladaju. Električna konduktivnost ukazuje na nepostojanje ili slabiji stepen salinizacije.

Srednje su do visoko obezbeđeni lakopristupačnim kalijumom, pri čemu njegov izvor u borskoj otkrivci predstavljaju produkti raspadanja biotita, hornblende i hlorita kao i biološka akumulacija iz odumrlih biljnih ostataka. Prema sadržaju lakopristupačnog fosfora spadaju u veoma slabo do dobro obezbeđena zemljišta, gde osnovne izvore fosfora u litologijama borskog odlagališta čini mineral apatit, dok deo pristupačnih oblika fosfora biva oslobođen i iz organske materije putem mineralizacije. Prema sadržaju ukupnog azota nalaze se u intervalu od veoma siromašnih do siromašnih deposola, dok su organskom materijom veoma slabo obezbeđeni. Slaba obezbeđenost deposola azotom i organskom materijom, koji predstavljaju direktne produkte aktivnosti biota, ukazuje, sa jedne strane, na relativno kratak period njihove aktivnosti na završnim površinama odlagališta, a sa druge i na niži stepen produkcije biomase samoniklih vrsta u uslovima borskih odlagališta.

Prema sadržaju pristupačnog kalcijuma borski deposoli spadaju u veoma dobro obezbeđene, dok se prema sadržaju pristupačnog magnezijuma mogu svrstati u srednje obezbeđene. Osnovni izvori kalcijumovih jona u borskoj otkrivci su kalciti u slučaju litologija sa karbonatnim učešćem, a plagioklasi i hornblende iz ostalih litoloških grupa. Magnezijum je u većim količinama konstatovan u hornblendi, međufazama raspada biotita i hornblende ka hloritu, i u ankeritu, odakle razlaganjem prelazi u rastvor. Deo

kalcijuma i magnezijuma takođe se nalazi vezan u organskoj materiji i biljnim ostacima, odakle se njihovim daljim razlaganjem oslobađa.

Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog arsena u deposolima borske otkrivke iznosi 92,4 ppm, dok sadržaj EDTA-pristupačnog arsena čini svega 0,97 % od njegovog pseudo-ukupnog sadržaja. Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog bakra u deposolima borske otkrivke iznosi 671 ppm, a sadržaj EDTA-pristupačnog bakra čini u proseku 34,2 % od njegovog pseudo-ukupnog sadržaja. Sadržaj pseudo-ukupnog arsena i bakra, kao i EDTA-pristupačnog bakra u deposolima borske otkrivke prevazilazi granične vrednosti propisane nacionalnim uredbama, što ukazuje na visok stepen kontaminacije područja ovim elementima kao i na neophodnost remedijacije područja borskih odlagališta u odnosu na njihov sadržaj. Ovo je naročito izraženo u slučaju bakra, koji je pored visoke ukupne koncentracije u značajnoj meri mobilan i biodostupan.

Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog hroma u deposolima borskog odlagališta iznosi 55,77 ppm, a sadržaj EDTA-pristupačnog hroma čini u proseku 0,72 % od njegovog pseudo-ukupnog sadržaja. Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog olova u deposolima borskog odlagališta iznosi 89,3 ppm, dok sadržaj EDTA-pristupačnog olova u deposolima borske otkrivke čini u proseku 14,7 % u odnosu na njegov pseudo-ukupni sadržaj u otkrivci obrasloj vegetacijom. Prosečan sadržaj pseudo-ukupnog cinka iznosi 112 ppm, dok sadržaj EDTA-pristupačnog cinka čini 17,8 % u odnosu na njegov pseudo-ukupni sadržaj u otkrivci obrasloj vegetacijom. Konstatovani sadržaji hroma, olova i cinka su ispod propisanih graničnih vrednosti pa potreba remedijacije u odnosu na njihov sadržaj u deposolima borske otkrivke trenutno nije izražena. Prosečan sadržaj sumpora u deposolima borske otkrivke iznosi 4435 ppm, dok sadržaj EDTA-pristupačnog sumpora u deposolima borske otkrivke čini 15,9 % u odnosu na njegov ukupni sadržaj.

Generalno se u odnosu na većinu ispitivanih hemijskih osobina deposola, kao i u odnosu na sadržaj mikroelemenata i sumpora, mogu izdvojiti dve različite grupe litologija. Prvu čine deposoli hornblenda andezita, dvostrukih litologija i borskih konglomerata, a drugu deposoli alterisanih andezita i nevezanih sedimenata. Prva grupa odlikuje se statistički značajno većim pH vrednostima rastvora deposola, slabom do dobrom obezbeđenošću pristupačnim fosforom, visokom obezbeđenošću pristupačnim kalijumom, vrlo siromašnim do siromašnim učešćem ukupnog azota, nižim oksido-

redukcionim potencijalima i nižim iznosom električne konduktivnosti koji ne ukazuje na procese salinizacije deposola. Za razliku od nje, druga grupa deposola poseduje niže pH vrednosti rastvora, veoma slabo je obezbeđena pristupačnim fosforom, srednje obezbeđena pristupačnim kalijumom i izuzetno slabo snabdevena ukupnim azotom. Redukcioni potencijali deposola su uvećani u odnosu na prvu grupu, a povišene vrednosti električne konduktivnosti ukazuju na postojanje procesa salinizacije. U odnosu na sadržaje pristupačnog kalcijuma i magnezijuma, deposoli borskih odlagališta ne pokazuju ovako jasna grupisanja, pri čemu u oba slučaja najveću količinu prisutnih baznih katjona poseduju deposoli borskih konglomerata. Kod deposola prve grupe konstatovani su povišeni sadržaji pseudo-ukupnog bakra, olova i cinka kao i EDTA-pristupačnog arsena, bakra, olova i cinka u odnosu na drugu grupu. Za razliku od ovoga, kod druge grupe konstatovan je povišen sadržaj pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog sumpora, dok je u slučaju hroma razlika takođe izražena u pravcu njegove smanjene koncentracije u deposolima borskih konglomerata i povećane koncentracije u deposolima hornblenda andezita, alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata. Pseudoukupni i EDTA-pristupačni sadržaji pokazuju visoke međusobne korelacije u slučaju bakra, olova, cinka i sumpora. U pogledu međusobnih korelacija elemenata konstatovana je statistički značajna visoka vrednost korelacije pseudo-ukupnih i EDTA-pristupačnih sadržaja bakra, olova i cinka.

Konstatovan je veći broj značajnih korelacija ispitivanih fizičko-hemijskih osobina deposola u odnosu na sadržaj EDTA-pristupačnih elemenata nego u odnosu na pseudo-ukupan sadržaj elemenata. Utvrđeno je da sa porastom pH vrednosti raste i konstatovan sadržaj halkofilnih elemenata, što, imajući u vidu njihovu povećanu mobilnost u kiselim sredinama, upućuje na postojanje posledičnih procesa njihove mobilizacije i ispiranja iz površinskog sloja deposola. Korelacije sadržaja pristupačnog bakra i olova sa ekstrahovanom sumom baza, potom pristupačnih oblika bakra, olova i cinka sa sadržajem pristupačnog kalijuma, i pristupačnog bakra i cinka sa pristupačnim magnezijumom ukazuju na povezanost procesa oksidacije sulfida pri kojima nastaje snižavanje pH vrednosti i prateće povećanje mobilnosti ovih elemenata, sa posledičnim rastvaranjem karbonatnih i silikatnih minerala koji sadrže bazne katjone. U odnosu na mobilnost u uslovima promene pH vrednosti rastvora, u deposolima borskih odlagališta izdvajaju se dve grupe elemenata: arsen, bakar, olovo i cink za koje je karakteristična

pojačana pokretljivost, i hrom i sumpor koji su u datim uslovima slabo mobilni. Osnovni utvrđeni faktori varijabilnosti deposola borske otkrivke odnose se na: 1) kompleks aktivne i potencijalnih kiselosti deposola, njegov oksido-redukциони potencijal, kao i ekstrahovanu sumu baznih katjona, 2) mehanički sastav deposola i 3) salinitet deposola.

Karakterizacija odnosa biljaka prema uslovima staništa različitih litoloških podloga pokazala je značajne razlike indikatorskih vrednosti za temperaturu, vlažnost, kiselost, sadržaj azota, svetlost i salinitet. Podaci dobijeni sprovedenim laboratorijskim analizama odgovaraju utvrđenim vrednostima ekoloških indeksa za salinitet i, u najvećoj meri, za kiselost, pa se može zaključiti da je vegetacija borskih odlagališta generalno pogodan indikator za ove parametre podloge. U slučaju sadržaja azota, međutim, ovo podudaranje izostaje usled sposobnosti pojedinih vrsta da određenim adaptacijama nadomeste njegov nedostatak i tako obezbede razvoj na staništima izvan svog ekološkog optimuma kada je u pitanju ovaj faktor.

Izdvojeni cenotički stadijumi na području borskih odlagališta ukazuju na direktnu povezanost određenih razvojnih vegetacijskih stadijuma sa utvrđenim litološkim grupama, odnosno karakteristikama deposola koji su nastali njihovim razlaganjem. Ova povezanost je naročito izražena među grupama podloga koje svojom mineralogijom generišu kiselu, i onih koje generišu neutralnu do blago baznu reakciju deposola. Vegetacijske stadijume koji se razvijaju na hornblenda andezitima, dvostrukoj litologiji i borskim konglomeratima karakteriše značajnije prisustvo zajedničke dominantne vrste *Epilobium dodonaei* i izraženija heterogenost u pogledu prisustva ili kvantitativnog učešća ostalih vrsta, dok je razvojni stadijum na izmenjenim andezitima i nevezanim sedimentima floristički i ekološki homogeniji i odlikuje se visokom pokrovnošću vrsta *Agrostis stolonifera* i *Calamagrostis epigejos*.

Vegetacijski stadijum *Epilobium dodonaei* - *Linaria genistifolia* razvija se na deposolima hornblenda andezita. Dominantne i dijagnostičke vrste ovog stadijuma - *Epilobium dodonaei*, *Linaria genistifolia*, *Agrostis stolonifera* pokazuju i najveći stepen prisutnosti odnosno frekventnosti. Analiza indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka i prateće analize deposola ukazuju da se radi o subtermofilnim, dobro insoliranim, polusušnim, blago baznim, nezaslanjenim i umereno oligotrofnim staništima. Sadržaji pseudo-ukupnog arsena kao i pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog bakra ovde

prevazilaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju kao i remedijacione i korigovane remedijacione vrednosti propisane nacionalnim uredbama. Ostali analizirani mikroelementi zastupljeni su u manjim količinama koje ne prelaze propisane vrednosti, ali višestruko prelaze njihov prosečan sadržaj u odnosu na zemljišta Evrope.

Vegetacijski stadijum *Epilobium dodonaei* - *Sanguisorba minor* karakteriše površine rudničke otkrivke sa dvostrukom litologijom. Najveći stepen prisutnosti - frekventnosti imaju dominantne vrste *Epilobium dodonaei* i *Agrostis stolonifera*, nominalna vrsta *Sanguisorba minor*, kao i dijagnostička vrsta *Erysimum diffusum*. Analiza indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka i prateće analize deposola ukazuju da se radi o subtermofilnim staništima koja su takođe dobro insolirana, izraženije polusušna do sušna, blago bazna, nezaslanjena i umereno oligotrofna. Odlikuju se najvišim sadržajem pseudo-ukupnog arsena u odnosu na ostale grupe staništa i povišenim sadržajem pseudo-ukupnog i pristupačnog bakra, koji prevazilaze propisane maksimalne dozvoljene koncentracije i propisane remedijacione vrednosti.

Vegetacijski stadijum *Epilobium dodonaei* - *Centaurea arenaria* razvija se na deposolima borskih konglomerata. Najveći stepen prisutnosti - frekventnosti imaju dominantne vrste *Epilobium dodonaei*, *Centaurea arenaria*, *Sanguisorba minor*, kao i *Echium vulgare*, koja uz nominalnu vrstu *Centaurea arenaria* predstavlja jednu od dijagnostički najznačajnijih predstavnika ovog vegetacijskog stadijuma. Analiza indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka i prateće analize deposola ukazuju na izraženiju ksero-termnost u odnosu na ostale litološke grupe, heliofilnost, prisustvo vrsta koje preferiraju baznu podlogu, kao i na umerenu oligotrofnost. Ova mikrostaništa pokazuju najvišu prosečnu vrednost sume ekstrahovanih baznih katjona u odnosu na ostale litološke grupe, što je praćeno prisustvom bazofilnih dominantnih i dijagnostičkih vrsta (*Epilobium dodonaei*, *Sanguisorba minor*, *Festuca valesiaca*). Odlikuju se visokim sadržajem ispitivanih mikroelemenata, pri čemu su utvrđene koncentracije bakra, olova, cinka i hroma više u odnosu na ostale grupe deposola. Koncentracije pseudo-ukupnog arsena i bakra, kao i pristupačnog bakra višestruko prevazilaze dozvoljene vrednosti.

Vegetacijski stadijum *Agrostis stolonifera* - *Calamagrostis epigejos* se razvija na površinama otkrivke sastavljene od alterisanih hornblenda andezita i nevezanih sedimenata. Najveći stepen prisutnosti - frekventnosti imaju dominantne vrste *Agrostis*

stolonifera, *Calamagrostis epigejos* i *Epilobium dodonaei*, kao i dijagnostička vrsta *Rumex acetosella*. Analize indikatorskih vrednosti prisutnih biljaka kao i prateće analize deposola ukazuju da se radi o pretežno mezotermnim i submezofilnim staništima, kisele reakcije. Prisustvo vrsta tolerantnih na zaslanjenost u ovom vegetacijskom stadijumu (*Agrostis stolonifera*, *Lotus corniculatus*, *Polygonum aviculare* i *Rubus caesius*) ukazuje na postojanje inicijalnih procesa salinizacije. Pojačan intenzitet vlaženja kod ovih staništa ukazuje na postojeće procese ispiranja, što se ogleda i u sniženom utvrđenom sadržaju metala i metaloida u odnosu na sadržaj u ostalim grupama deposola.

Primarnu ulogu u varijabilnosti rasporeda uzorkovanih (dominantnih i dijagnostičkih) vrsta duž gradijenata sredine pokazuju hemijski faktori deposola, i to u prvom redu koncentracija kiselih i baznih jona u rastvoru deposola. Varijacija ekoloških osobina vrsta u vegetacijskim stadijumima duž ispitivanih gradijenata sredine ogleda se u opadanju vrednosti ekoloških indeksa za kiselost uz istovremeni porast vrednosti indeksa za salinitet i vlažnost duž gradijenta smanjenja pH vrednosti, što takođe ukazuje na prisutne procese ispiranja, odnosno izluživanja. Litološke grupe na području borskog jalovišta pokazuju u ovim analizama sekundarni značaj, iako upravo njihov mineraloški sastav i prateće reakcije razlaganja igraju dominantnu ulogu u generisanju osobina tek inicijalno razvijenih deposola. Precizniji uvid u meru povezanosti geološkog i biološkog faktora na ovom i sličnim područjima omogućila bi zato primena dodatnih mineraloških i hemijskih metoda koje bi doprinele izraženijoj kvantifikaciji razlika među postojećim litološkim grupama.

► Samonikle biljne vrste na području borskih odlagališta otkrivke primenjuju strategije isključivanja ili usvajanja ispitivanih hemijskih elemenata u svoje podzemne i nadzemne organe. Pojedine dominantne i diferencijalne vrste unutar izdvojenih vegetacijskih stadijuma poseduju pri tome osobine koje ih kandiduju za potencijalno korišćenje u procesima fitoremedijacije ispitivanog područja.

Na području borskih odlagališta uzorkovane samonikle biljne vrste akumuliraju elemente u korenu u odnosu $Cu > Zn > As > Pb > Cr$, dok se kod nadzemnih delova biljke akumulacija ispitivanih elementa nalazi u odnosu $Cu > Zn > As > Cr > Pb$.

Ispitivani elementi nagomilavaju se u proseku u većoj koncentraciji u korenu nego u nadzemnom delu uzorkovanih vrsta, pri čemu je ovaj odnos najmanje izražen u slučaju arsena, a najviše u slučaju olova. Prosečan sadržaj arsena i bakra u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih biljaka borskog odlagališta prelazi granicu toksičnosti. Sadržaj hroma je iznad normalnog opsega, olovo je u nadzemnim delovima biljaka u koncentracijama ispod prosečnog sadržaja, dok je koncentracija cinka u okviru normalnog opsega. U ovom istraživanju nisu utvrđene značajne korelacije koncentracija ispitivanih elemenata u korenu i nadzemnom delu sa pseudo-ukupnim i pristupačnim sadržajima elemenata u deposolu, što ukazuje na značajne razlike u stepenu usvajanja elemenata od strane pojedinačnih biljnih vrsta. U pogledu koncentracija elemenata u korenu i nadzemnom delovima različitih vrsta biljaka takođe postoje značajne razlike. Uzorkovane samonikle biljne vrste na borskom odlagalištu iz korena u svoje nadzemne organe u najvećoj meri prevode arsen, a u najmanjoj meri olovo. Kada su u pitanju pseudo-ukupne koncentracije ispitivanih elemenata, iz deposola u koren biljke najviše provode cink, a najmanje arsen i hrom, dok u pogledu EDTA-pristupačnih koncentracija elemenata najsnažnije provode hrom, a najslabije olovo. Iz rastvora deposola u nadzemni deo biljke u najvećoj meri prevode pseudo-ukupne koncentracije cinka, a u najmanjoj olova, a po pitanju akumulacije EDTA-pristupačnih koncentracija elemenata u nadzemne delove, najviše vrednosti pokazuju za hrom, a najniže za bakar.

Analizirane biljne vrste pokazuju značajan stepen korelacije između koncentracije bakra i olova u korenu, kao i koncentracije bakra i olova, i arsena i bakra u svojim nadzemnim delovima. Na osnovu visokih korelacija sadržaja bakra i olova u korenu ali i njihovih koncentracija u deposolu, može se pretpostaviti postojanje sličnih mehanizama usvajanja ova dva elementa, kao i postojanje efikasnih mehanizama njihovog zadržavanja u korenu ispitivanih vrsta. Korelacija bakra i arsena, kao i olova i bakra u nadzemnim delovima biljaka u vezi je sa postojećom atmosferskom depozicijom ovih elemenata na području Bora i okoline.

