

Kapacitet pročišćavanja površinskih voda kroz klonove vrba i topola

Abramović, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

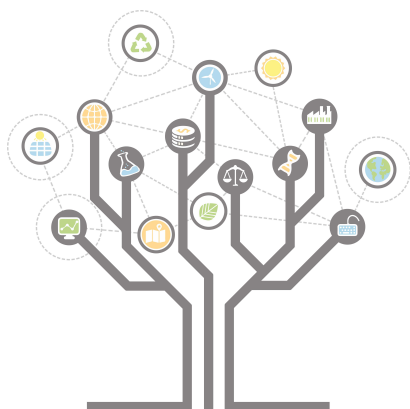
2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:526287>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



Kapacitet pročišćavanja površinskih voda kroz klonove vrba i topola

Abramović, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:526287>

Rights / Prava: [In copyright](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-02**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

PETRA ABRAMOVIĆ

KAPACITET PROČIŠĆAVANJA POVRŠINSKIH VODA KROZ KLONOVE VRBA

I TOPOLA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

KAPACITET PROČIŠĆAVANJA POVRŠINSKIH VODA KROZ KLONOVE VRBA

I TOPOLA

KANDIDAT:

PETRA ABRAMOVIĆ

MENTOR:

doc. dr. sc. MARIO ŠILJEG

VARAŽDIN, 2017.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: **PETRA ABRAMOVIĆ**
Matični broj: **140 - 2015./2016.**
Smjer: **UPRAVLJANJE VODAMA**

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

**KAPACITET PROČIŠĆAVANJA POVRŠINSKIH VODA KROZ
KLONOVE VRBA I TOPOLA**

Rad treba sadržati:

1. Uvod
2. Objekti istraživanja
3. Područje istraživanja
4. Metode rada
5. Rezultati
6. Rasprava
7. Zaključci
8. Literatura
9. Popis slika
10. Popis tablica
11. Popis kratica
12. Prilozi

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

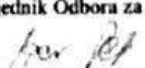
Zadatak zadan: 17.05.2017.

Rok predaje: 01.12.2017.

Mentor:

Doc. dr. sc. Mario Šiljeg



Predsjednik Odbora za nastavu:

Doc. dr. sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

KAPACITET PROČIŠĆAVANJA POVRŠINSKIH VODA
KROZ KOLONJE VRBA I TOROLA
(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Maria
Šiljega.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 30.11.2017.

PETRA ABRAMOVIC
(Ime i prezime)

Thamevid
(Vlastoručni potpis)

Zahvale

Zahvaljujem svom mentoru, doc. dr. sc. Mariju Šiljegu na ukazanom povjerenju i pruženoj pomoći tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Bojanu Đurinu i izv. prof. dr. sc. Aleksandri Anić-Vučenić na pruženoj pomoći i savjetima.

Također se zahvaljujem na velikoj pomoći od samog početka dr.sc. Biljani Kulišić s Energetskog instituta;

Hrvatskim šumama na donaciji sadnica topola;

Laboratoriju Zavoda za javno zdravstvo Andrija Štampar u Zagrebu (u suradnji sa Hrvatskim vodama) koji su razgradili uzorke;

Laboratoriju Hrvatskih voda pod vodstvom dr. sc. Draženke Stipaničević , na odrađenim ispitivanjima teških metala.

Od srca zahvaljujem svojoj obitelji na pruženoj potpori tijekom studija.