Utvrđene su razlike u sastavu deposola iz zone rizosfere uzorkovanih samoniklih vrsta borskog odlagališta za većinu ispitivanih parametara. U deposolu rizosfere vrsta *Festuca valesiaca* i *Sanguisorba minor* konstatovano je pojačano učešće čestica praha i gline u odnosu na ostale vrste. Deposole vrsta *Agrostis stolonifera*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos* karakterišu pretežno niže pH vrednosti, povišen oksido-

redukcionu potencijal, snižena suma ekstrahovanih baza, snižena količina pristupačnog kalijuma i veoma nizak sadržaj ukupnog azota. *Agrostis stolonifera* i *Calamagrostis epigejos* na području borskih odlagališta rastu u uslovima veoma niskog sadržaja pristupačnog fosfora, a *Agrostis stolonifera* i *Rumex acetosella* i povišenog saliniteta rastvoru deposola. *Epilobium dodonaei* i *Festuca valesiaca* razvijaju se na deposolima sa donekle povišenim sadržajem ukupnog azota i pristupačnog kalijuma. Utvrđene su značajne razlike u pogledu sadržaja elemenata u korenu i nadzemnom delovima između uzorkovanih vrsta. Vrsta *Linaria genistifolia* u svojim nadzemnim delovima skladišti najmanje količine hroma, bakra i olova, dok vrsta *Chenopodium botrys* sadrži minimalne količine ovih elemenata u svom korenu. Vrsta *Rumex acetosella* maksimalno koncentriše bakar i olovo u svojim nadzemnim delovima u odnosu na ostale uzorkovane vrste, dok *Festuca valesiaca* skladišti maksimalne količine arsena, bakra, olova i cinka u svom korenu. Iako uočeni vegetacijski stadijumi ukazuju na direktnu povezanost florističkog sastava i litološke podloge, sadržaj mikroelemenata u uzorkovanim (dominantnim i dijagnostičkim) biljnim vrstama ne pokazuje značajne razlike u odnosu na deposole različitih litoloških grupa. Pored činjenice da stepen usvajanja zavisi i od osobina analiziranih vrsta, ovo takođe ukazuje i na potrebu budućih obimnijih uzorkovanja sa ujednačenijim brojem primeraka analiziranih biljnih vrsta i litološke podloge, budući da je njihova neravnomerna zastupljenost, direktno uzrokovana postojećim stanjem na terenu, bila i jedan od limitirajućih faktora ove studije. Sadržaj ispitivanih elemenata u biljnim vrstama na deposolima različitih litoloških grupa pokazuje, međutim, statističke razlike u slučaju sadržaja sumpora u korenu, pri čemu je utvrđena razlika između vrsta sa deposola hornblenda andezita i deposola alterisanih hornblenda andezita, koji se razlikuju i u međusobnom sadržaju pseudo-ukupnog i EDTA-pristupačnog sumpora. Jedno od potencijalnih objašnjenja je da povišena koncentracija sumpora na deposolima alterisanih hornblenda andezita proizilazi iz pojačane sinteze proteina koji učestvuju u adaptaciji biljaka na stresogene faktore sredine, što indiciraju i savremena istraživanja o metaboličkim osnovama tolerancije biljaka na usvajanje metala. Naučnu potvrdu ove pretpostavke trebalo bi potražiti u budućim istraživanjima na ovom prostoru koja bi bila posvećena bližem ispitivanju tog fenomena.

U pogledu usvajanja mikroelemenata duž gradijenata sredine utvrđeno je da sa snižavanjem pH vrednosti i porastom sadržaja pristupačnog sumpora i električnog konduktiviteta, u izdvojenim vegetacijskim stadijumima dominaciju preuzimaju vrste sa većim biokoncentracionim faktorima za sve ispitivane mikroelemente. Snižavanje pH vrednosti snažno utiče na njihovu mobilnost, pa pojačana tolerancija na prisustvo mikroelemenata u rastvoru deposola određenih litoloških grupa predstavlja adaptivni mehanizam biljaka u odnosu na inicijalno povišene koncentracije zagađujućih materija. Bioakumulacioni faktor takođe raste na litologijama sa nižom pH vrednošću kod svih ispitivanih elemenata osim hroma, pa analizirane vrste generalno odražavaju povećan sadržaj ovih elemenata i u svojim nadzemnim delovima. Translokacioni faktori variraju duž gradijenata sredine ukazujući na to da je sposobnost translokacije metala u većoj meri zavisna od specifičnosti samih vrsta i njihovih unutrašnjih mehanizama regulacije sadržaja mikroelemenata u ćelijama nego od sadržaja ovih elemenata u deposolu otkrivke.

Na području borskih odlagališta otkrivke potrebno je sprovesti remedijaciju pre svega u odnosu na bakar i arsen, čiji sadržaji prevazilaze propisane granične vrednosti, pa su od najvećeg značaja samonikle vrste koje pokazuju remedijacioni potencijal u odnosu na ove elemente. Među analiziranim vrstama biljaka potencijal u fitoremedijaciji bakra pokazuju *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca*, *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigejos*, za koje je karakteristično višestruko nakupljanje ovog elementa u korenu u odnosu na njegov pristupačan sadržaj u deposolima borske otkrivke. Vrste *Agrostis stolonifera*, *Festuca valesiaca* i *Rumex acetosella*, koje pokazuju povišen biokoncentracioni faktor i u odnosu na ukupan sadržaj bakra u deposolu, mogu se stoga primeniti u fitostabilizaciji područja borskih odlagališta. *Rumex acetosella* pokazuje sposobnost višestruke akumulacije arsena u nadzemnim delovima u odnosu na pristupačan arsen u deposolu pa se iz ovog razloga može preporučiti za primenu u fitoekstrakciji ovog elementa na području borskih odlagališta.

Budući da borski deposoli spadaju u zemljišta sa većim brojem hemijskih elemenata u odnosu na koje pokazuju visoke faktore obogaćenja, njihova fitoremedijacija bila bi efektivnija uz izbor vrsta koje pokazuju mogućnost akumulacije svih, ili većine elemenata od interesa, u svojoj biomasi. Na deposolima borskih odlagališta vrste *Agrostis stolonifera* i *Festuca valesiaca* pokazuju mogućnost

višestruke akumulacije svih ispitivanih mikroelemenata u korenu u odnosu na njihov pristupačan sadržaj. Radi umanjenja rizika od uključivanja elemenata u lance ishrane, u procesu fitostabilizacije područja poželjno je koristiti u prvom redu vrstu *Agrostis stolonifera*, koja iz rastvora deposola koncentriše ispitivane elemente u mnogo većoj meri u korenu u odnosu na nadzemni deo.

S obzirom na to da borska odlagališta otkrivke usled neselektivnog odlaganja predstavljaju visoko heterogena staništa, varijabilnog mineraloškog sastava i fizičko-hemijskih osobina pratećih deposola, smeše vrsta sa potencijalom za remedijaciju pokazale bi generalno bolju prilagodljivost na promenljive uslove staništa i okolne sredine. Izdvajanje vegetacijskih stadijuma i kombinacije dominantnih i dijagnostičkih vrsta koje se u izdvojenim stadijumima javljaju, a koje su utvrđene i prikazane u ovom radu, prvi su korak ka utvrđivanju kandidata za efikasne remedijacione smeše vrsta koje bi se sa uspehom mogle primeniti na području odlagališta otkrivke u Boru.

8. LITERATURA

1. Adriano, D.C. (2001): Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals, 2nd ed., Springer, New York, pp. 867.
2. Agencija za privatizaciju (2006): Environmental Assessment of RTB Bor Operations –Final Report, Environmental Resources Management Milan Office.
3. Aiken, S.G., Dore, W.G., Lefkovitch, L.P., Armstrong, K.C. (1989): *Calamagrostis epigejos* (Poaceae) in North America, especially Ontario, Canadian Journal of Botany, 67(11): 3205-321.
4. Aiken, S., Dallwitz, M., McJannet, C., Consaul, L. (1996): *Festuca* of North America: descriptions, illustrations, identification, and information. URL: retrieval. <http://delta-intkey.com/festuca/#citation>
5. Alegre, J., Alonso-Bla'zquez, N., de Andre's, E., Tenorio, J., Ayerbe, L. (2004): Revegetation and reclamation of soils using wild leguminous shrubs in cold semiarid Mediterranean conditions: litterfall and carbon and nitrogen returns under two aridity regimes. Plant Soil, 263: 203–212.
6. Alifragkis, D., Voulgaridou, H., Voulgaropoulou, M., Vavelidis, M., Orfanoudakis, M., Gazea, E., Galatsianou, A., Alifragki, M. (2013): Installation of natural vegetation on old tailing disposal area at Olympias Halkidiki mine after chemical stabilization and phytoremediation, 6th International conference Sustainable development in Minerals Industry, 30.06-3.07. 2013, Milos Island, Greece.
7. Alloway, B.J. (1990): Heavy metals in soils, John Wiley, New York, pp. 390.
8. Anderson, W. (1980): Assimilation of inorganic sulfate into cysteine, In: The Biochemistry of Plants, Mifflin B. (ed), Vol 5, Academic Press, New York, pp. 203-223.
9. Andres, F., Walter, I. (2007): Revegetation of abandoned agricultural land amended with biosolids, Science of the Total Environment, 378 (1-2): 81-83.
10. Andrić, B., Antonijević, I., Grubić, A., Dragašević, T., Đorđević, M., Terzić, M. (1972): Analiza geološke građe Timočkog sinklinorijuma u svetlosti novih

geoloških istraživanja, III Savetovanje o istraživanju bakrove mineralizacije na teritoriji SFRJ, Rudarsko-topioničarski basen, Bor.

11. Angiolini, C., Bacchetta, G., Brullo, S., Casti, M., Del-Galdo, G., Guarino, R. (2005): The vegetation of mining dumps in SW-Sardinia, *Feddes Repertorium* 3/4: 243-276.
12. Anonymous (1983): Sumporni dim od 1908. do 1935. godine, arhivska građa XXVIII, Građa za istorijska istraživanja o Boru i Majdanpeku, Biblioteka časopisa 'Bakar', izdavačke delatnosti i istorijska istraživanja, Bor.
13. Antonijević, M., Dimitrijević, M., Milić, S., Nujkić, M. (2012): Metal concentrations in the soils and native plants surrounding the old flotation tailings pond of the copper mining and smelting complex Bor (Serbia), *Journal of Environmental Monitoring*, 14(3): 866-77.
14. Antonović, G., Nikodijević, V., Tanasijević, Đ., Vojinović, Lj., Pavićević, N., Aleksić, Ž., Filipović, Đ., Jeremić, M. (1974): Zemljišta basena Timoka, Institut za proučavanje zemljišta, Beograd, pp 341.
15. Arandelović, M. (2013): Primena autohtonih i alohtonih biljnih vrsta na javnim zelenim površinama grada Bora, Diplomski rad, Šumarski fakultet, Beograd.
16. Arcand, M., Schneider, K., (2006): Plant- and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 78(4): 791-807.
17. Archer, A., Auld, B (1982): A review of the ecology of sorrel *Rumex acetosella* in pastures. *Australian Weeds*, 1(3): 15-19.
18. Attenberg, A. (1908): Studien auf dem Gebiete der Bodenkunde, *Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen*, 69: 93-143.
19. Bachetta, G., Cappai, G., Ciarruci, A., Tamburini, E. (2013): Use of native plants for the remediation of abandoned mine sites in mediterranean semiarid environments, In: *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST, 2013)*, 5-7 September, Athens, Greece.
20. Bagatto, G., Shorthouse J.D. (1999): Biotic and abiotic characteristics of ecosystems on acid metalliferous mine tailings near Sudbury, Ontario. *Canadian Journal of Botany* 77: 410-425.

21. Baize, D., (1993): Soil science analyses. A guide to current use. John Wiley & SonsLtd, West Sussex, UK, pp. 192.
22. Baker, A. (1981): Accumulators and excluders—Strategies in the response of plants to heavy metals, *Journal of Plant Nutrition*, 3: 643–654.
23. Baker, A., Brooks, R. (1989):Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metal elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry, *Biorecovery*, 1: 81-126.
24. Baker, A., Walker, P. (1990): Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants: Heavy metal uptake by tolerant plants. In: Shaw, A.J. (Editors). *Evolutionary Aspects*. CRC, Boca Raton, pp. 155-177.
25. Baker, A., Reeves, R., McGrath, S. (1991): In situ decontamination of heavy metal polluted soils using cropsof metal-accumulating plants: a feasibility study, In: *In Situ Bioreclamation*, Hinchee, R., Olfenbuttel, R. (eds.), Butterworth-Heinemann, Boston, pp. 539-544.
26. Baker, A., McGrath, S., Reeves, R., Smith, J. (2000): Metal hyperaccumulator plants: A review of ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metalpolluted soils, In: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, Terry, N. et al. (eds.), Boca Raton, FL7 Lewis Publishers, pp. 129-158.
27. Ball, P. W. (1968): *Dorycnium* Miller, In: Tutin, T., Heywood, V., Burges, N., Moore, D.,Valentine, D., Walters, S., Webb, S. (eds.), *Flora Europaea*, Volume 2, Rosaceae to Umbelliferae, Cambridge University Press, pp. 452.
28. Banášová, V., Horak, O., Čiamporová, M., Nadubinská, M., Lichtscheidl, I. (2006): The vegetation of metalliferous and non-metalliferous grasslands in two former mine regions in Central Slovakia, *Biologia*, Bratislava, 61(4): 433—439.
29. Banášová, V., Holub, Z., Zelenakova, E. (1987): Dynamic, structure and heavy metal accumulation in vegetation under long-term influence of Pb and Cu immissions. *Ekologia* (Bratislava), 6:101–111.
30. Banášová, V., (1983): The vegetation of pyrite dumps and the content of copper, lead, zinc, arsenic, silver, iron and sulfur in plants and soil. *Biologia* (Bratislava), 38 (5): 469-480.

31. Banášová, V., Čiamporová, M., Nadubinská, M. (2007): Heavy Metal Localities and Their Vegetation in Slovakia, Institute of Botany, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, pp. 8.
32. Banješević, M. (2006): Gornjokredni magmatizam Timočkog magmatskog kompleksa, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, pp. 184.
33. Barger, C. and J. Swearingen. 2010. Invasive Plant Atlas of the United States. University of Georgia Center for Invasive Species and Ecosystem Health. <http://www.invasiveplantatlas.org><http://www.invasiveplantatlas.org/subject.html?sub=6331>
34. Bartlett, R. (1992): Solution mining : leaching and fluid recovery of materials, Gordon and Breach Science Publishers, Philadelphia, pp. 443.
35. Beckett, P. (1989): The use of extractants in studies on trace metals in soils, sewage sludges and sludge-treated soils, *Adv. Soil Sci.*, 9: 144-176.
36. Bell, L., Bennett, R., Ryan, M., Moore, G., Ewing, M., Bennett, S. (2007): Establishment and summer survival of the perennial legumes *Dorycnium hirsutum* and *D. rectum* in Mediterranean environments, *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45: 1245–1254.
37. Bennett, L., Burkhead, J., Hale, K., Terry, N., Pilon, M., Pilon-Smits, E. (2003): Analysis of Transgenic Indian Mustard Plants for Phytoremediation of Metal-Contaminated Mine Tailings, *Journal of Environ Quality*, 32(2): 432-440.
38. Benson, L.M., Porter, E.K., Peterson, P.J. (1981): Arsenic accumulation, tolerance, and genotypic variation in plants on arsenical mine wastes in South-West England, *Journal of Plant Nutrition*, 3: 655–666.
39. Bern Convention Group of Experts on Invasive Alien Species (2009): Implementation of recommendations on the Invasive Alien Species, National reports and Contributions, Strasbourg, pp. 100.
40. Best, M. G. (2003): *Igneous and Metamorphic Petrology*, Blackwell Publishing, Turin, pp. 752.
41. Billings, W. D. (1950): Vegetation and Plant Growth as Affected by Chemically Altered Rocks in the Western Great Basin, *Ecology*, 31 (1) pp. 62-74.

42. Bissen, M., Frimmel, F. (2003): Arsenic –a review. Part I: occurrence, toxicity, speciation and mobility. *Acta Hydrochim Hydrobiol* 31: 9–18.
43. Blečić, V., Tatić, B., Krasnići, F.(1969): Tri endemične zajednice na serpentinskoj podlozi Srbije.- *Acta Bot. Croat.* 28: 43-47.
44. Bogdanović, G., Trumić, M., Stanković, V., Antić, D., Trumić, M., Milanović, Z. (2013): Rudničke vode iz rudnika rtb bor –resurs za dobijanje bakra ili zagađivač životne sredine, *Reciklaža i održivi razvoj*, 6: 41-50.
45. Bohrerova, Z., Stralkova, R., Podesvova, J. (2004): The relationship between redox potential and nitrification under different sequences of crop rotations. *Soil and Tillage Research*,77: 25–33.
46. Bolan, N., Mahimairaja, S., Kunhikrishnan, A., Choppala, G. (2013): Phosphorus–arsenic interactions in variable-charge soils in relation to arsenic mobility and bioavailability, *Science of the Total Environment* 463–464: 1154–1162.
47. Borhidi, A. (1995): Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higher plants in the Hungarian Flora, *Acta Botanica Hungarica*, 39 (1-2): 97-181.
48. Bradshaw, A., McNeilly, T., Gregory, R. (1965): Industrialisation, evolution and the development of heavy metal tolerance in plants, In: *Ecology and the Industrial Society. British Ecological Society Symposium* 5, 327–343.
49. Bradshaw, A., Humphreys, M., Johnson, M. (1978): The value of heavy metal tolerance in the revegetation of metalliferous mine wastes, In: *Environmental Management of Mineral Wastes*, Goodman, G., Chadwick, M. (ed.), Alphen, Netherlands : Sijthoff and Nordhoff, 311–334.
50. Bradshaw, A. (1985): Ecotoxicology and the perspectives for ecosystem rehabilitation, *Vakblad voor Biologen*, 65 (13): 93–100.
51. Bradshaw, A. (1989): Wasteland management and restoration in Western Europe, *Journal of Applied Ecology* 26, 775–786.
52. Bradshaw A. (1991): Pollution and ecosystems, In: *The Treatment and Handling of Wastes*, Bradshaw A. (ed.), Chapman and Hall, London, 7–25.
53. Brantley, S., Kubicki, J., White, A. (2008): Kinetics of Mineral Dissolution, In: *Kinetics of Water-Rock Interaction* (eds. Brantley, S., Kubicki, J., White, A), Springer, New York, p. 151-210.

54. Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde, 3rd edn. Springer, Wien, p. 865.
55. Breithaupt, A., (1861): Timatzit, eine neue Gesteinsart, und Gamzigradit, ein neuer Amphibol, Berg- und Huttenmannische Zeitung, 20. Jahrgang, 6: 51-54.
56. Brejea, R. , Domuța, C., Șandor, M., Samuel, A.D., Bara, V., Ciobanu, G., Sabău, C.N., Ciobanu, C., Bara, C., Domuța, C., Bara, L., Borza, I., Gâtea, M., Vușcan, A. (2008): The Study of Physical, Chemical and Enzymatical Properties of the Land From a Former Bauxite Quarry in The Pădurea Craiului Mountains in The Context of Ecological Reconstruction, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 3 (2): 49 – 63.
57. Brofas, G.,Trigas, P., Mantakas G., Karetso, G. (2007): Rehabilitation of disturbed areas by mining activities in high floristic diversity areas: the case of Mt Giona, 3rd International Conference on Sustainable Development Indicators 1 in the Minerals Industry, June 2007, Milos island, Greece.
58. Brooks, R. (1972): Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration. Harper & Row, New York, pp. 290.
59. Brooks, R. (1987): Serpentine and Its Vegetation – A Multidisciplinary Approach, Dioscorides Press, Portland, Oregon, US, p. 268.
60. Brooks, R. (1988): Geobotanical prospecting, General geology, Encyclopedia of Earth Science, Springer, pp. 227-235.
61. Brooks, R., Dunn, C, Hall, G. (1995): Biological systems in mineral exploration and processing, Ellis Horwood, New York, pp. 538.
62. Brooks, R. (1998): Plant that accumulate heavy metals. CAB International, Wallingford, pp. 384.
63. Brookins, D.G. (1988): Eh-pH diagrams for geochemistry, Springer-Verlag, New York, pp. 176.
64. Brown, G., Brinkmann, K. (1992): Heavy metal tolerance in *Festuca ovina* L. from contaminated sites in the Eifel Mountains, Germany, Plant and Soil, 143(2): 239-247.
65. Brullo S, Giusso Del Galdo G, Guarino R, Minissale P. (2007): A survey of the weedy communities of Sicily, Analli di Botanica, Vol 7, 127-161.

66. Bryndová, I., Kovář, P. (2004). Dynamics of the demographic parameters of the clonal plant *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth in two kinds of industrial deposits (Abandoned sedimentation basins in Bukovina and Chvaletice). In: Kovář, P. (Ed.): *Natural Recovery of Human-Made Deposits in Landscape* (Biotic Interactions and Ore/Ash-Slag Artificial Ecosystems). Academia, Prague, pp. 267-276.
67. Bugarin, M., Maksimović, M., Ljubojev, V. (2012): Rezerve bakra i zlata u istražno-eksploatacionom polju RTB-a Bor, Rudarski radovi, Bor, 3: 1-16.
68. Bugarin, M., Stevanović, Z., Marinković, V., Maksimović, M., Obradović, L. (2013): Distribution of Cu in the old Bor flotation tailing dump as a function of future reclamation of the field, 13th SGEM GeoConference on Science and Technologies, Proceedings of Geology, Exploration and Mining, SGEM2013, June 16-22, p. 33 – 38.
69. Cain, S. (1944): Foundations of plant geography, Harper Bros, New York, pp. 556.
70. Cannon, H. (1957): Description of indicator plants and methods of botanical prospecting for uranium deposits on the Colorado Plateau, United States Geological Survey Bulletin, 1036-M: 399–516.
71. Cao, X., Ma, L. (2004): Effects of compost and phosphate on plant arsenic accumulation from soils near pressure-treated wood, Environmental pollution, 132: 435-442.
72. Cappyns, V. (2012): A Critical Evaluation of Single Extractions from the SMT Program to Determine Trace Element Mobility in Sediments, Applied and Environmental Soil Science, vol. 2012, Article ID 672914, p. 15.
73. Caravaca, F., Alguacil, M., Diaz, G., Roldan, A. (2003): Use of nitrate reductase activity for assessing effectiveness of mycorrhizal symbiosis in *Dorycnium pentaphyllum* under induced water deficit. Comm Soil Sci Plant Anal 34: 2291–2302.
74. Carpenter, A., Murray, T. (1998): Element Stewardship Abstract for *Linaria genistifolia* (L.) P. Miller *ssp. dalmatica* (L.) Maire & Petitmengin (Synonym: *Linaria dalmatica* (L.) P. Miller) and *Linaria vulgaris* P. Miller. Nature Conservancy, Virginia.

75. Castlehouse, H., Osborn, M., Cripps, J. (2010): Modelling the chemical influences on bioavailability of geogenic arsenic in soils, in: Proceedings of 19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia, 1 – 6 August 2010, pp. 70-73.
76. Cavallaro, N., McBride, M.B. (1978): Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils, Soil Scientific Society of America Journal, 42: 550-556.
77. Chaney, R., Malik, M., Li, Y., Brown, S., Brewer, E., Scott, J., Alan, A., Baker, J. (1997): Phytoremediation of soil metals, Current Opinion in Biotechnology, 8: 279–284.
78. Chaney, R., Angle, J., Broadhurst, C., Peters, C., Tappero, R., Sparks, D., (2007): Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies, Journal of Environmental Quality, 36: 1429–1443.
79. Chlopecka, A., Bacon, J.R., Wilson, M.J., Kay, J., 1996. Forms of cadmium, lead and zinc in contaminated soils from southwest Poland, Journal of Environmental Quality, 25: 69–79.
80. Chytrý M, Tichý L. 2003. Diagnostic, constant and dominant species of vegetational classes and alliances of the Czech Republic: A statistical revision. Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis. Biologia 108. Brno: Masaryk University, pp. 231.
81. Cincović, T., Kojić, M. (1976): Rod *Agrostis* L., U: Josifović, M. (ed.) Flora SR Srbije 8, pp. 301-307. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd.
82. Cole, M. (1973): Geobotanical and biogeochemical investigations in the sclerophyllous woodland and Shrub associations of the eastern goldfields area of Western Australia, with particular reference to the role of *Hibanthus floribundus* (Lindl.) F. Muel., as a nickel indicator and accumulator plant, Journal of Applied Ecology, 10(1): 269-320.
83. Colzi, I., Rocchi, S., Rangoni, M., Del Bubba, M., Gonnelli, C. (2014): Specificity of metal tolerance and use of excluder metallophytes for the phytostabilization of metal polluted soils: the case of *Silene paradoxa* L., Environmental Science and Pollution Research, 21: 10960-10969.

84. Coolong, W., Randle, M. (2003): Temperature influences flavor intensity and quality in 'Granex 33' onion, *Journal American Society for Horticultural Science*, 128: 176-181.
85. Csecserits, A., Rédei, T. (2001): Secondary Succession on Sandy Old-Fields in Hungary *Applied Vegetation Science*, 4 (1): 63-74.
86. Cvetković, Lj., Pačevski, A., Tončić, T. (2013): Occurrence of Sn-Bearing colusite in the ore-body 'T' of the Bor copper deposit, Serbia, *Geology of Ore Deposits*, 55 (4): 298-304.
87. DAISIE European Invasive Alien Species Gateway (2008): *Linaria genistifolia* (L.) Mill, URL: <http://www.europe-aliens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=19817>
88. DAISIE European Invasive Alien Species Gateway (2008): *Centaurea arenaria* Bieb. ex Willd., URL: <http://www.europe-aliens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=22728>
89. Dangić, A., Dangić, J. (2007): Arsenic in the soil environment of central Balkan Peninsula, south-eastern Europe: occurrence, geochemistry and impacts. In: eds. P. Bhattacharya, A.B. Mukherjee, J. Bundschuh, R. Zevenhoven, R.H. Loeppert, *Arsenic in Soil and Groundwater Environment, Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, Elsevier, 9: 207-236.
90. Deditius, A., Utsunomiya, S., Renock, D., Ewing, R., Ramana, C., Becker, U., Kesler, S. (2008): A proposed new type of arsenian pyrite: Composition, nanostructure and geological significance, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 2919-2933.
91. De Kok, L.J., Castro, A., Durenkamp, M., Stuiver, C., Westerman, S., Yang, L., Stulen, I. (2002): Sulphur in plant physiology, *Proceedings No 500, The International Fertiliser Society, York*, pp. 1-26.
92. De Martonne, E. (1926): Une nouvelle fonction climatologique: l'Indice d'Aridite, *La Meteorologie*, Paris, 2: 449-459.
93. de Oliveira, L., Ma, L., Santos, J., Guilherme, L., Lessl, J. (2014): Effects of arsenate, chromate, and sulfate on arsenic and chromium uptake and

- translocation by arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L., *Environmental Pollution*, 184: 187–192.
94. Diklić, N. (1972): Rod *Dorycnium* Mill., U: Josifović, M. (ed.) *Flora SR Srbije* 4, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 475-478.
 95. Diklić, N. (1973): Fam. *Oenotheraceae* Wettst.. In: Josifović, M. (ed.), *Flora SR Srbije* 5, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 8-34
 96. Diklić, N. (1984): Životne forme biljnih vrsta i biološki spektar flore SR Srbije, *Vegetacija SR Srbije I - opšti deo*, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 291-316.
 97. Dimitrijević, D., Antonijević, M., Dimitrijević, Lj. (2002): Oksidacija pirita – posledice i značaj. *Hemijska industrija*, 56 (7-8): 299-316.
 98. Dittberner, P., Olson, M. (1983): The plant information network (PIN) data base: Colorado, Montana, North Dakota, Utah, and Wyoming. FWS/OBS-83/86. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
 99. Di Tomaso, J., Kyser, G., Oneto, S., Wilson, R., Orloff, S., Anderson, L., Wright, S., Roncoroni, J., Miller, T., Prather, T., Ransom, C., Beck, K., Duncan, C., Wilson, K., Mann, J. (2013): *Weed control in natural areas in the Western United States*, Weer research & Information center, University of California, US.
 100. Dold, B., Fontboté, L., (2001): Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy, and mineral processing. Special Issue: *Geochemical studies of Mining and the Environment*, *Journal of Geochemical Exploration*, 74(1-3): 3-55.
 101. Dold, B. (2003): Secondary enrichment processes in sulfidic mine tailings: Lessons for supergene ore formation, *SGA New* 16: 7.
 102. Dold B. (2005): Basic concepts in environmental geochemistry of sulfide mine-waste. In: *Mineralogía, geoquímica y geomicrobiología para el manejo ambiental de desechos mineros. XXIV Curso Latinoamericano de Metalogenia*, 22 August-2 September 2005 (pp. 1-36). Lima, Perú: UNESCO-SEG.
 103. Dražić, D. (1998). Proučavanje stanja i funkcionalnosti rekultivisanih odlagališta pošumljavanjem na području Kolubarskog basena u cilju kvalitetnije životne sredine i njenog korišćenja za rekreaciju. Doktorska disertacija. Šumarski fakultet. Beograd.

104. Dražić, D. (2002): Multifunkcionalna valorizacija predela i ekosistema stvorenih rekultivacijom odlagališta površinskih kopova Kolubarskog basena, Savezni sekretarijat za rad, zdravstvo i socijalno staranje - sektor za životnu sredinu, Beograd
105. Drovenik, M. (1961): Geološko-petrološka studija širše okolice Rudnika Bor (vzhodna Srbija), Doktorska disertacija, Ljubljana, pp. 688.
106. Dueck, Th.A., Visser, P., Ernst, W.H., Schat, H. (1986): Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae Decrease Zinc-Toxicity To Grasses Growing In Zinc-Polluted Soil, *Soil Bid. Biochem.*, 18 (3): 331-333.
107. Dunn, C. (2007): Biogeochemistry in Mineral Exploration, *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry* 9, Hale, M. (ed.), Elsevier, Amsterdam, pp. 480.
108. Dushenkov, V., Kumar, N., Motto, H., Raskin, I. (1995): Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environmental Science and Technology*, 29: 1239-1245.
109. Dutch Target and Intervention Values, 2000, the New Dutch List, URL: <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/publicaties-pb51/interventiewaarden-gevaarlijke-stoffen/11br2005g175.pdf>
110. Dwivedi K, Tripathi, S. (2008): Effect of ambient air sulphur dioxide on sulphate accumulation in plants, *Journal of Environmental Biology*, 29(3): 377-9.
111. Dzybov, D. (2013): Agrosteppe Method, *Environment and Natural Resources Research*, Canadian Center of Science and Education, 3 (3).
112. Dželetović, Ž., Lazarević, M., Filipović, R., Mihailović, N (1994): Činioci koji određuju efikasnost mera bioloških rekultivacija odlagališta jalovine rudnika metala, *Zbornik radova naučnog skupa 'Ecologica'*, Posebno izdanje 1, Beograd.
113. Đorđević, M., Banješević, M. (1997): Geologija južnog dela Timočke eruptivne oblasti, *Geološka karta SRJ 1: 50 000*, Tumač za kartu, Beograd, 171.
114. Đorđević - Miloradović, J. (1998): Populaciona dinamika biljaka u primarnoj sukcesiji vegetacije na deponijama pepela termoelektrane Kostolac. Doktorska disertacija. *Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu*, pp. 459.
115. Eapen, S., D'Souza, S. (2005): Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals, *Biotechnology Advances*, 23 (2): 97–114.

116. Egner, H., Riehm, H., Domingo, W. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden II. Chemische Extraktionmethoden zu Phosphor- und Kaliumbestimmung. – K. Landw. Hogsk. Annlr. W.R., 26: 199-215.
117. Elekes, C. Busuioc, G., Ciulei, S. (2010): Correlations between Metal Content of the Soil, pH and the Bioaccumulation Factor of *Cynodon dactylon* and *Agrostis alba*, Recent Advances In Energy & Environment Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Energy & Environment, February 23-25., University of Cambridge, UK, 326-330.
118. Ellenberg, H., Mueller-Dombois, D. (1967): A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. Berichte des Geobotanisches Institut ETH, Stift Rübel Zürich, 37: 56–73.
119. Ellenberg, H., Weber, H.E., Dull, R., Wirth, V., Werner, W., Paulissen, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18, 1–248.
120. Environmental Protection Agency (1999): Phytoremediation Resource Guide, EPA 542-B-99-003.
121. Environmental Protection Agency (2000): Introduction to Phytoremediation, EPA/600/R-99/107
122. Ernst, W., Nelissen, H. (1979): Growth and mineral nutrition of plant species from clearings on different horizons of an iron-humus podzol profile, Oecologia ,41 (2): 175-182.
123. Ernst, W. (1998): Sulfur metabolism in higher plants: potential for phytoremediation, Biodegradation, 9: 311–318.
124. Ernst, W. (2006): Evolution of metal tolerance in higher plants, For. Snow Landsc. Res. 80 (3): 251–274.
125. Esser, L. (1994): *Agrostis stolonifera*. In: Fire Effects Information System, URL. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
126. Fendorf, S. (1995): Surface reactions of chromium in soils and waters, Geoderma, 67: 55-71.
127. Fernández, R., Carballo, I., Nava, H., Sánchez-Tamés, R., Bertrand, A., González, A. (2011): Looking for native hyperaccumulator species useful in

- phytoremediation" In: Golubev., I. (Ed.) 'Handbook of phytoremediation', Nova Publishers, New York, p. 297-330.
128. Finnegan, P., Chen, W. (2012): Arsenic Toxicity: The Effects on Plant Metabolism, *Front Physiol.*, 3: 182.
 129. Frank, K., Knudsen, D. (1974): Understand Your Soil Test: Phosphorus and Potassium, University of Nebraska, Extension Service.
 130. Fransson, A., Aarle, I., Olsson, P.A., Tyler, G. (2003): *Plantago lanceolata* L. and *Rumex acetosella* L. differ in their utilisation of soil phosphorus fractions, *Plant and Soil*, 248: 285–295.
 131. Fritz, J., Wenzel, W. (2002): Arsenic transformations in the soil-rhizosphere-plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation, *Journal of Biotechnology*, 99(3): 259–278.
 132. Frouz, J., Elhottová, D., Baldrián, P., Chroňáková, A., Lukešová, A., Nováková, A., Křišťůfek, V. (2013): Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites (Frouz, J. eds.), CRC Press, pp. 316.
 133. Fryer, J. (2008): *Sanguisorba minor*. In: Fire Effects Information System, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Available: <http://www.fs.fed.us/database/feis>
 134. Gajić, M. (1975), Rod *Centaurea* L. U: Josifović, M. (ed.) Flora SR Srbije 7, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 229-264.
 135. Gajić, M. (1975): Rod *Festuca* L., U: Josifović, M. (ed.) Flora SR Srbije 8, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp 415-442.
 136. Gajić, M. (1972): Rod *Sanguisorba*, L., U: Josifović, M. (ed.) Flora SR Srbije 4, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 66-71.
 137. Gawel, E., Trick, G., Morel, M. (2001): Phytochelatins *are* bioindicators of atmospheric metal exposure via direct foliar uptake *in* trees near Sudbury, Ontario, Canada, *Environmental Science and Technology*, 35(10): 2108-13.
 138. Gburčik, P., Gburčik, V., Vujičić, D. (1994): Prenošenje štetnih primesa vetrom sa površinskog kopa (Cerovo, Srbija (Jugoslavija) u uslovima složene topografije. Šumarski fakultet, Beograd.