Petra Abramović: **KAPACITET PROČIŠĆAVANJA POVRŠINSKIH VODA KROZ KLONOVE VRBA I TOPOLA**

Prilikom terenskog rada na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevac sakupljeno je 9 uzoraka tla. Na lokalitetima su također uzeti i uzorci tri različita klona topola (*Populus* spp.) prilikom čega su reznice (sadnice) vađene iz tla s korijenom. Uzorkovanje se provodilo u tri navrata s razmakom od oko mjesec dana između svakog. Uzorkovalo se po tri različita klona topole (S1-8, M-1 i PANONIA) te tlo ispod istih klonova. Ispitano je ukupno 9 uzoraka tla i 18 uzorak topola (9 uzoraka lišća i 9 uzoraka drvenastog dijela). Te je u istima ispitan sadržaj 13 teških metala (Al, B, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Cr, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn). Za određivanje teških metala korištena je metoda masene spektrometrije (ICP – MS). Cilj je bio ispitati sposobnost akumulacije 13 teških metala u tri različita klona topole, izmjeriti njihov prirast, otpornost i prilagodbu na našu klimu. Ovo istraživanje je dio ideje jednog opsežnijeg istraživanja gdje bi se ispitani klonovi koristili u biomasi. Klonovi su se pokazali kao veoma dobri apsorbenti teških metala u drvenaste dijelove. Kod rezultata BAF-a najviši rezultat pokazuje klon S1-8 (31.05.1017.) za teški metal mobilden (Mo) , dok najmanju vrijednost pokazuje M-1 (31.05.2017.) za aluminij (Al). Odabrani klonovi topole adsorbiraju teške metale u listu biljke. Najviša vrijednost za cink (Zn) je izmjerena u klonu M-1. Ipak može se zaključiti da sve ovisi o tipu onečišćenja i kako ono dospijeva u okoliš (navodnjavanjem, ispušnim plinovima iz strojeva, itd.). Klonovi topola pokazuju različitu sposobnost akumulacije metala u nadzemne dijelove biljke. Klon PANONIA pokazuje osrednje vrijednosti te niti u jednom mjerenju znatno ne odskače. Dok se klonovi M-1 i S1-8, ovisno o metalu izmjenjuju.

Dobivene vrijednosti BAF-a mogu imati praktičnu primjenu kod fitoremedijacije onečišćenih tala teškim metalima, a ujedno su pokazatelj koliko uspješno biljka uklanja određene teške metale iz tla. Na osnovi rezultata dobivenih ispitivanjima u ovome diplomskom radu može se zaključiti da sadnjom plantaža topola na onečišćenim površinama možemo otkloniti teške metale iz tla, također sadnjom drvoreda uz plavna područja moguće je smanjiti kontaminaciju tla.

Ključne riječi: fitoremedijacija, teški metali, Topola (*Populus* spp.), Klon S1-8, Klon M-1, Klon PANONIA

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Problem onečišćenja tla i voda teškim metalima.....	1
1.2. Fitoremedijacija	2
1.2.1. Prednosti metode fitoremedijacije.....	4
1.2.2. Nedostatci metode fitoremedijacije.....	4
1.2.3. Upotreba drvenastih biljaka u fitoremedijaciji.....	5
1.3. Ciljevi rada.....	6
2. OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	8
2.1. Topola (<i>Populus spp.</i>).....	8
2.1.1. Vrste <i>Populus x euramericana</i> (Dode Guinier)	8
2.1.2. Vrste <i>Populus deltoides</i> (Marshall)	10
2.2. Teški metali.....	11
2.2.1. Aluminiј (Al).....	12
2.2.2. Bor (B)	13
2.2.3. Bariј (Ba).....	13
2.2.4. Kadmij (Cd)	14
2.2.5. Kobalt (Co).....	15
2.2.6. Bakar (Cu).....	16
2.2.7. Željezo (Fe)	17
2.2.8. Krom (Cr).....	18
2.2.9. Mangan (Mn)	19
2.2.10. Molibden (Mo)	20
2.2.11. Nikal (Ni)	20

2.2.12. Olovo (Pb).....	21
2.2.13. Cink (Zn).....	22
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	24
3.1. Prvo uzorkovanje	24
3.2. Drugo uzorkovanje	26
3.3. Treće uzorkovanje.....	27
3.4. Klimatske karakteristike	28
4. METODE RADA	30
4.1. Terensko prikupljanje uzoraka.....	30
4.2. Priprema uzoraka	32
4.3. Laboratorijske analize.....	34
4.3.1. Zlatotopka	35
4.3.2. Mikrovalna digestija.....	35
4.3.3. Maseni spektrometar ICP – MS	36
4.3.4. Izračunavanje fitoakumulacijskog koeficijenta.....	39
5. REZULTATI	40
5.1. Terenska mjerenja	40
5.2. Teški metali u tlu i vrijednosti MDK.....	40
5.3. Teški metali u topolama i vrijednosti BAF-a.....	51
6. RASPRAVA.....	70
7. ZAKLJUČCI	74
8. LITERATURA	76
9. POPIS SLIKA	79
10. POPIS TABLICA.....	82
11. POPIS KRATICA	83