139. Ghaderian, S., Baker, A. (2007): Geobotanical and biogeochemical reconnaissance of the ultramafic central Iran, *Journal of Geochemical Exploration*, 92: 34-42.
140. Gloser, V., Košovancova, 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.
141. Godišnji izveštaji o meteorološkim merenjima u Boru za period od 1980-2001 godine, Institut za bakar Bor.
142. Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period 2007. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
143. Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period 2008. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
144. Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period 2009. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
145. Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period 2010. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
146. Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period 2011. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
147. Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period 2012. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
148. Godišnji izveštaj o meteorološkim merenjima u Boru za period 2013. godine, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
149. Gomes, H. (2012): Phytoremediation for bioenergy: challenges and opportunities. *Environmental Technology Reviews*, 1(1): 59-66.
150. Gregori, D., Fuentes, E., Olivares, D., Pinochet, H. (2004): Extractable copper, arsenic and antimony by EDTA solution from agricultural Chilean soils and its transfer to alfalfa plants (*Medicago sativa* L.), *J. Env. Monit.*, 6(1): 38-47.
151. Gregory, P., Nortcliff, S. (2013): Soil conditions and plant growth, Wiley/Blackwell Ltd, Oxford, UK, pp. 472.
152. Grupa autora (1987): Istraživanje mogućnosti rekultivacije odlagališta jalovine i napuštenih delova površinskih kopova RTB-a Bor, III godina istraživanja, Tehnički fakultet Bor, Univerzitet u Beogradu.

153. Gupta, K., Huang, G., Corpas J. (2013): Lead tolerance in plants: strategies for phytoremediation, *Environ Sci Pollut Res Int.*, 20(4): 2150-61.
154. Haferburg, G., Kothe, E. (2012): Biogeosciences in Heavy Metal-Contaminated Soils, In: *Bio-Geo Interactions in Metal-Contaminated Soils*, Kothe, E., Varma, A. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 17-24.
155. Hahn, J., Riebe, C., Lukens, C., Araki, S. (2014): Bedrock composition regulates mountain ecosystems and landscape evolution, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111 (9): 3338–3343.
156. Hammer, D., Kayser, A., Keller, C. (2003): Phytoextraction of Cd and Zn with *Salix viminalis* field trials, *Soil Use and Management*, 19: 187-192.
157. Hansen, P., Boggs, K., Pfister, R., Joy, J. (1990): Classification and management of riparian and wetland sites in central and eastern Montana. Missoula, MT: University of Montana, School of Forestry, Montana Forest and Conservation Experiment Station, Montana Riparian Association, p. 279.
158. Hartley, W., Edwards, R., & Lepp, N. W. (2004). Arsenic and heavy metal mobility in iron oxide-amended contaminated soils as evaluated by short-and long-term leaching tests. *Environmental Pollution*, 131(3): 495-504.
159. Házi, J., Bartha, S., Szentes, S., Wichmann, B., Penksza, K. (2011): Seminatural grassland management by mowing of *Calamagrostis epigejos* in Hungary, *Plant Biosystems*, 145 (3): 699-707.
160. Himmler, H. (2008): Eisensteiner Kopf – the multifunctional use of an open cast mine, *Habitats – sustainable restoration and renaturation*, Basalt-Actien-Gesellschaft, Linz am Rhein, Germany, pp. 75.
161. Hobbs, R., Streit, B. (1986): Heavy metal concentrations in plants growing on a copper mine spoil in the Grand Canyon, Arizona. *American Midland Naturalist*, 115: 277–281.
162. Hodson, M.J., Smith, M.M., Wainwright S.J., Opik, H. (1982): Cation Cotolerance in a Salt-Tolerant Clone of *Agrostis stolonifera* L., *New Phytologist*, Vol. 90, No. 2, 253-261.
163. Hogan, G.E., Courtin, G.M., Rauser, W.E. (1977): Copper tolerance in clones of *Agrostis gigantea* from a mine waste site, *Canadian Journal of Botany*, 55, p. 1043.

164. Holm, L.G., Doll, J., Holm, E., Pancho, J., Herberger, J. (1997): World weeds: natural histories and distribution, New York, NY Willey, p. 1129.
165. Hossain, M., Piyatida, P., Teixeira da Silva, J., Fujita, M. (2012): Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation, Journal of Botany, Volume 2012, Article ID 872875, URL: <http://www.hindawi.com/journals/jb/2012/872875/>, Accessed: 01.08.2014.
166. Hulisz, P., Piernik, A. (2013): Soils Affected By Soda Industry In Inowrocław, In: Technogenic soils of Poland, (Charzyński, P., Hulisz, P., Bednarek, R., eds.), Polish Society of Soil Science, Torun, pp. 125-140.
167. Hulten, E., Fries, M. (1986): Atlas of North European Vascular Plants, Koelltz Scientific Books, Königstein, pp. 1172.
168. Husson, O. (2013): Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy, Plant Soil, 362: 389–417.
169. Ilić, M., Stevanović-Čarapina, H., Jovović, A., Pešić, R., Tanasković, M., Jovanović, S., Petković, G. (2002): Strateški okvir za politiku upravljanja otpadom.- Regionalni centar za životnu sredinu za Centralnu i Istočnu Evropu, Kancelarija u Jugoslaviji, Beograd, pp. 1-68.
170. International standard ISO 10390 (1994): Soil quality – Determination of pH.
171. International standard ISO 11261(1995): Soil quality – Determination of total nitrogen Modified Kjeldahl method.
172. Invasive Plant Atlas of New England (IPANE), URL: http://www.eddmaps.org/ipane/ipanespecies/herbs/Rumex_acetosella.htm
173. Iskustvo u ozelenjavanju jalovišta i terasa površinskog kopa u Boru, RO ŠK 'Južni Kučaj' Zaječar, OOUR Šumska sekcija Bor, 1988.
174. Istraživanje mogućnosti rekultivacije odlagališta jalovine i napuštenih delova površinskih kopova RTB-a Bor, III godina istraživanja, Tehnički fakultet Bor, 1987.
175. Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2005. godinu, Agencija za životnu sredinu Republike Srbije, 2006.

176. Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2009. godinu. Agencija za zaštitu životne sredine, 2010, Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja republike Srbije, Beograd.
177. Jablanović M., Jakšić P., Kosanović K. (2003): Uvod u ekotoksikologiju, udžbenik, Univerzitet u Prištini, Prirodno-matematički fakultet, Kosovska Mitrovica.
178. Janković, S. (1990): Types of copper deposits related to volcanic environment in the Bor district, Yugoslavia, *Geol. Rundschau*, Stuttgart.
179. Janković, S. (1997): The Carpatho-Balkanides and adjacent area: a sector of the Tethyan Eurasian metallogenic belt, *Mineralium Deposita*, 32: 426-433.
180. Janković, S., Jelenković, R., Koželj, D. (2002): Borsko ležište bakra i zlata – The Bor Copper and Gold Deposit. Mining and Smelting Basen Bor (RTB Bor), Copper Institute Bor (CIB), Bor.
181. Jarolímek I., Šibík J., Hegedúšová K., Janišová M., Kliment J., Kucera P., Májerková J., Michálková D., Sadlonová J., Šibíková J., Škodová I, Uhlírová J., Ujházy K., Ujházyová M., Valachovic M. & Zaliberová M. (2008): A list of vegetation units of Slovakia. In: Jarolímek I. & Šibík J. (eds). Diagnostic, constant and dominant species of the higher vegetation units of Slovakia. Veda, Bratislava, p. 295–329.
182. Jenny, H. (1980): *The soil resource*. Springer Verlag, New York.
183. Jin, C. W., Zheng, S. J., He, Y. F., Zhou, G. D., Zhou, Z. X. (2005): Lead contamination in tea garden soils and factors affecting its bioavailability, *Chemosphere*, 59: 1151 – 1519.
184. Jonović, R., Avramović, Lj., Bugarin, M., Marković, R., Stevanović, Z., Jonović, M. (2013): Proces luženja bakra iz rudarskog otpada sa otpadnim vodama, *Zaštita materijala* 54 (2): 179-182.
185. Jovanović, S., Janković, M., Stevanović, V. (1990): Uloga i značaj ruderalne flore i vegetacije u ekosistemima gradskih i industrijskih naselja. U: 'Ekologija i geografija u rešavanju problema životne sredine', Posebna izdanja, Srpsko Geografsko društvo, Beograd, 69: 136-139.
186. Jovanović, S., Stevanović, V., Jovanović-Dunjić, R. (1992): Contribution to the knowledge of the serpentine vegetation of Serbia.- *Glas. Prir. Muz. B* 47: 43-51.

187. Jovanović, S. (1994): Ekološka studija ruderalne flore i vegetacije Beograda. Biološki fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd.
188. Jović, V. (2000): Površinsko raspadanje vulkanskih stena u Srbiji. Savremena administracija, Beograd.
189. Kabala, C., Singh, B. (2006): Distribution and forms of cadmium in soils near a copper smelter, Polish Journal of Environmental Studies, 15(2a): 90-97.
190. Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992): Trace elements in soils and plants, CRC Press, USA, pp. 365.
191. Kabata-Pendias, A. (2011): Trace elements in soils and plants, 4th ed. Taylor & Francis, New York, pp. 548.
192. Kabaš, E., Alegro, A., Kuzmanović, N., Jakovljević, K., Vukojičić, S., Lakušić, D. (2013): *Stipetum novakii* ass. nova - new association of serpentine rocky ground vegetation (*Halacsyetalia sendtneri*) in Serbia.- Acta Bot. Croat. 72 (1): 169-184.
193. Kadlec, R.H., Knight, K. (1996): Treatment Wetlands, CRC Press-Lewis Publishers, New York, pp. 893.
194. Kappen, H. (1929): Die Bodenazidität Nach Agrikulturchemischen Gesichtspunkten Dargestellt, Springer Verlag, Berlin, pp. 363.
195. Karadžić, B., Marinković, S. (2009): Kvanitativna ekologija, Institut za biološka istraživanja 'Siniša Stanković', Beograd.
196. Karamata, S. Milenković, P. (1969): Clay minerals in hydrothermally altered and estherned zones in Timok eruptive complex – their application to prospecting of copper mineralisation, Academy of Yugoslave science et arts, 6: 47-56, Zagreb.
197. Karamata, S., Milovanović, D. (1978): Studija alteracija oko rudnih pojava u istražnom području rudnika Bor. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet.
198. Karamata, S., Knežević, V., Đorđević, P., Milovanović, D. (1983): Alterations in the Bor copper deposit and their significance for explanation of the ore genesis, Geological Proceedings of Geologica Carpathica, 34, Bratislava.
199. Karpinsky, A. (1841): Могут ли живые растения быть указателями горных пород и формаций, на которых они встречаются, и заслуживают ли местопрозябання особого внимания геогноста, Зхур. Садоводства, 3:4.

200. Kastori, R., (ed) (1997): Teški metali u životnoj sredini, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.
201. Kazemeini, F., Malayeri, B., Chehregani, A., Lorestani, B., Kalvandi, R. (2013): Identification of the heavy metals accumulator plants in surrounding area of mine, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6 (10) : 564 – 574.
202. Kebert, M. (2014): Biohemijska i fiziološka karakterizacija klonova topole (*Populus* spp.) u procesu fitoekstrakcije bakra, nikla i kadmijuma, Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.
203. Kelepertsis, A.E., Andrulakis, I. (1983): Geobotany -biogeochemistry for mineral exploration of sulphide deposits in Northern Greece - heavy metal accumulation by *Rumex acetosella* L. and *Minuartia verna* (L.) Hiern., *Journal of Geochemical Exploration*, 18: 267-274.
204. Kelepertsis, A., Andrulakis, I., Reeves, R. (1985): *Rumex acetosella* L. and *Minuartia verna* (L.) Hiern as geobotanical and biogeochemical indicators for ore deposits in northern Greece, *Journal of Geochemical Exploration*, 23 (2): 203–212.
205. Kelling, K., Schulte, E. (2004): Soil and Applied Calcium. Department of Soil Science, University of Wisconsin, USA.
206. Khan, N., Singh, S., Umar, S. (2008): Sulfur Assimilation and Abiotic Stress in Plants, Springer- Verlag Berlin Heidelberg, pp. 372.
207. Khan, N., Iqbal, M., Khan, R., Asgher, M., Fatma, M., Masood, A., Syeed, S. (2014): Salinity Tolerance in Plants: Revisiting the Role of Sulfur Metabolites, *Plant Biochemistry and Physiology*, 2:1.
208. Kiedrzyński, M., Zielińska, K., Kiedrzyńska, E., Jakubowska-Gabara, J. (2014): Regional climate and geology affecting habitat availability for a relict plant in a plain landscape: the case of *Festuca amethystina* L. in Poland, *Plant Ecology & Diversity*, 1-11.
209. Kič, V.: *Epilobium dodonaei* Vill. – vrbka rozmarýnolistá / kyprina štrkovisková (Hoskovec, L. eds), URL: <http://botany.cz/cs/epilobium-dodonaei/>, 16.01.2014.
210. Knežević, V., Karamata, S., Đorđević, P., Milovianović, D. (1982): Primena modela okolorudnih izmena pri prospekaciji i istraživanjima geneze ležišta bakra,

- Zbornik radova X Jubilarnog Kongresa geologa Jugoslavije, 2, Budva, p. 133-138.
211. Knežević, M., Košanin, O. (2007): Praktikum iz pedologije, Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
 212. 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.
 213. Kojić, M., Vrbničanin, S., Dajić, Z., Mrfat-Vukelić, S. (2001): Korovska flora prirodnih travnjaka Srbije, *Acta herbologica*, 10 (1): 1-22.
 214. Kolb, M., Von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, H., Fowler, S., Cvetković, V. (2013): Adakite-like and Normal Arc Magmas: Distinct Fractionation Paths in the East Serbian Segment of the Balkan-Carpathian Arc, *Journal of Petrology*, 54 (3): 421-451.
 215. Koronatova, N.G., Milyaeva, E.V. (2011): Plant Community Succession in Post-Mined Quarries in the Northern-Taiga Zone of West Siberia, *Contemporary Problems of Ecology*, 4(5): 513–518.
 216. Kostić, Z. (2003): Analiza kvaliteta životne sredine i mogućnosti fitosanacije na području opštine Obrenovac, magistarski rad, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
 217. Kostić, O., Mitrović, M., Knežević M., Jarić, S., Gajić, G., Đurđević, L., Pavlović P. (2012): The potential of four woody species for the revegetation of fly ash deposits from the 'Nikola Tesla-a' thermoelectric plant (Obrenovac, Serbia), *Archives of Biological Sciences*, 64 (1): 145-158.
 218. Kothe, E., Varma, A. (2012): Bio-Geo Interactions in Metal-Contaminated Soils, *Series: Soil Biology*, Vol. 31, IX, p. 423.
 219. Koukora, Z., Kyriazopoulos, A., Karmiris, I. (2007): Herbaceous plant cover establishment on highway road sides, *Developments in Plant and Soil Sciences*, 103: 387-391.
 220. Koutecká V., Koutecký P. (2006): Sukcese na antropogenních stanovištích hornické krajiny Ostravsko-karvinského revíru (Succession on human-made sites in the Ostrava-Karviná coal mining district) – *Zprávy Čes. Bot. Společ.* 41 (Mater. 21): 117–124.

221. Kovalevskii, A. (1972): Biogeochemical prospecting for uranium deposits, Soviet Atomic Energy, 33 (1): 647-652.
222. Kozak, M., Stępień, M., Joarder, A.H. (2005): Relationships between available and exchangeable potassium content and other soil properties. Polish Journal of Soil Science, 38 (2): 179-186.
223. Koželj, D. (2002): Epitermalna mineralizacija zlata borske metalogenetske zone: morfogenetski tipovi, struktirno-teksturni varijeteti i potencijalnost, RTB Bor, Institut za bakar, Indok centar, Bor.
224. Kruckeberg, A. (2007): Geology and Plant Life: The Effects of Landforms and Rock Types on Plants, University of Washington Press, US, pp. 304.
225. Kretz, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals, American Mineralogist, 68: 277-279.
226. Lacina, L., Koutecký, T. (2005): Biogeographical and geobiocoenological aspects of deep coal mining and its impacts on nature and landscape in the Ostrava Region. Moravian Geographical Reports 13, p. 34-48.
227. Lakušić, D., Blaženčić, J., Ranđelović, V., Butorac, B., Vukojičić, S., Zlatković, B., Jovanović, S., Šinžar-Sekulić, J. (2005): Fitocenoze Srbije – Baza podataka. – Institut za botaniku i Botanička bašta Jevremovac, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
228. Lang, R. (1920): Verwitterung und Bodenbildung als Einführung die Bodenkunde, Stuttgart. p. 188.
229. Landolt, E. (2010, 2. éd.): Flora indicativa – Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweizer und der Alpen. Haupt, Bern, pp. 378.
230. Langman, J., Moore, M., Ptacek, C., Smith, L., Sego, D., Blowes, D. (2014): Diavik Waste Rock Project: Evolution of Mineral Weathering, Element Release, and Acid Generation and Neutralization during a Five-Year Humidity Cell Experiment, Minerals, 4: 257-278.
231. Lausi, D., Gerdol, R., Piccoli, F. (1982): Syntaxonomy of the *Ostrya carpinifolia* woods in the southern Alps (N Italy) based on numerical methods, Studia Geobotanica, 2: 41–58.

232. Lehmann, C., Rebele, F. (2005): Phenotypic plasticity in *Calamagrostis epigejos* (Poaceae): response capacities of genotypes from different populations of contrasting habitats to a range of soil fertility, *Acta Oecologica* 28: 127–140.
233. Lekovski R., Miljković M., Milošević N. (1999): Prognoza dometa opasne koncentracije prašine sa 'ogledala' isušenog flotacijskog jalovišta 'Bor'u životnu okolinu, Zbornik radova 'Ekološka istina', VII naučno-stručni skup o prirodnim vrednostima i zaštiti životne sredine, Zaječar.
234. Le Maitre, R., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Schmid, R., Sorensen, H., Woolley, A. (2002): Igneous rocks. A classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks: Second ed., Cambridge, Cambridge University Press, pp. 236.
235. Lepš, J., Šmilauer, T. (2003): Multivariate analysis of ecological data using CANOCO, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 269.
236. Leslie, K., van Geffen, P., MacFarlane, B., Oates, C., Kyser, T., Fowle, D. (2013): Biogeochemical indicators of buried mineralization under cover, Talbot VMS Cu–Zn prospect, Manitoba, *Applied Geochemistry*, 37: 190–202.
237. Li, M., Luo, Y., Su, Z. (2007): Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China, *Environmental Pollution*, 147: 168–175.
238. Li, M., Luo, Y., Su, Z. (2007): Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China *Environmental Pollution*, 147: 168–175.
239. Li, Y., Chaney, R., Brewer, E., Roseberg, R., Angle, J., Baker, A., Reeves, R., Nelkin J., (2003): Development of a technology for commercial phytoextraction of nickel: economic and technical considerations, *Plant Soil*, 249: 107–115.
240. Lievens, C., Yperman, J., Vangronsveld, J., Carleer, R. (2008): Study of the potential valorisation of heavy metal contaminated biomass via phytoremediation by fast pyrolysis: Part I. Influence of temperature, biomass species and solid heat carrier on the behaviour of heavy metals, *Fuel*, 87: 1894–1905.

241. Lilić, J., Cupać, S., Lalević, B., Andrić, V., Gajić-Kvašček, M. (2014): Pedological characteristics of open-pit Cu wastes and post-flotation tailings (Bor, Serbia), *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(1):161-175.
242. Lindblom, S., Abdel-Ghany, S., Hanson, B., Hwang, S., Terry, N., Pilon-Smits, E. (2006): Constitutive Expression of a High-Affinity Sulfate Transporter in Indian Mustard Affects Metal Tolerance and Accumulation, *Journal of Environmental Quality*, 35 (3): 726-733.
243. Lintern, M., Anand, R., Ryan, C., Paterson, D. (2013): Natural gold particles in *Eucalyptus* leaves and their relevance to exploration for buried gold deposits, *Nature communications* 4, URL: <http://www.nature.com/ncomms/2013/131022/ncomms3614/full/ncomms3614.html>
244. Lokalni ekološki akcioni plan opštine Bor 2013-2022. godina, Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu.
245. Lokalni ekološki plan opštine Bor (LEAP), 2003, Građanski forum, Bor.
246. Lorestani B, Cheraghi M, Yousefi N N (2011). Phytoremediation potential of native plants growing on a heavy metals contaminated soil of copper mine in Iran. *World Academy of Science. Eng. Technol.* 77:377 -382.
247. Lottermoser, B. (2003): *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 400.
248. Luo, Y., Rimmer, D. (1995): Zinc-copper interaction affecting plant growth on a metal-contaminated soil, *Environmental Pollution*, 88 (1): 79–83.
249. MacNair, M., Cumbes, Q. (1987): Evidence that arsenic tolerance in *Holcus lanatus* L. is caused by an altered phosphate uptake system. *New Phytologist*, 107: 387–394.
250. MacNair, M., Cumbes, Q., Meharg, A. (1992): The genetics of arsenate tolerance in Yorkshire fog, *Holcus lanatus* L. *Heredity*, 69: 325–335.
251. Maćejka, M. (2001): *Ekološki menadžment*, Fakultet za internacionalni menadžment, Beograd.
252. Maier, R., Mendez, M. (2008): Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments - An emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives*, 116 (3): 278-283.

253. Maksimović, Z., Dangić, A. (1973): Mercury mine at Mount Avala – a source of environmental pollution by mercury and arsenic, *Geological annals of the Balkan Peninsula*, 38: 349-358.
254. Maksymiec, W. (1997): Effect on copper on cellular process in higher plants, *Photosynthetica*, 34 (3): 321-342.
255. Marić, M., Antonijević, M., Alagić, S. (2013): The investigation of the possibility for using some wild and cultivated plants as hyperaccumulators of heavy metals from contaminated soil, *Environ Sci Pollut Res.*, 20: 1181–1188.
256. Marić, M., Milutinović, S., Mladenović, D., Petrović, R. (2000): Sadržaj arsena, bakra, olova i cinka u zemljištima Borskog područja, *Zbornik radova VIII Naučno-stručnog skupa o prirodnim vrednostima i zaštiti životne sredine Ekološka istina*, 186-191, 4-7-06. Sokobanja.
257. Marić, M., Antonijević, M., Milutinović, S. (2006): Fitoremedijacija zemljišta oštećenog nanosima piritne jalovine, *Zbornik radova naučno-stručnog skupa Ekološka Istina*, Ekološka Istina, 04. – 07 jun, Sokobanja, p. 280-284.
258. Marić, M., Antonijević, M., Alagić, S. (2013): The investigation of the possibility for using some wild and cultivated plants as hyperaccumulators of heavy metals from contaminated soil, *Environ Sci Pollut Res.*, 20: 1181–1188.
259. Mandal, B.K., Suzuki, K. (2002): Arsenic round the world: a review, *Talanta*, 58: 201-235.
260. Marian, M., Cozmuta, L.M., Varga, C., Cozmuta, A.M. (2008): The Ecology of the phytocoeno-genesis process in the tailings ponds in Maramures County, *Natura Montenegrina*, Podgorica, 7(3): 41-55.
261. Marković, A., Dinić, A., Đelić, G., Žikić, R. (2008): The Influence of Deposits From Copper Mining and Smelting Combine Bor on the Vegetation of Riverside of the River Timok (Eastern Serbia), *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 22 (1): 566-571.
262. Marschner, H. (1995): *Mineral Nutrition of higher Plants*, Academic Press, San Diego, pp. 889.
263. Marschner, P. (2012): *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, London, pp. 651.

264. Martin, M., Coughtrey, P. (1982): Biological Indicators of Natural Ore-Bodies: Geobotanical and Biogeochemical Prospecting for Heavy Metal Deposits, Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution, Pollution Monitoring Series, Applied Science Publishers, London, p. 34-59.
265. Martin, A., Khater, C., Mineau, H., Puech, S. (2002): Rehabilitation ecology by revegetation. Approach and results from two Mediterranean countries. *Korean Journal of Ecology*, 25(1): 9-17.
266. Martínez-Ruiz, C., Fernández-Santos, B. (2005): Natural revegetation on topsoiled mining-spoils according to the exposure, *Acta Oecologica*, 28: 231–238.
267. Mazharia, M., Homaeab, M. (2012): Annual Halophyte *Chenopodium Botrys* Can Phytoextract Cadmium from Contaminated Soils, *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(2): 1415-1422.
268. Mazid, M., Khan, H., Quddusi, S., Khan, T., Mohammad, F. (2011): Significance of Sulphur nutrition against metal induced oxidative stress in plants, *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(3): 165-184.
269. McDonald, R.C., Isbell, R.F., Speight, J.G., Walker, J., Hopkins, M.S. (1998): Australian Soil and Land Survey Field Handbook, Australian Collaborative Land Evaluation Program, Canberra, pp. 190.
270. Mc Donough, W., Sun, S., (1995): The composition of the Earth, *Chemical Geology*, 120 (3–4): 223–253.
271. McGrath, D. (1996): Application of single and sequential extraction procedures to polluted and unpolluted soils. *The Science of the Total Environment*, 178: 37-44.
272. McLellan, A., Law, R. Fitter, A. (1997): Response of calcareous grassland plant species to diffuse competition: results from a removal experiment. *Journal of Ecology*. 85(4): 479-490.
273. Mehes-Smith M, Nkongolo K, Cholewa E. (2013): Chapter 3: coping mechanisms of plants to metal contaminated soil. In: Silvern S, Young S, editors. Environmental change and sustainability. Open Access, InTech; 2013. p. 53–90.
274. Metson, A. (1961): Methods of chemical analysis for soil survey samples. *Soil Bureau Bulletin No. 12*, NZ Department of Scientific and Industries Research, pp. 208.

275. Meusel, H., Jäger, E., Weiner, E. (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora 1, Text, Gustav Fischer, Jena.
276. Meusel, H., Jäger, E., Weiner, E. (1978): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora 2, Text, Gustav Fischer, Jena.
277. Mihailović Lj., Krstić O. (1964): Rekultivacija zatrovanih terena u bazenu Borskog rudnika, Zaštita prirode, p. 27-28.
278. Mihaljević, M., (1999). Zinc. In: C. P. Marshall, C.P, Fairbridge, R.W. (eds.), Encyclopedia of Geochemistry. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Germany, p. 674-675.
279. Milijić, Z. (1997): Jalovišta rudnika bakra, njihov uticaj na životnu sredinu i metode rekultivacije, Zbornik radova V naučnog skupa 'Naša ekološka istina', 8-12. jun, Sokobanja. p. 58-66.
280. Milovanović, D. (1979-1980): Proučavanje hidrotermalnih promena u slivu Borske reke, Geološki anali Balkanskog poluostrva, XLIII-XLIV, Beograd, p. 511-529.
281. Miljković, M., Stojković Z., (1998): Uticaj površinske eksploatacije ruda metala na ekološke faktore životne okoline (ilustrovano na primeru površinskog kopa 'Veliki Krivelj' u Boru), Tehnički fakultet u Boru, ŠRIF Bor.
282. Min, B.M., Kim, J. (1999): Plant Distribution in Relation to Soil Properties of Reclaimed Lands on the West Coast of Korea, Journal of Plant Biology, 42(4) : 279-286.
283. Mitrović, M., Pavlović, P., Lakušić, D., Đurđević, L., Stevanović, B., Kostić, O., Gajić G. (2008): The potential of *Festuca rubra* and *Calamagrostis epigejos* for the revegetation of fly ash deposits, Science of the Total Environment, 407(1): 338-347.
284. Mitrović, V., Dražić, G., Stevanović, B. (2004): Copper, iron and zink dynamics in *Rumex acetosella* L. and *Diplotaxis tenuifolia* (Jusl.) DC from different habitats. Proceedings of the 2nd Congress of Ecologists of the Republic of Macedonia with International Participation, 25-29.10.2003, Ohrid. Special issues of Macedonian Ecological Society, Vol. 6, Skopje, pp. 557-562.
285. Mišić, Lj., Lakušić, R. (1990): Livadske biljke, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Sarajevo.

286. Mohanty, M., Dhal, N.K., Patra, P., Das, B., Reddy, P. (2010): Phytoremediation: A Novel Approach for Utilization of Iron-ore Wastes, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 206: 29-47.
287. Moreira, H., Marques, A., Rangel, A., Castro, P. (2011): Heavy Metal Accumulation in Plant Species Indigenous to a Contaminated Portuguese Site: Prospects for Phytoremediation, *Water, Air, & Soil Pollution*, 221 (1-4) : 377-389.
288. Morrissey, L., Weinstock, K., Mouat D., Card, D. (1984): Statistical Analysis of Thematic Mapper Simulator Data for the Geobotanical Discrimination of Rock Types in Southwest Oregon, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 22: 525-530.
289. Moorby, H., White, R.E., Nye, P.H. (1988): The influence of phosphate nutrition on H ion efflux from the roots of young rape plants, *Plant Soil*. 105: 247–256.
290. Mouat, D., Morrissey, L., Horn, E. (1982): Geobotanical Discrimination of Ultramafic Parent Materials: An Evaluation of Remote Sensing Techniques, *Sixteenth International Symposium of Remote Sensing of Environment*, Buenos Aires, Argentina, p. 135-144.
291. Müller, N. (2005): Alpine rivers and the herbaceous vegetation along their banks – Subtype on gravel (*Chondriletum chondrilloides*, *Epilobio - Scrophularietum caninae*) - Natura 2000-code: 3220. International Alpine Workshop Tagliamento 2006, Poster by D. Gerecke, URL: <http://www.fh-erfurt.de/lgf/fileadmin/LA/Personen/Mueller/tagl2006/tagl-6.pdf>
292. Nacionalni program zaštite životne sredine, Službeni glasnik RS, br. 12/10.
293. Nagaraju, A., Karimulla, S. (2001): Geobotany and biogeochemistry of *Gymnosporia montana* – a case study from Nellore Mica Belt, Andhra Pradesh, *Environmental Geology*, 41 (1-2): 167-173.
294. Namzalov, N. (1986): Тхе фесцые степпес оф тхе соутхеастерн Алтаи. Известиуа Сибирского отд. Академии наук СССР. Сериуа Биол. науки, 13: 16–24.
295. Nematian, M., Kazemeini, F. (2013): Accumulation of Pb, Zn, Cu and Fe in plants and hyperaccumulator choice in Galali iron mine area, Iran, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5 (4), 426-432.

296. Németh, N., Peth, G. (2009): Geological mapping by geobotanical and geophysical means: a case study from the Bükk Mountains (NE Hungary), *Central European Journal of Geosciences*, 1(1): 84-94.
297. Nikolić, V. (1974): Rod *Linaria* Mill., U: Josifović, M. (ed.) *Flora SR Srbije* 6, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 144-155.
298. Nikolić, P., Avramovski, Ž., Randelović, M., Ničić, D., Popović, S. (1975): Bor i okolina, knjiga II, monografija, Skupština opštine Bor i muzej rudarstva i metalurgije, Bor.
299. Nikolić, N. (2009): Uticaj teških metala na morfo-anatomske i fiziološke karakteristike klonova topola (*Populus* spp.), Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.
300. Nikolić, Đ., Milošević, N., Živković, Ž., Mihajlović, I., Kovačević, R., Petrović, N. (2011): Multi-criteria analysis of soil pollution by heavy metals in the vicinity of the copper smelting plant in Bor (Serbia), *Journal of the Serbian Chemical Society*, 76 (4): 625-641.
301. Nikolić, N., Nikolić, M. (2012): Gradient analysis reveals a copper paradox on floodplain soils under long-term pollution by mining waste, *Science of the Total Environment*, 425:146-154.
302. Ninot, J.M., Font, X., Massales, R.M., Vigo, J. (2011): Syntaxonomic conspectus of the vegetation of Catalonia and Andorra. II: Ruderal communities, *Acta Botánica Barcinonensia*, 53: 113-189.
303. Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, A.H., Yousefi, N. (2009): Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential, *Environ Earth Sci*, 59: 315–323.
304. Novak, J., Prach, K. (2003): Vegetation succession in basalt quarries: Pattern on a landscape scale, *Applied Vegetation Science*, 6 : 111-116.
305. Obratov-Petković, D., Bjedov, I., Belanović, S. (2008): Teški metali u listovima *Hypericum perforatum* L. na serpentinitiskim zemljištima Srbije, *Glasnik šumarskog fakulteta*, 98: 143-154.
306. Ogle, D. (2002): Small burnet--*Sanguisorba minor* Scop., [Online]. In: Plant fact sheet. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Natural Resources

- Conservation Service (Producer). Available: <http://plants.usda.gov/java/factSheet>
307. Ogle, D., Henson, J., Stannard, M. (2010): Plant guide for sheep fescue (*Festuca ovina*), USDA Natural Resources Conservation Services, Idaho and Washington Plant Materials Program, pp. 1-5.
308. Ogunkunle, C., Fatoba, P., Awotoye, O., Olorunmaiye, S. (2013): Root-shoot partitioning of copper, chromium and zinc in *Lycopersicon esculentum* and *Amaranthus hybridus* grown in cement-polluted soil, *Environmental and Experimental Biology*, 11: 131–136.
309. Opálková, M., Cimalová, Š. (2012): Analysis of synanthropic vegetation in the territory of the city of Ostrava, *Casopis slezského zemského muzea (A)*, 60 (3): 201–212.
310. Ososkov, P.A. (1911): Зависимость лесной растительности от геологического состава коренных пород, *Лесной журн.* 1909- 1911, Ч. 1.-61, с.157.
311. Otones, V., Alvarez-Ayuso, E., Garcia-Sanchez, A., Santa-Regina, I., Murciego, A. (2011): Mobility and phytoavailability of arsenic in an abandoned mining area, *Geoderma* 166 (1): 153-161.
312. Otte, M., Ernst, W. (1994): Arsenic in vegetation of wetlands. In: *Arsenic in the Environment, Part 1: Cycling and Characterization*. John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 448.
313. Özdemir, Z., Zorlu, S., Akyıldız, M., Eryılmaz, F. (2014): Determination of Indicator Plants for Boron in the Kırka (Eskişehir/Turkey) Boron Deposit Area, *International Journal of Geosciences*, 5: 77-84.
314. Özhatay, N., Akalın, E., Güler, N., Ersoy, H., Yeşil, Y., Demirci, S. (2013): Floristic richness and conservation priority sites in the northwest of European Turkey: Mt Yıldız-Kırklareli, *Phytologia Balcanica*, 19(1): 77-88.
315. Pačevski, A. (2009): Mineral paragenesis of the Čoka Marin polymetallic deposit. PhD thesis, University of Belgrade – Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia, p. 95 (in Serbian).
316. Pančić, J. (1895): Die Flora der Serpentinberge in Mittel-Serbien, *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*, 9:1859.

317. Panda, S., Choudhury, S. (2005): Chromium stress in plants, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1): 95-102.
318. Papassiopi, N., Tambouris, S., Kontopoulos, A. (1999): Removal of heavy metals from calcareous contaminated soils by EDTA leaching, *Water Air Soil Pollution*, 109: 1–15.
319. Patrick, W.H., Mahapatra, I.C. (1968): Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advances in Agronomy*, 20: 323-359.
320. Patzke, W., Brown, G. (1990): *Festuca aquisgranensis* sp. novaein neuer Vertreter der Kollektivart *Festuca ovina* L., *Decheniana*, 143: 194–195.
321. Pignatti S. (1982): *Dorycnium* Miller, *Flora d'Italia*, Edagricole, 1: 742-743.
322. Pilipović, A., Klačnja, B., Orlović, S.(2002): Uloga topola u fitoremedijaciji zemljišta i podzemnih voda, *Topola*, 169/170: 57-66.
323. Pilon, M. (2011): Moving copper in plants, *New Phytologist*, 192 (2): 305–307.
324. Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., Pinelli, E. (2011): Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants, *Rev Environ Contam Toxicol.*, 213:113-36.
325. Požarova, T., Herben, T., Gryndler, M. (2001): Soil Saprotrophic Microfungi Associated with Roots of *Calamagrostis epigeios* on an Abandoned Deposit of Toxic Waste from Smelter Factory Processing Pyrite Raw Materials, *Microbial Ecology* 41: 162-171.
326. Prasad, M. N. V. (2001): *Metals in the Environment: Analysis by Biodiversity*, CRC Press, New York, pp. 504.
327. Prasad, V. (2004): *Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules to Ecosystems*, Springer, Narosa Publishing House, New Delhi, India, pp. 462.
328. Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja, *Službeni glasnik RS*, p. 23-94.
329. Quevauviller, Ph., Lachica, M., Barahona, E., Gómez, A., Rauret, G., Ure, A., Muntau, H.,(1998): Certified reference material for the quality control of EDTA and DTPA extractable trace metal contents in calcareous soils (CRM 6000). *Presenius Journal of Analytical Chemistry*, Vol.360, pp. 505–511.