12. PRILOZI	84
Prilog 1. Rezultati vaganja uzoraka tla i topola	84
Prilog 2. Rezultati teških metala u tlu	86
Prilog 3. Rezultati teških metala u topolama	87
Prilog 4. Rezultati Fitoakumulacijskog koeficijenta u uzorcima topola.....	88

1. UVOD

1.1. Problem onečišćenja tla i voda teškim metalima

Izraz „teški metali” tijekom proteklih nekoliko desetljeća često se koristi za grupu metala i polumetala (metaloida) koji se dovode u vezu s onečišćenjem i potencijalnim toksičnim učinkom kao što se navodi u [1].

Teški metali definirani su kao metali sa specifičnom težinom većom od 5 g/cm^3 , koji izazivaju ozbiljne toksikološke simptome i u manjim koncentracijama kako je navedeno u [2]. U literaturi iz područja biotehničkih znanosti u Republici Hrvatskoj najčešće se kao granica navodi 5 g/cm^3 te tako u grupu „teških metala” ne spada titan (Ti), ali ni aluminij (Al) koji je značajan s aspekta fitotoksičnosti [1]. Međutim elemente koji pripadaju grupi „teških metala” različiti su autori definirali različitim vrijednostima relativne gustoće, od gustoće iznad $3,5 \text{ g/cm}^3$ [3], najčešće iznad 5 g/cm^3 , zatim iznad 6 g/cm^3 [4] ili čak iznad 7 g/cm^3 prema nekim izvorima [1], pa tako u tu skupinu ulazi i aluminij (Al). Teški metali su još uvijek jedan od najvažnijih problema u okolišu [5]. Prvoj skupini pripadaju esencijalni elementi kao što su selen, cink, kalcij i željezo, a u drugu skupinu ubrajaju se metali poput kadmija, arsena, olova i žive. Ti neesencijalni metali su otrovni i negativno djeluju na organizam [6].

Teški metali se u tlu zadržavaju znatno dulje nego u ostalim sastavnicama okoliša. Prodiranje teških metala u tlo ima ozbiljne posljedice za različite aspekte ljudske upotrebe i djelatnosti, kao što su korištenje tla u poljoprivredi, građevini, opskrbi pitkom vodom, urbanom i ruralnom planiranju te upravljanju prirodnim izvorima. Prisutnost teških metala u tlu posljedica je prirodnih i antropogenih procesa. Prirodni su pedogenetski procesi kojima tlo nasljeđuje teške metale iz matičnog supstrata, a antropogeni procesi uključuju urbanizaciju, industrijalizaciju, promet i poljoprivrednu proizvodnju[6].

Poljoprivredna tla su dodatno izložena oštećenju zbog intenzivnog korištenja, a što može ugroziti prirodnu vezu tla i vode i uzrokovati degradaciju kakvoće površinskih i podzemnih voda. Kako bi se spriječilo onečišćenje vode uzrokovano nitratima iz poljoprivrede, Europska komisija je 1991. godine izdala Nitratnu direktivu (91/676/EEC). Krajem 2012.

godine donesena je Odluka o određivanju ranjivih područja u Republici Hrvatskoj, a više o njoj je moguće pronaći u [7] kojom se utvrđuju ranjiva područja na vodnom području rijeke Dunava i jadranskom vodnom području, a na kojima je potrebno provesti mjere zaštite voda od onečišćenja nitratima iz poljoprivrede. Prema navedenoj odluci, oko 10 % kopnenog teritorija RH je označen kao ranjiv – 2.628 km² na vodnom području rijeke Dunav i 2.454 km² na jadranskom vodnom području.

Do sada su u RH provedeni brojni znanstveni i stručni projekti koji su se bavili problemom utjecanja poljoprivrednih aktivnosti na onečišćenje površinskih i podzemnih voda. Većina je provedena s ciljem rješavanja konkretnih pojedinačnih problema na danim lokacijama. U RH postoji nacionalni monitoring podzemnih i površinskih voda. Temeljem takvog monitoringa moguće je donijeti odluke o ranjivim zonama. To su područja u kojima je u podzemnim vodama utvrđeno nitrata u koncentraciji višoj od 50 mg/l[8].