330. Raskin, I. (1997): Phytoremediation: green and clean. In: Biotechnology for Water Use and Conservation. Organization for Economic Co-operation and Development, p. 647-649.
331. Randelović, N., Ružić, M. (1983): Pašnjačka serpentinska vegetacija jugoistočne Srbije (asocijacija *Festuco-Plantaginetum serpentini* Rand. et Ružić 1982).- Glas. Prir. Muz. B 38: 55-61.
332. Randelović, D. (2005): Rekonstrukcija gornjeg dela Gradskog parka u Boru, diplomski rad, Šumarski fakultet, Beograd.
333. Randelović, D., Randelović, D., Ratknić. M. (2008): Značaj edukacije za izvođenje biološke rekultivacije, Zbornik radova naučno-stručnog skupa 'Ekološka istina', 01.-04.6.2008., Sokobanja, Tehnički fakultet u Boru Univerziteta u Beogradu, p. 426-429.
334. Randelović, D. (2010): Uticaj sredine na razvoj bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.) u ozelenjenim delovima jalovišta suburbane zone Bora, magistarska teza, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
335. Randelović, D. (2010a): Climate Variation and Environmental Conditions for Vegetation Development in the Bor Area, Proceedings of XVIII International Conference 'Ecological Truth', University of Belgrade, Tehnical Faculty Bor, Spa Junakovic, Apatin, Serbia, p. 490-496.
336. Randelović, 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(4): 800-12.
337. Randelović, V. (1992): Nitrofilna vegetacija klase *Bidentetum tripartiti* Tx., Lohm. Et Prsg. 1950. u Leskovačkom polju, Leskovački Zbornik, 3, Leskovac, p. 209-223.
338. Rebele, F., Surma, A., Kuznik, C., Bornkamm, R., Brej, T. (1993): Heavy metal contamination of spontaneous vegetation and soil around the copper smelter 'Legnica', Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 62 (1-2), 53-57.
339. Rebele, F., Lehmann, C. (2001): Biological Flora of Central Europe: *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. Flora, 196 (5): 325-344.

340. Reddy, K.J., Wang, L.,Gloss, S. (1995): Solubility and mobility of copper, zinc and lead in acidic environments, *Plant Soil*, 171: 53-58.
341. Reeuwijk, L.P. (2002): Procedures for soil analysis, International Soil Reference and Information Centre. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: http://www.isric.org/isric/webdocs/docs//ISRIC_TechPap09.pdf, 16.08.2014.
342. Reeves, R. (1992): Hyperaccumulation of nickel by serpentine plants, In: The vegetation of ultramafic (serpentine) soils, Baker, A., Proctor, J., Reeves, R. (eds.), Intercept, Andover UK, p. 253–277.
343. Reeves, R., Schwartz, C., Morel, J., Edmondson, J. (2001): Distribution and metal-accumulating behavior of *Thlaspi caerulescens* and associated metallophytes in France. *International Journal of Phytoremediation*, 3:145–172.
344. Reeves, R., Adiguzel, N. (2004): Rare Plants and Nickel Accumulators from Turkish Serpentine Soils, with Special Reference to *Centaurea* Species, *Turkish Journal of Botany*, 28: 147-153.
345. Reeves, R., Ma, R., McLeod, C. (2005): Lead isotope composition of some European mine and smelter soils and a possible application to hyperaccumulation studies, In: Abstracts of the 8th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Adelaide, Australia, p. 448–449.
346. Rietveld, H. (1969): A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, 2 (2): 65–71.
347. Romkens, P., Bouwman, L.,Japenga, J., Draaisma, C. (2002): Potentials and drawbacks of chelate-enhanced phytoremediation of soils, *Environmental Pollution*, 116: 109-121.
348. Ross, D. (1995): Recommended soil tests for determining soil cation exchange capacity. In: Sims, T., Wolf, A. (eds.) Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States. Northeast Regional Bulletin 493. Agricultural Experiment Station, University of Delaware, Newark, DE, p. 62-69.
349. Rudnick, R.L., Gao, S. (2003): Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 1-64.

350. Rufaut, C.G., Hammit, S., Craw, D. , Clearwate, S. (2006): Plant and invertebrate assemblages on waste rock at Wangaloa coal mine, Otago, New Zealand, New Zealand Journal of Ecology 30(3): 311-319.
351. Sakakibara, M., Aya, W., Masahiro, I., Sakae, S., Toshikazu, K. (2007): Phytoextraction and phytovolatilization of arsenic from As-contaminated soils by *Pteris vittata*, Proceedings of Annual International Conference on Soils, Sediments, Water, Energy. 12:26.
352. Salminen, R. (chief ed.), Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P. J., Olsson, S.Å., Ottesen, R.-T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A., Tarvainen, T., (2005): Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and Maps. Espoo, Geological Survey of Finland, pp. 525.
353. Salt, D., Smith, R., Raskin, I. (1998): Phytoremediation, Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49: 643–668.
354. Schiavon, M.,Pittarello,M., Pilon-Smits, E.,Wirtz, M.,Hell, R., Malagoli, M. (2012): Selenate and molybdate alter sulfate transport and assimilation in *Brassica juncea* L. Czern.: Implications for phytoremediation, Environmental and Experimental Botany, 75: 41–51.
355. Schlesinger, W. H. (1997): Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. Academic Press, San Diego, p. 441.
356. Schoonen, M., Elsetinow, A., Borda, M., Strongin, D. (2000): Effect of temperature and illumination on pyrite oxidation between pH 2 and 6, Geochemical transactions, 1:23.
357. Schreck, E.,Foucault, Y., Sarret, G., Sobanska, S., Cécillon, L., Castrec- Rouelle, M.,Uzu, G., Dumat, C. (2012): Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: Mechanisms involved for lead, Science of The Total Environment, 427-428: 253-262.
358. Schulte, E. (2004): Soil and applied magnesium. Department of Soil Science,University of Wisconsin, USA.

359. Shallari, S., Schwartz, C., Hasko, A., Morel J.L. (1998): Heavy metals in soils and plants of serpentine and industrial sites of Albania. *The Science of the Total Environment* 209: 133–142.
360. Shanker, A., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S. (2005): Chromium toxicity in plants, *Environment International*, 31(5): 739–753.
361. Sharma, P., Dubey, R. (2005): Lead toxicity in plants, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1), URL: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S167704202005000100004&script=sci_arttex, Accessed: 01.08.2014.
362. Sidenko, N., Lazareva, E., Bortnikova, S., Kireev, A. (2005): Geochemical and mineralogical zoning of high-sulfide mine-waste at the Berikul mine-site, Kemerovo region, Russia, *The Canadian Mineralogist*, 43: 1141-1156.
363. Signes-Pastor, A., Burló, F., Mitra, K., Carbonell-Barrachina, A. (2007): Arsenic biogeochemistry as affected by phosphorus fertilizer addition, redox potential and pH in a west Bengal (India) soil, *Geoderma* 137: 504–510.
364. Sikora, F., Crouse, K., Heckendorn, S., Huluka, G., Mitchell, C., Moore, K., Oldham, L. (2014): Cation Exchange Capacity – Application and principle, In: *Soil Test Methods From the Southeastern United States*, Sikora, J., Moore, K. (eds.), Southern Cooperative Series Bulletin 419.
365. Singh, A., Ward, O. (2004): *Applied bioremediation and phytoremediation*, Berlin: Springer-Verlag, pp. 281.
366. Slavik, B., (1995), A plant-geographical study of the genus *Dorycnium* Mill. (Fabaceae) in the Czech Republic, *Folia-Geobotanica-et-Phytotaxonomica*, 30(3): 291-314.
367. Slavik, B. (1986): *Epilobium dodonaei* Vill. In der Tschechoslowakei, *Preslia*, Praha, 59: 307-338.
368. Slavnić, Ž. (1972): Rod *Chenopodium* L. U: Josifović, M. (ed.), *Flora SR Srbije* 3, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 14-29.
369. Slavnić, Ž. (1972a): Rod *Rumex* L., U: Josifović, M. (ed.) *Flora SR Srbije* 3, pp. 68-86. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd
370. Smiljanić, M., Popović, Z., Mijović, A. (2010): Mogućnost fitoremedijacije zemljišta narušenih ekosistema Srbije autohtonim vrstama vaskularne flore, *Zaštita prirode* 61(1): 69-92.

371. Smith, E.A., Mayfield, C.I., Wong, P.T (1977): Physical and chemical characterization of selected natural apatites in synthetic and natural aqueous solutions, *Water, Air, and Soil Pollution*, 8 (4): 401-415.
372. Smith, R., Bradshaw, A., (1979): The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes. *Journal of Applied Ecology*, 16: 595-612.
373. Soil Survey Division Staff (1993): Soil survey manual. Chapter 3, Selected chemical properties. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
374. Spear, F. (1993): Metamorphic phase-equilibria and Pressure – Temperature –Time Paths, Mineralogical Society of America, Washington, D.C, pp. 799.
375. Stopps, G. J., White, S. N., Clements, D. R. and Upadhyaya, M. K. (2011): The Biology of Canadian weeds. 149. *Rumex acetosella* L., *Canadian Journal of Plant Science*, 91: 1037–1052.
376. Stanley, L., Thomas, L., Lefevre, I. (2013): Assessing the potential for phytoremediation purposes of different plant species spontaneously colonizing mining areas. European Conference on Materials and Technologies for Sustainable Growth, University of Nova Gorica, 19.09- 21.09.2013.
377. Stevanović, V., Jovanović, S., Lakušić, D., Niketić, M. (1995): Diverzitet vaskularne flore Jugoslavije sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja. In: Biodiverzitet Jugoslavije, (Stevanović, V., Vasić, V., ed.). Biološki fakultet u Beogradu i Ekolibri Bionet, p. 183-218.
378. Stevanović, V. (2002): Centres of Plant Diversity in Serbia; Estimation & Manual for Estimation and Conservation Strategy Planning, report for Ministry of Environment of the Republic of Serbia.
379. Stevanović, V. (2005): Important Plant Areas (IPA) in Central and Eastern Europe – Priority Sites for Plant Conservation, chapter: Serbia and Montenegro – Serbia, Plantlife International.
380. Stevenson, F., Cole, M. (1999): Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. Wiley, New York, pp. 448.
381. Stevanović, Z. (2012): Luženje teških metala iz flotacijske jalovine, doktorska disertacija, Tehnički fakultet u Boru, pp. 149.

382. Strategija upravljanja mineralnim resursima Republike Srbije do 2030., URL: http://www.srbija.gov.rs/vesti/dokumenti_sekcija.php?id=45678, Pristupljeno: 18.09. 2014.
382. Strategija naučnog i tehnološkog razvoja Srbije 2010-2015., URL: http://www.srbija.gov.rs/vesti/dokumenti_sekcija.php?id=45678, Pristupljeno: 18.09. 2014.
383. Sukopp, H. (1971): Beiträge zur Ökologie von *Chenopodium botrys* L.I. Verbreitung und Geschichte. Verhandlungen des Botanischen Vereins der Provinz Brandenburg, 108: 3-25.
384. Sukopp, H., Wurzel, A. (2003): The Effects of Climate Change on the Vegetation Of Central European Cities, *Urban Habitats*, 1(1):3-26.
385. Süß, K., Storm, C., Zehm, A., Schwabe, A. (2004): Sucession in inland sand ecosystems: which factors determine the occurrence of the tall grass species *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth and *Stipa capillata* L.? *Plant Biology* (Stuttgart), 6(4): 465-76.
386. Szymura, T., Szymura, M. (2013): Spatial variability more influential than soil pH and land relief on thermophilous vegetation in overgrown coppice oak forests, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 82(1): 5-11.
387. Šajn, R., Stafilov, T., Erić, S. (2014): Geochemical properties of soil and attic dust around the Bor open pit and Cu smelter (Serbia), In: Proceedings of XVI Serbian geological congress, 22-25 May, Donji Milanovac, Serbia, pp. 864-865.
388. Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M. (1985): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Akademija nauka i umetnosti Bosne i Hercegovine, Posebna izdanja, Knjiga LXXVIII, Sarajevo.
389. Tan, K.H. (1998): Principles of soil chemistry, 3rd ed. USA: Marcel Dekker, Inc, pp. 560.
390. Tatić, B., Atanacković, B. (1972): Zajednica žučkaste mladje (*Corydaletum euochroleucae*) na teritoriji zapadne Srbije, *Glasnik srpskog geografskog Društva*, 52: 69-74.
391. Tatić, B., Veljović, V. (1992): Distribution of serpentinized missives on the Balkan peninsula and their ecology, In: The ecology of areas with serpentinized rocks:

- A world view, Roberts B.S., Proctor J. (ed.), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, str. 199-215.
392. Temple, R. (1986): *The Genius of China: 3,000 Years of Science, Discovery, and Invention*, Simon and Schuster, New York, pp. 254.
393. Ter Braak C., Smilauer P. (2002): *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*, Biometris, Wageningen, The Netherland, pp. 500.
394. Tiagi, Y., Aery, N. (1982): Geobotanical studies on zinc deposit areas of Zawar mines, Udaipur, *Vegetatio*, 50 (2): 65-70.
395. Tjurin, I. (1965): *Agrochemical methods of soil analysis*. Nauka, Moscow.
396. Tomović, G., Mihailović, N., Tumi, A., Gajić, B., Mišljenović, T., Niketić, M. (2013): Trace Metals in Soils and Several Brassicaceae Plant Species from Serpentine Sites of Serbia, *Archives of Environmental Protection*, 39 (4): 29-49.
397. Tong, Y., Kneer, R., Zhu, Y. (2004): Vacuolar compartmentalization: a second generation approach to engineering plants for phytoremediation, *Trends in Plant Science*, 9 (1): 7-9.
398. Troeh, F., Thompson, L. (1993): *Soils and Soil Fertility*, 5th edition, Oxford University Press, UK, pp. 121.
399. Troeh, F., Thompson, L.M. (2005): *Soils and soil fertility*, Publication: Ames, Blackwell Publishing, Iowa, USA, pp. 498.
400. Tsiripidis, I., Papaioannou A., Sapounidis, V., Bergmeier, E. (2010): Approaching the serpentine factor at a local scale - a study in an ultramafic area in northern Greece, *Plant Soil*, 329: 35–50.
401. Tsonev, T., Lidon, F. (2012): Zinc in plants - An overview, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24 (4): 322-333.
402. Tumi, A. F., Mihailović, N., Gajić, B. A., Niketić, M., Tomović, G. (2012): Comparative study of hyperaccumulation of nickel by *Alyssum murale* s.l. populations from the ultramafics of Serbia. - *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6): 1855-1866.
403. Turill, W.B. (1929): *The Plant-life of the Balkan peninsula. A Phytogeographical Study*, Clarendon, Oxford, p. 22.

404. Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A.; Valentine, D. H., Walters, S. M. & Webb, D. A. 2001: Flora Europaea on CD-ROM. Cambridge University Press, Cambridge.
405. Tyler, G. (1992): Inability to solubilize phosphate in limestone soils: key factor controlling calcifuge habit of plants, *Plant Soil* 145: 65–70.
406. Tyler, G. (1997): Soil chemistry and plant distributions in rock habitats of southern Sweden, *Nordic Journal of Botany*, 16: 609-635.
407. Tyler, G., Olson, T. (2001): Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity, *European Journal of Soil Science*, 52: 151-165.
408. Tzonev, R., Dimitrov, M., Roussakova, V. (2005): Dune vegetation of the Bulgarian Black Sea Coast, *Hacquetia* 4(1): 7–32.
409. UNEP (2004): From Conflict to Sustainable Development -Assessment of Environmental Hot Spots Serbia and Montenegro, Ministry for Science and Environmental Protection of the Republic of Serbia, Ministry of Environmental Protection and Physical Planning of the Republic of Montenegro, United Nations Environment Programme.
410. Uredba o Crvenoj listi zaštićenih vrsta flore i faune Republike Srpske, Službeni glasnik Republike Srpske 124/12.
411. Uredba ministra ruralnog razvoja 100/2013. (28.09.) o izmenama i dopunama uredbi o proglašenju zaštićenih i strogo zaštićenih vrsta biljaka i životinja, strogo zaštićenih pećina, odnosno biljnih i životinjskih vrsta koja su značajna za zaštitu prirode u Evropskoj Zajednici 13/2001. (09.05.) i o izmenama i dopunama uredbi o aktivnostima za zaštitu bilja 43/2010. (23.04.). (Službeni glasnik Republike Mađarske, br. 128. (28. sept. 2012.) str. 20903-21019.) (na mađarskom)
412. Uredba o utvrđivanju kriterijuma za određivanje statusa ugrožene životne sredine i prioriteta za sanaciju i remedijaciju, Službeni glasnik RS, br.22/10.
413. Uredba o Programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa, Službeni glasnik RS, 88/2010.

414. Uticaj industrijskog kompleksa RTB-a na životnu sredinu i zdravlje ljudi na teritoriji SO Bor - Uticaj kompleksa RTB na zemljište, Centar za poljoprivredna i tehnološka istraživanja, Zaječar, 1991.
415. USDA, NRCS (2014): The PLANTS Database, State and Federal Noxious Weeds List <https://plants.usda.gov/java/noxComposite>, United States Department of Agriculture, US.
416. USDA Forest Service, <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/forb/rumace/all.html>
417. Uzarowicz, L. (2011): Technogenic Soils Developed on Mine Spoils Containing Iron Sulfides in Select Abandoned Industrial Sites: Environmental Hazards and Reclamation Possibilities, Polish J. of Environ. Stud. 20 (3), 771-782.
418. Valente, M., Gomez, L (2009): Occurrence, properties and pollution potential of environmental minerals in acid mine drainage, Science of the Total Environment, 407(3): 1135-52.
419. van der Ent, A., Baker, A., Reeves, R., Pollard, J., Schat, H. (2012): Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction, Plant Soil, 362 (1-2): 319-334.
420. Van Reeuwijk, L. (2002): Procedures for Soil Analysis. 6th edition. – Technical Paper/International Soil Reference and Information Centre, Wageningen.
421. Vasić, O., Diklić, N.(2001): The flora and vegetation on serpentinites in Serbia – a review, Bocconea, 13: 151-164.
422. Veselinović i sar. (1975): Tumač za osnovnu geološku kartu, list 'Zaječar' , 1: 100 000, Savezni geološki zavod, Beograd.
423. Viktorov, S. (1955): Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. Изд-во Академии наук СССР, Моск.
424. Voegelin, A., Tokpa, G., Jacquat, O., Barmettler, K., Kretzchmar, R. (2008): Zinc fractionation in contaminated soils by sequential and single extractions: influence of soil properties and zinc content, Journal of Environmental Quality, 37(3): 1190-200.
425. Van Breemen, N. (1987): Effect of redox processes on soil acidity. Netherland Journal of Agricultural Sciences, 35: 271 –279.

426. Vasić, O., Diklić, N. (2001): The flora and vegetation on serpentinites in Serbia – a review. *Bocconea*, 13: 151-164.
427. Vicić, D. D., Stoiljković, M. M., Ninkov, J. M., Bojat, N. C., Sabovljević, M. S., Stevanović, B. S. (2014): Dynamics of soil chemistry in different serpentine habitats from Serbia. - *Journal of the Serbian Chemical Society*
428. Vrînceanu, N., Motelica, D.M. , Dumitru, M., Gament, E.,Toti, M.,Tanase, V., Preda,M. (2009): Estimation of Some Heavy Metals Accumulation in Plants and Soils from Copsa Mica Area, *Scientific Papers, USAMV Bucharest, Series A, Agronomy,LII: 76 - 81.*
429. Vukićević, E. (1976): Rod *Calamagrostis* Adans., U: Josifović, M. (ed.) *Flora SR Srbije* 8, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, pp. 308-312.
430. Wallander, H. (2000): Uptake of P from apatite by *Pinus sylvestris* seedlings colonised by different ectomycorrhizal fungi, *Plant and Soil*, 218: 249–256.
431. Wang, Y., Li, Q., Hui, W., Shi,J., Lin, Q., Chen, X., Chen, Y. (2008): Effect of sulphur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition, *Journal of Hazardous Materials*, 159: 385–389.
432. Wedepohl, K. (1978): *Handbook of Geochemistry*. Vol. II, Springer, New York, pp. 1546.
433. Welsh, S. L., Atwood, N. D., Goodrich, S. (1987): A Utah flora (Higgins, L. C., eds.), *Great Basin Naturalist Memoir No. 9*. Provo, UT: Brigham Young University, p. 894.
434. Wenzel, W. (2009): Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils, *Plant Soil*, 321: 385-408.
435. Westbrooks, R. (1998): *Invasive plants: changing the landscape of America*. Fact Book. Washington, DC: Federal Interagency Committee for the Management of Noxious and Exotic Weeds. p. 109.
436. Whitmore, R.C., Hall, G.A. (1978): The response of passerine species to a new resource: reclaimed surface mines in West Virginia, *American Birds*, 32(1): 6-9.
437. Wieneke, S., Prati, D., Brandl, R., Stocklin, J., Auge, H. (2004): Genetic variation in *Sanguisorba minor* after 6 years in situ selection under elevated CO₂. *Global Change Biology*. 10(8): 1389-1401.

438. Wills, B. (1984): Alternative plant species for revegetation and soil conservation in the tussock grasslands of New Zealand. *Tussock Grasslands and Mountain Lands Institute Review*. 42: 49-58.
439. Winterhalder, K. (2002): The effects of the mining and smelting industry on Sudbury's landscape. In: Rousell DH, Jansons KJ (eds) *The physical environment of the City of Greater Sudbury*. Ontario Geological Survey Special, pp. 145-174.
440. Woch, M., Radwańska, M., Annam. Stefanowicz, A. (2013): Flora of spoil heaps after hard coal mining in Trzebinia (southern Poland): effect of substratum properties, *Acta Botanica Croatica*, 72 (2): 237–256.
441. Woolman, T. (2013): Base metals prospecting in Kagera Region, Tanzania using remote sensing and biogeochemistry analytics, *The Compass: Earth Science Journal of Sigma Gamma Epsilon*, 85 (4): 134-139.
442. Wu, L., Bradshaw, A., Thurman, D.A. (1975): The potential for evolution of heavy metal tolerance in plants III. The rapid evolution of copper tolerance in *Agrostis stolonifera*, *Heredity*, 34, 165–187.
443. Wu, L., Antonovics, J. (1978): Zinc And Copper Tolerance Of *Agrostis Stolonifera* L. in Tissue Culture, *American Journal of Botany*, 65(3): 268-271.
444. Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L. (2006): Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, *Science of the Total Environment*, 368: 456–464.
445. Yousefi, N., Chehregani, A., Malayeri, B., Lorestani, B., Cheraghi, M. (2011): Investigating the effect of heavy metals on developmental stages of anther and pollen in *Chenopodium botrys* L. (Chenopodiaceae), *Biol Trace Elem Res*, 40(3): 368-76.
446. Yruela, I. (2005): Copper in plants, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1), URL: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S167704202005000100012&script=sci_artt_ext, Accessed: 01.08.2014.

447. Yueliang, M. (2002): Progress in study on methods of prospecting for gold deposit using remote sensing biogeochemistry, *Advance in Earth Sciences*, 17(4): 521-527.
448. Zakon o potvrđivanju sporazuma o finansiranju (projekat 'Regionalni razvoj Bora') između Republike Srbije i Međunarodnog udruženja za razvoj, Službeni glasnik RS - Međunarodni ugovori, br. 83/08.
449. Zarinkamar, F., Saderi, Z., Soleimanpour, S. (2013): Excluder Strategies in Response to Pb Toxicity in *Matricaria Chamomilla*, *Environment and Ecology Research*, 1(1): 1-11.
450. Zayed, A., Lytle, M., Qian, J., Terry, N. (1998): Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops, *Planta*, 206: 293–299.

Prilog 1: Lista skraćenica naziva minerala (prema Kretz, 1983 i Spear, 1993):

Skraćenica	Naziv minerala
Ab	albit
Alu	alunit
Ank	ankerit
Ap	apatit
Bn	bornit
Bt	biotit
Cal	kalcit
Cp	halkopirit
Chl	hlorit
Cls	koluzit
Cv	kovelin
Dg	digenit
Ep	epidot
Gp	gips
Hbl	hornblenda
Hem	hematit
Ilm	ilmenit
K-F1	kalijski feldspat
Kln	kaolinit
Lm	limonit
Mgt	magnetit
Pl	plagioklas
Qtz	kvarc
Rt	rutil
Ser	sericit
Ttn	titanit, sfen

Prilog 2: Post-hoc testovi za testiranje statističkih značajnosti razlika srednjih vrednosti fizičko-hemijskih parametara deposola u rizosferi uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke

Tabela 100: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja praha u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,270, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.740	0.902	0.690	0.089	0.067	0.683	*0.028	0.631	0.082
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.740		0.717	0.316	0.077	*0.048	0.891	*0.021	0.767	0.075
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.902	0.717		0.884	0.150	0.130	0.675	0.060	0.619	0.132
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.690	0.316	0.884		*0.022	*0.012	0.302	*0.006	0.386	*0.024
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.089	0.077	0.150	*0.022		0.974	0.108	0.527	0.295	0.863
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.067	*0.048	0.130	*0.012	0.974		0.075	0.528	0.261	0.881
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	0.683	0.891	0.675	0.302	0.108	0.075		*0.031	0.836	0.102
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.028	*0.021	0.060	*0.006	0.527	0.528	*0.031		0.119	0.666
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.631	0.767	0.619	0.386	0.295	0.261	0.836	0.119		0.255
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.082	0.075	0.132	0.024	0.863	0.881	0.102	0.666	0.255	

Tabela 101: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja gline u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,160, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.839	0.435	0.774	0.180	0.151	0.802	*0.047	0.495	0.147
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.839		0.459	0.889	0.070	*0.046	0.932	*0.013	0.524	0.063
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.435	0.459		0.517	0.075	0.064	0.496	*0.023	0.865	0.063
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.774	0.889	0.517		0.073	0.051	0.959	*0.015	0.598	0.064
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.180	0.070	0.075	0.073		0.988	0.075	0.458	0.070	0.831
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.151	*0.046	0.064	0.051	0.988		0.052	0.446	0.056	0.835
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	0.802	0.932	0.496	0.959	0.075	0.052		*0.015	0.572	0.066
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.047	*0.013	*0.023	*0.015	0.458	0.446	*0.015		*0.018	0.620
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.495	0.524	0.865	0.598	0.070	0.056	0.572	*0.018		0.059
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.147	0.063	0.063	0.064	0.831	0.835	0.066	0.620	0.059	

Tabela 102: Dunnett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti aktivne kiselosti u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=2,733, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.711	1.000	*0.000	0.790	0.809	*0.000	0.991	*0.000	0.918
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.711		0.964	*0.000	0.065	*0.048	*0.000	0.349	*0.001	1.000
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	1.000	0.964		*0.016	0.909	0.927	*0.001	0.996	*0.006	0.984
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.000	*0.000	*0.016		*0.000	*0.000	0.347	*0.000	0.795	*0.049
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.790	0.065	0.909	*0.000		1.000	*0.000	1.000	*0.000	0.276
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.809	*0.048	0.927	*0.000	1.000		*0.000	1.000	*0.000	0.276
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.000	*0.001	0.347	*0.000	*0.000		*0.000	1.000	*0.002
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.991	0.349	0.996	*0.000	1.000	1.000	*0.000		*0.000	0.609
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.000	*0.001	*0.006	0.795	*0.000	*0.000	1.000	*0.000		*0.018
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.918	1.000	0.984	*0.049	0.276	0.276	*0.002	0.609	*0.018	

Tabela 103: Dunnett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti supstitucione kiselosti u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=2,183, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.433	0.990	*0.000	0.861	0.985	*0.000	0.999	*0.000	0.990
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.433		1.000	*0.000	*0.038	0.075	*0.000	0.289	*0.001	0.995
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.990	1.000		0.069	0.589	0.786	*0.002	0.902	*0.015	1.000
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.000	*0.000	0.069		*0.000	*0.000	0.180	*0.000	0.636	*0.015
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.861	*0.038	0.589	*0.000		1.000	*0.000	0.999	*0.000	0.514
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.985	0.075	0.786	*0.000	1.000		*0.000	1.000	*0.000	0.735
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.000	*0.002	0.180	*0.000	*0.000		*0.000	1.000	*0.000
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.999	0.289	0.902	*0.000	0.999	1.000	*0.000		*0.000	0.888
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.000	*0.001	*0.015	0.636	*0.000	*0.000	1.000	*0.000		*0.004
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.990	0.995	1.000	*0.015	0.514	0.735	*0.000	0.888	*0.004	

Tabela 104: Dunnett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti oksido-redukcionog potencijala (Eh) u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=37,091, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.999	1.000	*0.042	0.213	0.231	*0.002	0.924	*0.006	1.000
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.999		1.000	*0.010	*0.025	*0.020	*0.000	0.560	*0.003	0.999
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	1.000	1.000		0.389	0.354	0.393	0.092	0.927	0.064	1.000
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.042	*0.010	0.389		*0.000	*0.000	0.701	*0.009	0.476	0.112
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.213	0.025	0.354	*0.000		1.000	*0.000	0.923	*0.000	0.376
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.231	*0.020	0.393	*0.000	1.000		*0.000	0.958	*0.000	0.416
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.002	*0.000	0.092	0.701	*0.000	*0.000		*0.001	0.970	*0.012
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.924	0.560	0.927	*0.009	0.923	0.958	*0.001		*0.001	0.972
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.006	*0.003	0.064	0.476	*0.000	*0.000	0.970	*0.001		*0.014
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	1.000	0.999	1.000	0.112	0.376	0.416	*0.012	0.972	*0.014	

Tabela 105: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti električnog konduktiviteta (EC) u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,177, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.795	0.494	0.150	0.955	0.720	0.031	0.971	*0.038	0.106
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.795		0.552	*0.019	0.867	0.847	*0.001	0.867	*0.009	*0.037
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.494	0.552		0.082	0.537	0.679	*0.025	0.550	*0.023	0.057
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.150	*0.019	0.082		0.163	0.065	0.351	0.217	0.244	0.529
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.955	0.867	0.537	0.163		0.778	*0.039	0.987	*0.042	0.111
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.720	0.847	0.679	0.065	0.778		*0.011	0.783	*0.018	0.056
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.031	*0.001	*0.025	0.351	*0.039	*0.011		0.067	0.564	0.976
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.971	0.867	0.550	0.217	0.987	0.783	0.067		0.058	0.139
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.038	*0.009	*0.023	0.244	*0.042	*0.018	0.564	0.058		0.665
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.106	*0.037	0.057	0.529	0.111	0.056	0.976	0.139	0.665	

Tabela 106: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sume ekstrahovanih baza (SB) u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=8,132, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.845	0.739	*0.007	0.053	0.066	*0.000	0.573	*0.002	0.764
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.845		0.612	*0.000	*0.030	*0.035	*0.000	0.613	*0.000	0.845
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.739	0.612		0.118	0.069	0.085	*0.013	0.450	*0.029	0.586
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.007	*0.000	0.118		*0.000	*0.000	0.081	*0.005	0.208	*0.011
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.053	*0.030	0.069	*0.000		0.838	*0.000	0.238	*0.000	0.154
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.066	*0.035	0.085	*0.000	0.838		*0.000	0.294	*0.000	0.191
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.000	*0.013	0.081	*0.000	*0.000		*0.000	0.893	*0.000
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.573	0.613	0.450	*0.005	0.238	0.294	*0.000		*0.001	0.813
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.002	*0.000	*0.029	0.208	*0.000	*0.000	0.893	*0.001		*0.003
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.764	0.845	0.586	*0.011	0.154	0.191	*0.000	0.813	*0.003	

Tabela 107: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja organske materije u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=1,666, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.364	0.267	0.105	0.459	0.285	0.831	0.464	0.611	0.319
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.364		0.065	*0.001	0.942	0.658	0.125	0.900	0.185	0.661
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.267	0.065		0.951	0.102	0.058	0.286	0.112	0.539	0.072
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.105	*0.001	0.951		*0.021	*0.005	0.068	*0.032	0.432	*0.016
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.459	0.942	0.102	*0.021		0.786	0.292	0.960	0.257	0.761
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.285	0.658	0.058	*0.005	0.786		0.140	0.843	0.153	0.945
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	0.831	0.125	0.286	0.068	0.292	0.140		0.317	0.689	0.194
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.464	0.900	0.112	*0.032	0.960	0.843	0.317		0.269	0.812
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.611	0.185	0.539	0.432	0.257	0.153	0.689	0.269		0.180
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.319	0.661	0.072	*0.016	0.761	0.945	0.194	0.812	0.180	

Tabela 108: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog magnezijuma u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=26,196, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.201	0.397	0.037	0.264	0.950	0.096	0.567	0.259	0.661
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.201		0.072	*0.000	0.848	0.175	*0.000	0.712	*0.020	0.600
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.397	0.072		0.569	0.095	0.424	0.807	0.219	0.898	0.261
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.037	*0.000	0.569		*0.002	*0.043	0.547	*0.019	0.622	*0.027
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.264	0.848	0.095	*0.002		0.240	*0.006	0.662	*0.042	0.572
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.950	0.175	0.424	*0.043	0.240		0.111	0.531	0.283	0.621
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	0.096	*0.000	0.807	0.547	*0.006	0.111		*0.045	0.914	0.063
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.567	0.712	0.219	*0.019	0.662	0.531	*0.045		0.131	0.905
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.259	*0.020	0.898	0.622	*0.042	0.283	0.914	0.131		0.163
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.661	0.600	0.261	*0.027	0.572	0.621	0.063	0.905	0.163	

Tabela 109: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja ukupnog azota u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=3,020, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.954	0.075	0.153	0.545	0.691	*0.006	0.514	*0.048	0.558
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.954		*0.042	*0.037	0.429	0.577	*0.000	0.471	*0.019	0.462
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.075	0.042		0.344	0.207	0.137	0.995	*0.033	0.966	0.240
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.153	*0.037	0.344		0.526	0.331	0.082	0.058	0.291	0.593
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.545	0.429	0.207	0.526		0.817	0.059	0.249	0.168	0.977
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.691	0.577	0.137	0.331	0.817		*0.021	0.320	0.099	0.808
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.006	*0.000	0.995	0.082	0.059	*0.021		*0.003	0.945	0.097
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.514	0.471	*0.033	0.058	0.249	0.320	*0.003		*0.020	0.269
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.048	*0.019	0.966	0.291	0.168	0.099	0.945	*0.020		0.206
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.558	0.462	0.240	0.593	0.977	0.808	0.097	0.269	0.206	

Tabela 110: Fisher LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog fosfora (P_2O_5) u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=3,631$, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.832	0.280	*0.027	0.896	0.331	*0.011	0.891	0.472	0.302
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.832		0.176	*0.005	0.725	0.154	*0.001	0.991	0.500	0.297
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.280	0.176		*0.007	0.345	0.728	*0.004	0.272	0.120	0.072
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.027	*0.005	*0.007		*0.028	*0.001	0.667	0.089	0.288	0.477
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.896	0.725	0.345	*0.028		0.431	*0.012	0.807	0.423	0.271
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.331	0.154	0.728	0.001	0.431		*0.000	0.328	0.122	0.064
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.011	*0.001	*0.004	0.667	*0.012	*0.000		*0.047	0.178	0.321
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.891	0.991	0.272	0.089	0.807	0.328	0.047		0.602	0.422
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.472	0.500	0.120	0.288	0.423	0.122	0.178	0.602		0.777
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.302	0.297	0.072	0.477	0.271	0.064	0.321	0.422	0.777	