Nakon unosa onečišćujućih tvari teško je ikada više vratiti početnu razinu kvalitete vode, već se potiče kruženje onečišćujućih tvari, gdje smo i mi kao jedan od sudionika toga procesa svojom svakodnevnom konzumacijom vode. Postavlja se pitanje: „Može li se tim kruženjem i primjenom onečišćene vode u ekološkim metodama (poput navodnjavanja zemljišta u svrhu fitoremedijacije), smanjiti količina onečišćivala u podzemnim i površinskim vodama te na taj način povratiti njezinu kvalitetu?

1.2. Fitoremedijacija

Fitoremedijacija je relativno nov proces čišćenja tla (primjena počela početkom 80-ih godina), no već je testiran na više od 200 lokacija diljem svijeta. Ekološki je prihvatljiva tehnologija koja koristi biljke za razgradnju, asimilaciju, metabolizam ili detoksifikaciju različitih onečišćivača okoliša. Koristi se za uklanjanje onečišćivača iz tla, vode i zraka [6]. Pruža potpuno novi i ekološki prihvatljiv pristup sanaciji tla.

Primjenom raznih tehnika sanacije onečišćenog tla moguće je povratiti prvobitnu funkciju tla. Saniranje kontaminiranog tla konvencionalnim metodama kao što su iskopavanje i uklanjanje onečišćenog tla je često preskupo te primjenjivo samo na manjim površinama. Također, konvencionalne metode tretirano tlo često čine neplodnim i nepogodnim za

poljoprivrednu proizvodnju zbog oštećivanja mikroflora. Stoga, današnja znanstvena zajednica razmišlja u smjeru alternativnih ekološki prihvatljivih metoda saniranja onečišćenog tla. Jedna od bioloških metoda sanacije onečišćenog tla je fitoremedijacija, koja uključuje upotrebu određenih biljnih vrsta koje posjeduju fitoakumulacijski potencijal za uklanjanje raznih onečišćivala. Bitno je napomenuti kako se upotrebom fitoremedijacije ne utječe na plodnost tla i živi svijet u tlu [9].

Fitoremedijacija podrazumijeva korištenje biljaka u remedijaciji/sanaciji tj. uklanjanju štetnih tvari iz tla, podzemnih i površinskih voda te atmosfere, degradaciji štetnih tvari u tlu/iz tla, podzemnih i površinskih voda te atmosfere i zadržavanju štetnih tvari u tlu na jednom mjestu kako se onečišćenje ne bi proširilo na šire područje [10].

Tijekom fitoremedijacijskog procesa dolazi do modifikacije fizikalnih i kemijskih svojstava onečišćenog tla, otpuštanja "sokova" korijena biljke, povećanja organskog ugljika, poboljšanja prozračivanja otpuštanjem kisika izravno u zoni korijena, povećanja poroznosti gornje zone tla, sprječavanja i usporavanja kretanja onečišćivala te smanjenja vertikalne i horizontalne migracije onečišćivala u podzemne vode [11].

Osnovna karakteristika biljaka korištenih za fitoremedijaciju jest sposobnost akumulacije i/ili razgrađivanja onečišćivala u tlu ili vodi te rast na onečišćenom području [12].

Fitoremedijacijska biljna vrsta mora biti neinvazivna vrsta koju životinje ne vole jesti. Biljka se izabire prema njenoj sposobnosti izdvajanja toksina iz okoliša, prilagođenosti na lokalne klimatske prilike, veliku proizvodnju zelene mase, dubini do koje korijen prodire, kompatibilnosti s vrstom tla koje će se sanirati, brzini rasta, jednostavnosti sadnje i održavanja te sposobnosti da upije velike količine vode [11].

Znanstvenici se slažu da stabla bolje od zeljastih biljaka i efikasnije tretiraju onečišćenje na dubljim tlima. Najpopularnije stablašice su vrbe i topole zbog velikog kapaciteta za upijanje vode i brzog rasta nadzemnih dijelova. Topole zbog svojih osobina (brzog rasta, velike biomase, visokog stupnja transpiracije, nedavno modificiranog genoma (*Populus trichocarpa*), nesudjelovanja u lancu ishrane itd.) su naročito pogodne za proces fitoekstrakcije, koji i dalje nije potpuno razjašnjen. Zbog navedenog, važno je da se u

procesе fitoremedijacije uključe novi klonovi topola koji bi se pokazali kao efikasni u remedijaciji zemljišta onečišćenog teškim metalima i koji imaju bolje razvijene mehanizme detoksifikacije i obrane od štetnih utjecaja teških metala [11].

Ovisno o vrsti onečišćivala, mjestu onečišćenja, razini onečišćenja i tipu biljke, tehnologije fitoremedijacije mogu se koristiti za pohranjivanje (fitoimobilizacija i fitostabilizacija) ili uklanjanje (fitoekstrakcija i fitovolatizacija) onečišćivala. Prilikom odabira tehnike fitoremedijacije u obzir se trebaju uzeti ekološki čimbenici, odnosno mogući utjecaji na okoliš [11]. Najviše pažnje dosada posvećeno je fitoekstrakciji, fitodegradaciji i fitostabilizaciji.

1.2.1. Prednosti metode fitoremedijacije

Osim što je potpuno ekološki prihvatljiv postupak, fitoremedijacija ima još nekoliko prednosti koje joj daju na važnosti.

1. Trošak energije i posljedično ukupni financijski trošak fitoremedijacije je značajno niži od konvencionalnih procesa dekontaminacije.
2. Biljke se mogu jednostavno nadgledati i pratiti promjene koncentracija otrovnih tvari.
3. Postoji mogućnost "recikliranja" vrijednih metala iz pepela korištenih biljaka.
4. Ovo je potencijalno najmanje štetna metoda jer koristi žive organizme (prirodu), a ne kemikalije pa ima najmanji utjecaj na okoliš.
5. Biljni materijal koji je upio toksine se može obraditi sušenjem i paljenjem.
6. Krajnja količina proizvedenog toksičnog otpada nakon tretiranja je samo manji dio količine toksičnog otpada dobivenog korištenjem konvencionalnih metoda [13].

1.2.2. Nedostatci metode fitoremedijacije

Uz sve navedene prednosti fitoremedijacija ima i nedostataka, a oni se svi vežu na činjenicu kako je fitoremedijacija ekološki i prirodan proces u kojem se priroda sama generira. Međutim, kako čovjek ne može utjecati na prirodu, tako ne može ni na neke aspekte fitoremedijacije.

1. Znanstvenici nisu zadovoljni brzinom kojom biljke dekontaminiraju tlo te se vrše veliki naponi u pronalaženju GMO biljaka koje bi radile brže na uklanjanju onečišćivala iz tla.
 2. Iako ova metoda generira značajno manje količine toksičnog otpada, još uvijek se lome koplja oko najboljeg načina odlaganja. Postoji nada da će se zelena masa s nakupljenim toksinima moći u budućnosti koristiti kao biogorivo.
 3. Uspješnost fitoremedijacije ovisi o dubini na kojoj se korijenje razvija. Što je kontaminant dublje u tlu, duže će trebati korijenu da dopre do njega.
 4. Tijekom fitoremedijacije, dolazi do bioakumulacije toksina koji mogu ući u hranidbeni lanac. Na taj način postaje štetna za neke male organizme koji je u prirodi konzumiraju.
 5. Kod fitoremedijacije, ponekad problem predstavlja i neprilagođenost biljne vrste na klimatske uvjete područja u kojem je potrebno saditi.
 6. Preživljavanje biljaka ovisi o stupnju onečišćenosti tretiranog tla.
- Najveća mana fitoremedijacije je to što je spor i dugotrajan proces, s obzirom da je potrebno nekoliko godina, ovisno o terenu, vrsti onečišćenja i primjenjene biljne vrste, kako bi došlo do smanjenja onečišćenja [13].