Tabela 111: Dunnett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja pristupačnog kalijuma (K_2O) u deposolu iz zone rizosfere uzorkovanih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata $MSE=0,583$, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		*0.009	1.000	0.997	0.273	0.174	1.000	0.149	0.466	0.516
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	*0.009		0.069	*0.000	0.988	0.995	*0.000	1.000	*0.000	0.947
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	1.000	0.069		1.000	0.357	0.276	1.000	0.215	0.879	0.545
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.997	*0.000	1.000		*0.047	*0.018	1.000	v0.025	0.656	0.166
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.273	0.988	0.357	*0.047		1.000	0.063	0.999	*0.011	1.000
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.174	0.995	0.276	*0.018	1.000		*0.025	1.000	*0.005	1.000
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	1.000	*0.000	1.000	1.000	0.063	*0.025		*0.034	0.544	0.211
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.149	1.000	0.215	*0.025	0.999	1.000	*0.034		0.006	0.993
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.466	*0.000	0.879	0.656	*0.011	*0.005	0.544	*0.006		*0.036
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.516	0.947	0.545	0.166	1.000	1.000	0.211	0.993	*0.036	

Prilog 3: Post-hoc testovi za testiranje statističkih značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja mikroelemenata i sumpora u uzorkovanim vrstama biljaka na odlagalištu borske otkrivke

Tabela 112: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja arsena u korenu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,887, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.159	0.067	0.819	0.060	0.334	*0.008	*0.010	0.359	0.738
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.159		0.003	*0.030	*0.001	*0.010	*0.000	*0.000	*0.029	0.451
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.067	*0.003		0.066	0.751	0.262	0.898	0.673	0.335	0.052
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.819	*0.030	0.066		0.051	0.365	*0.002	*0.007	0.400	0.573
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.060	*0.001	0.751	0.051		0.322	0.759	0.389	0.427	0.050
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.334	*0.010	0.262	0.365	0.322		0.116	0.073	0.936	0.243
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.008	*0.000	0.898	*0.002	0.759	0.116		0.455	0.226	*0.010
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.010	*0.000	0.673	*0.007	0.389	0.073	0.455		0.124	*0.009
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.359	*0.029	0.335	0.400	0.427	0.936	0.226	0.124		0.264
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.738	0.451	0.052	0.573	0.050	0.243	*0.010	*0.009	0.264	

Tabela 113: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja hroma u korenu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=1,236, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.233	0.149	*0.048	*0.029	0.137	*0.000	*0.006	0.321	0.589
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.233		0.409	*0.000	*0.000	0.003	*0.000	*0.000	*0.036	0.738
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.149	0.409		*0.004	*0.003	0.012	*0.000	*0.001	*0.036	0.369
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.048	*0.000	*0.004		0.485	0.797	*0.010	0.126	0.582	*0.026
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	*0.029	*0.000	*0.003	0.485		0.416	0.226	0.434	0.317	*0.016
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.137	*0.003	*0.012	0.797	0.416		*0.022	0.120	0.763	0.070
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.000	*0.000	0.010	0.226	0.022		0.872	*0.026	*0.000
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.006	*0.000	*0.001	0.126	0.434	0.120	0.872		0.098	*0.003
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.321	*0.036	*0.036	0.582	0.317	0.763	*0.026	0.098		0.172
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.589	0.738	0.369	*0.026	*0.016	0.070	*0.000	*0.003	0.172	

Tabela 114: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja bakra u korenu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,044, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		*0.001	0.497	*0.002	*0.004	0.051	*0.000	*0.000	*0.002	0.176
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	*0.001		*0.002	0.893	0.695	0.283	*0.007	*0.000	0.399	0.201
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.497	*0.002		*0.004	*0.004	*0.033	*0.000	*0.000	*0.002	0.090
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.002	0.893	*0.004		0.648	0.365	*0.012	*0.000	0.378	0.252
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	*0.004	0.695	*0.004	0.648		0.261	0.162	*0.000	0.686	0.186
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.051	0.283	*0.033	0.365	0.261		*0.004	*0.000	0.148	0.723
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.007	*0.000	*0.012	0.162	*0.004		*0.002	0.436	*0.006
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.000	*0.000	*0.000	*0.000	*0.000	*0.000	*0.002		*0.002	*0.000
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.002	0.399	*0.002	0.378	0.686	0.148	0.436	*0.002		0.108
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.176	0.201	0.090	0.252	0.186	0.723	*0.006	*0.000	0.108	

Tabela 115: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja olova u korenu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=1,615, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		*0.011	0.493	*0.002	*0.001	*0.033	*0.000	*0.000	0.063	0.244
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	*0.011		*0.014	0.238	0.065	0.896	*0.001	*0.000	0.910	0.467
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.493	*0.014		*0.003	*0.001	*0.023	*0.000	*0.000	*0.036	0.121
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.002	0.238	*0.003		0.320	0.478	0.060	*0.001	0.561	0.169
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	*0.001	0.065	*0.001	0.320		0.153	0.711	*0.028	0.211	0.056
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	*0.033	0.896	*0.023	0.478	0.153		*0.030	*0.001	0.995	0.479
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.001	*0.000	0.060	0.711	*0.030		*0.023	0.072	*0.011
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.000	*0.000	*0.000	*0.001	*0.028	*0.001	*0.023		*0.002	*0.000
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.063	0.910	*0.036	0.561	0.211	0.995	0.072	*0.002		0.523
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.244	0.467	0.121	0.169	0.056	0.479	*0.011	*0.000	0.523	

Tabela 116: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja cinka u korenu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,043, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.484	0.068	*0.001	0.359	0.872	0.123	*0.000	0.925	*0.025
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.484		*0.013	*0.000	0.082	0.368	0.200	*0.000	0.499	*0.002
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.068	*0.013		*0.000	0.285	0.088	*0.003	*0.000	0.109	0.896
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.001	*0.000	*0.000		*0.000	*0.000	*0.010	0.145	*0.003	*0.000
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.359	0.082	0.285	*0.000		0.443	*0.015	*0.000	0.473	0.172
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.872	0.368	0.088	*0.000	0.443		0.084	*0.000	0.963	*0.035
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	0.123	0.200	*0.003	*0.010	*0.015	0.084		*0.002	0.168	*0.000
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.000	*0.000	*0.000	0.145	*0.000	*0.000	*0.002		*0.001	*0.000
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.925	0.499	0.109	*0.003	0.473	0.963	0.168	*0.001		0.054
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	*0.025	*0.002	0.896	*0.000	0.172	*0.035	*0.000	*0.000	0.054	

Tabela 117: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja sumpora u korenu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,0001, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.189	0.718	0.518	*0.000	0.241	*0.007	0.116	*0.001	*0.002
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.189		0.625	0.405	*0.000	0.872	*0.030	0.427	*0.003	*0.010
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.718	0.625		0.952	*0.006	0.596	0.125	0.349	0.016	*0.031
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.518	0.405	0.952		*0.000	0.462	*0.008	0.216	*0.001	*0.004
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	*0.000	*0.000	*0.006	*0.000		*0.004	*0.029	*0.038	0.785	0.544
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.241	0.872	0.596	0.462	*0.004		0.169	0.571	*0.015	*0.036
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.007	*0.030	0.125	*0.008	*0.029	0.169		0.616	0.098	0.204
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.116	0.427	0.349	0.216	*0.038	0.571	0.616		0.089	0.163
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.001	*0.003	*0.016	*0.001	0.785	*0.015	0.098	0.089		0.754
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	*0.002	*0.010	*0.031	*0.004	0.544	*0.036	0.204	0.163	0.754	

Tabela 118: Dunnett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja arsena u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=1,794, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.994	*0.021	1.000	1.000	1.000	0.974	1.000	*0.040	0.148
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.994		*0.002	0.906	0.876	1.000	1.000	0.994	*0.002	0.180
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	*0.021	*0.002		*0.013	0.062	*0.016	*0.002	0.052	0.997	*0.000
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	1.000	0.906	*0.013		1.000	1.000	0.822	1.000	*0.021	0.063
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	1.000	0.876	0.062	1.000		0.997	0.799	1.000	0.125	0.085
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	1.000	1.000	*0.016	1.000	0.997		0.995	1.000	*0.029	0.194
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	0.974	1.000	*0.002	0.822	0.799	0.995		0.978	*0.002	0.286
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	1.000	0.994	0.052	1.000	1.000	1.000	0.978		0.103	0.201
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.040	*0.002	0.997	*0.021	0.125	0.029	*0.002	0.103		*0.000
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.148	0.180	*0.000	0.063	0.085	0.194	0.286	0.201	*0.000	

Tabela 119: Dunnett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja hroma u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=1,680, broj stepeni slobode $d_f=57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.284	*0.003	*0.000	0.853	0.765	*0.000	*0.000	*0.021	1.000
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.284		*0.031	*0.001	0.999	1.000	*0.001	*0.001	0.240	0.822
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	*0.003	*0.031		0.950	*0.044	*0.039	0.967	1.000	0.898	*0.017
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.000	*0.001	0.950		*0.025	*0.016	1.000	0.530	1.000	*0.008
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.853	0.999	0.044	*0.025		1.000	*0.018	*0.004	0.266	0.995
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.765	1.000	*0.039	*0.016	1.000		*0.011	*0.003	0.253	0.986
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.001	0.967	1.000	*0.018	*0.011		0.580	0.999	*0.006
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.000	*0.001	1.000	0.530	*0.004	*0.003	0.580		0.540	*0.002
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.021	0.240	0.898	1.000	0.266	0.253	0.999	0.540		0.109
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	1.000	0.822	*0.017	*0.008	0.995	0.986	*0.006	*0.002	0.109	

Tabela 120: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja bakra u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,043, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		*0.000	*0.000	*0.000	*0.000	*0.006	*0.000	*0.000	*0.000	0.186
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	*0.000		*0.008	*0.025	0.627	0.255	0.445	*0.002	*0.000	*0.028
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	*0.000	*0.008		0.127	*0.043	*0.003	*0.003	0.956	0.742	*0.000
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.000	*0.025	0.127		0.308	*0.009	*0.008	0.086	*0.026	*0.001
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	*0.000	0.627	*0.043	0.308		0.212	0.342	*0.026	*0.008	0.033
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	*0.006	0.255	*0.003	*0.009	0.212		0.583	*0.001	*0.000	0.266
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	0.445	*0.003	*0.008	0.342	0.583		*0.001	*0.000	0.090
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.000	*0.002	0.956	0.086	*0.026	*0.001	*0.001		0.668	*0.000
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.000	*0.000	0.742	*0.026	*0.008	*0.000	*0.000	0.668		*0.000
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.186	*0.028	*0.000	*0.001	*0.033	0.266	0.090	*0.000	*0.000	

Tabela 121: Dunnett-ov post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja olova u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=1,067, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		0.117	0.074	*0.000	0.174	0.212	0.047	*0.003	*0.000	0.998
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	0.117		0.714	*0.000	0.999	1.000	0.979	0.096	*0.013	0.704
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	*0.074	0.714		0.949	0.969	0.898	0.938	0.993	0.811	0.280
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.000	*0.000	0.949		0.132	*0.044	*0.013	1.000	0.995	*0.003
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.174	0.999	0.969	0.132		1.000	1.000	0.459	0.145	0.619
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.212	1.000	0.898	*0.044	1.000		1.000	0.291	0.073	0.718
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.047	0.979	0.938	*0.013	1.000	1.000		0.278	0.055	0.433
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.003	0.096	0.993	1.000	0.459	0.291	0.278		0.995	*0.035
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.000	*0.013	0.811	0.995	0.145	0.073	0.055	0.995		*0.007
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.998	0.704	0.280	*0.003	0.619	0.718	0.433	*0.035	*0.007	

Tabela 122: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja cinka u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,003, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		*0.026	*0.001	0.871	*0.039	0.067	*0.005	0.074	0.037	0.148
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	*0.026		*0.018	*0.002	*0.000	*0.000	*0.000	0.769	0.513	*0.001
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	*0.001	*0.018		*0.000	*0.000	*0.000	*0.000	0.081	0.132	*0.000
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	0.871	*0.002	*0.000		*0.027	*0.047	*0.001	*0.034	*0.014	0.137
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	*0.039	*0.000	*0.000	*0.027		0.730	0.788	*0.001	*0.000	0.654
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	0.067	*0.000	*0.000	*0.047	0.730		0.468	*0.001	*0.000	0.879
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.005	*0.000	*0.000	*0.001	0.788	0.468		*0.000	*0.000	0.442
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	0.074	0.769	0.081	*0.034	*0.001	*0.001	*0.000		0.784	*0.005
{9} <i>Rumex acetosella</i>	*0.037	0.513	0.132	*0.014	*0.000	*0.000	*0.000	0.784		*0.002
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.148	*0.001	*0.000	0.137	0.654	0.879	0.442	*0.005	*0.002	

Tabela 123: LSD post-hoc test za testiranje statističke značajnosti razlika srednjih vrednosti sadržaja sumpora u nadzemnom delu uzorkovanih samoniklih vrsta biljaka na odlagalištu borske otkrivke (greška sredina kvadrata MSE=0,021, broj stepeni slobode $d_f= 57$), statistički značajne vrednosti označene su simbolom *

Uzorkovane vrste	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
{1} <i>Linaria genistifolia</i>		*0.021	0.619	*0.000	0.121	*0.028	*0.000	*0.001	0.741	0.184
{2} <i>Epilobium dodonaei</i>	*0.021		*0.034	*0.000	0.799	0.643	*0.001	*0.027	*0.024	0.732
{3} <i>Chenopodium botrys</i>	0.619	*0.034		*0.000	0.094	*0.031	*0.000	*0.002	0.848	0.130
{4} <i>Calamagrostis epigejos</i>	*0.000	*0.000	*0.000		*0.009	*0.029	0.657	0.964	*0.000	*0.014
{5} <i>Centaurea arenaria</i>	0.121	0.799	0.094	*0.009		0.578	*0.019	*0.047	0.095	0.925
{6} <i>Sanguisorba minor</i>	*0.028	0.643	*0.031	*0.029	0.578		0.061	0.113	*0.026	0.542
{7} <i>Agrostis stolonifera</i>	*0.000	*0.001	*0.000	0.657	*0.019	0.061		0.809	*0.000	*0.027
{8} <i>Festuca valesiaca</i>	*0.001	*0.027	*0.002	0.964	*0.047	0.113	0.809		*0.001	0.052
{9} <i>Rumex acetosella</i>	0.741	*0.024	0.848	*0.000	0.095	*0.026	*0.000	*0.001		0.139
{10} <i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0.184	0.732	0.130	*0.014	0.925	0.542	*0.027	0.052	0.139	

BIOGRAFIJA AUTORA



Rođena je 1981. godine u Boru, Srbija, gde završava osnovnu i srednju školu. Nakon završene gimnazije, školske 1999/2000. godine upisuje Odsek za pejzažnu arhitekturu Šumarskog fakulteta u Beogradu. U toku osnovnih studija bila je stipendista Republičke fondacije za razvoj naučnog i umetničkog podmlatka pri Ministarstvu prosvete Republike Srbije, a 2004. godine jedan od dobitnika stipendije Ambasade Kraljevine Norveške u Beogradu za postignute visoke akademske rezultate na studijama.

Studije završava sa prosečnom ocenom 9,34. Proglašena je za studenta generacije na ovom odseku u školskoj 2005/2006. godini. Po upisu poslediplomskih studija bila je angažovana kao volonter-demonstrator u nastavi.

Na osnovu akademskih i drugih rezultata 2006. godine postaje stipendista Ministarstva nauke Republike Srbije iz oblasti biotehnologije. Kao stipendista, a potom i u svojstvu istraživača-pripravnika biva uključena u naučno-istraživačke projekte Instituta za šumarstvo u Beogradu na odeljenju za Gajenje, ekologiju i podizanje šumskih ekosistema.

Godine 2010. stiče zvanje magistra nauka iz oblasti Pejzažne arhitekture i hortikulture na Odseku za pejzažni inženjering Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu odbranom teme: `Uticaj sredine na razvoj bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.) u ozelenjenim delovima jalovišta suburbane zone Bora`.

Školske godine 2009/2010. upisuje specijalističke poslediplomske studije Fakulteta organizacionih nauka u Beogradu, na Katedri za menadžment i specijalizovane menadžment discipline, na kojoj 2011. godine stiče zvanje strukovnog mastera (master professional) iz oblasti upravljanja projektima odbranivši temu pod nazivom `Mogućnost primene adaptivnog menadžmenta u upravljanju projektima iz oblasti zaštite i unapređenja životne sredine`.

Od 2011. godine angažovana je na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu kao istraživač saradnik na Departmanu za kristalografiju, mineralogiju, petrologiju i geohemiju. Iste godine prijavljuje izradu doktorske disertacije pod nazivom `Geobotanička i biogeohemijska karakterizacija rudničke otkrivke u Boru i mogućnost primene rezultata u remedijaciji` na multidisciplinarnim studijama Univerziteta u Beogradu.

Učesnik je brojnih treninga i seminara iz oblasti održivog razvoja, ekologije i zaštite životne sredine. Objavila je više naučnih i stručnih publikacija na kongresima i u časopisima domaćeg i međunarodnog karaktera.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а РАНЂЕЛОВИЋ ДРАГАНА

број индекса

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ГЕОБОТАНИЧКА И БИОРЕСХЕМИЈСКА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА РУДНИЧКЕ ОТКРИВКЕ
У БОРУ И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ РЕЗУЛТАТА У РЕМЕДИЈАЦИЈИ

- 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, 16.02.2015.

DRandelović

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора АРАНА РАЊЕЛОВИЋ

Број индекса ✓

Студијски програм СТУДИЈЕ ПРИ УНИВЕРЗИТЕТУ

Наслов рада ГЕОБОТАНИЧКА И БИОГЕОХЕМИЈСКА РХНИЧКЕ ОТКРИВКЕ У БОРУ
И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ РЕЗУЛТАТА У РЕМЕДИЈАЦИЈИ

Ментор ДР ВЛАДИЦА ЦВЕТКОВИЋ, ДР СЛОБОДАН ЈОВАНОВИЋ

Потписани/а DRauctelović

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, 16.02.2015.

DRauctelović

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

ГЕОБОТАНИЧКА И БИОГЕОХЕМИЈСКА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА РУДНИЧКЕ ОТКРИВКЕ У БОРУ
И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ РЕЗУЛТАТА У РЕМЕДИЈАЦИЈИ

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, 16.02.2015.

D. Rantelović

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

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

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

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

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

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