1.2.3. Upotreba drvenastih biljaka u fitoremedijaciji

Kada se fitoremedijacija ograniči na upotrebu drvenastih biljaka, onda je riječ o dendroremedijaciji (st. grč. Dendron - drvo; lat. Remediare - vratiti u upotrebu, izliječiti). Veći broj drvenastih vrsta je istraživao ili korišten u fitoremedijaciji iz rodova vrba (*Salix spp.*), topola (*Populus spp.*), breza (*Betula spp.*), jove (*Alnus spp.*) i javora (*Acer spp.*). Za potrebe fitoremedijacije najviše pažnje se pruža brzorastućim vrstama, gdje su najpopularnije baš vrbe i topole. Topole kao brzorastuće vrste su izrazito pogodne za primjenu u fitoremedijaciji zemljišta, zahvaljujući visokoj proizvodnji biomase, dobro razvijenom korijenu, visokom stupnju transpiracije i mogućnosti topola da rastu u širokom opsegu klimatskih uvjeta. Plantaže topola mogu biti korištene u tzv. zasadima niske ophodnje (eng. short rotation coppice). Drvenaste vrste su jeftinije za fitoremedijaciju od zeljastih biljaka, jer imaju mogućnost nekoliko ciklusa dekontaminacije bez obavezne sječe cijele biljke i ponovne sadnje svake godine. Osim fitoremedijacijskih sposobnosti,

plantaže drveća na onečišćenom zemljištu sprečavaju eroziju i širenje onečišćenja vjetrom (fitostabilizacija). Nakon prve sadnje, troškovi održavanja su relativno niski, a nusproizvodi, kao biomasa ili stablo, mogu biti korišteni za proizvodnju struje ili topline. Ovisno o vrsti i razini onečišćenja stabla, njegovoj lokaciji te samim time i razini akumuliranih metala, ono može biti korišteno u razne komercijalne svrhe, ukoliko ne prelazi maksimalno dopuštene količine za razne drvene proizvode [14]. Istraživači su pratili klonalne varijacije kod 13 različitih klonova topola u pogledu akumulacije teških metala i proizvodnje biomase u zasadima visoke ophodnje, zasađenim na mjestima odlaganja otpada i odlagalištima, koja su bila umjereno onečišćena teškim metalima. U ovom istraživanju uočene su značajne razlike među klonovima u akumulaciji većine ispitivanih metala. Najmanja koncentracija je nađena u drvetu, dok je najviša nađena u opadajućem lišću. Zbog ogromnog potencijala topola kao fitoekstraktora, neophodna je daljnja identifikacija vrsta i genotipova koji posjeduju osobine brzog rasta, velike biomase, kao i potencijal za akumulaciju teških metala [15].

Testiranje novih klonova topola s aspekta fitoekstrakcije, kao i dobivanje informacija o biološkim odgovorima i tolerantnosti na teške metale je od velikog značaja za izradu programa pošumljavanja staništa onečišćenih ovim polutantima. Ovaj rad se bavi upoređivanjem sposobnosti tri do sada nedovoljno ispitanih klona topola da vrše fitoekstrakciju čak 13 različitih teških metala, gdje su ispitani uzorci korijena i stabljike te uzorci lišća.

1.3. Ciljevi rada

Rad ima za cilj usporediti sposobnosti klonova topola i vrba da fitoekstrahiraju metale iz zemljišta. Cilj je bio ispitati sposobnost fitoakumulacije 13 teških metala u tri različita klona topole i vrbe, izmjeriti njihov prirast, otpornost i prilagodbu na našu klimu. Međutim, kako nije bilo dostupnih klonova vrba na području rasadnika Višnjevaca nije bilo moguće provesti istraživanje na vrbama pa se tako istraživanje bazira samo na klonovima topola. Ovo istraživanje je dio ideje jednog opsežnijeg istraživanja u kojem bi se ispitani klonovi koristili u biomasi. Očekuje se da će dobiveni rezultati omogućiti odabiranje klonova topole koji su najučinkovitiji.

U sklopu istraživanja provedeni su sljedeći koraci:

- praćenje efikasnosti klonova topola da vrše proces fitoekstrakcije teških metala iz zemljišta; fitoakumulacija i distribucija teških metala kroz biljne organe;
- određivanje masenog udjela 13 teških metala u tlu prema Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta [16].
- određivanje masenog udjela 13 teških metala u 3 različita klona Topole (*Populus spp.*): S1-8, M-1, PANONIA;
- odrediti koji teški metali i u kojoj količini se mogu ukloniti pomoću klonova Topole (*Populus spp.*): S1-8, M-1, PANONIA.

Navedena istraživanja bi trebala potvrditi točnost sljedećih hipoteza:

Hipoteza 1: Odabrani klonovi topole mogu adsorbirati teške metale u drvenastom dijelu biljke (deblo, kora).

Hipoteza 2: Odabrani klonovi topole ne adsorbiraju teške metale u listu biljke, odnosno njihov sadržaj je zanemariv.

Hipoteza 3: Klonovi topola pokazuju različitu sposobnost akumulacije metala u nadzemne dijelove biljke.

2. OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

2.1. Topola (*Populus spp.*)

Topola (*Populus spp.*) je naziv za šumsko drveće iz porodice *Salicaceae* koje obuhvaća oko 35 vrsta rasprostranjenih u aluvijalnim područjima Europe, Sjeverne Amerike, sjeverne Afrike i Azije tj. na Sjevernoj polutki. Naziv roda *Populus* potječe od starih Rimljana. Vjeruje se kako dolazi od riječi *arbor populi* što bi u prijevodu značilo „stablo naroda“. Ime crna topola dolazi od riječi *nigra*, dok se u ostalim svjetskim jezicima crna topola naziva black poplar (eng.), Schwarz-Pappel, Saarbaum (njem.), peuplier noir (fr.), pioppo nero (tal.), álamo negro, chopo negro, chopera (špa.), álamo, álamo-negro, choupo negro (port.), črni topol (slo.). Sve topole su listopadno dvodomno drveće te su naše autohtone vrste (*Populus alba L.*, *P. nigra L.*, *P. tremula L.*). Sve ove vrste su također i pionirske te uglavnom naseljavaju vlažna nizinska staništa. Europska crna topola (*Populus nigra L.*) zauzima areal u južnoj, toplijoj polovici Europe te raste duž Dunava, Odre, Labe, Rajne, preko Save, Drave, Drine pa sve do sjeverne Afrike. Razmnožava se generativno (sjemenom) i vegetativno (reznicama, korijenjacima, izbojcima i izdancima). Oplemenjivanje hibridizacijom provodi se međuvrtnim i unutarvrtnim križanjem. Drvo europske crne topole ima široki spektar [17].

Uzorci biljnog materijala u sklopu ovog rada pripadaju dvjema vrstama topola i to: Euroameričke hibridne topole (*Populus x euramericana*) i Američke crne topole (*Populus deltoides*).

2.1.1. Vrste *Populus x euramericana* (Dode Guinier)

Euroameričke hibridne topole (*Populus euroamericana* (Dode Guinier)) su dvodomne, anemofilne, heliofilne i higrofilne, brzorastuće vrste. Nastale su spontanim ili umjetnim križanjem europskih i američkih crnih topola te se zbog poboljšanih tehničkih osobina u odnosu na roditelje uzgajaju na širom području Europe. Razmnožavaju se ožiljavanjem reznica. Ova vrsta topole lista vrlo rano, deblo je potpuno ravno, izrazito formirano, raste u pršljenovima; krošnja je uska, polupiramidalna, lišće tamnozeleno, pomalo kožasto i sjajno, nazubljeno i testerasto, peteljka je crvena, ali i zelenkasta. Na slici 1. je prikazan

izbojak topole s pupovima, lišćem, resama, tobolcima i sjemenkama. Poznat je veliki broj sorti i klonova euroameričkih topola od kojih su najpoznatije kod nas: serotina, robusta, regenerata, marilandica, I-214, I-154 itd. Ova vrsta topola je lako prilagodljiva velikom rasponu različitih ekoloških uvjeta. Zbog toga se može naći gotovo u svim dijelovima svijeta: Sjevernoj Americi, Aziji, Europi pa čak i na Sibiru. Njena staništa su aluvijalna, pjeskovita zemljišta ravničarskih i nižih brdskih područja do oko 300 m nadmorske visine. Jedna od najmlađih sorti (nastala u Francuskoj 1895.) u naše krajeve je donesena 1938. iz Njemačke. [17].



Slika 1. Izbojak topole *Populus x euramericana* s pupovima, lišćem, resama, tobolcima i sjemenkama [18])

2.1.2. Klon M-1

Klon M1, (*Populus x euramericana*) je klon porijeklom iz Mađarske. Nastao je križanjem *P. deltoides* i *P. nigra*. Odlikuje se crvenkastom bojom kore, izbojaka, sadnica i mladih stabala kao i specifičnim habitusom na tankim granama i kožastim lišćem sjajno zelene boje. Karakterizira ga visok postotak prijema sadnog materijala, odlična sposobnost

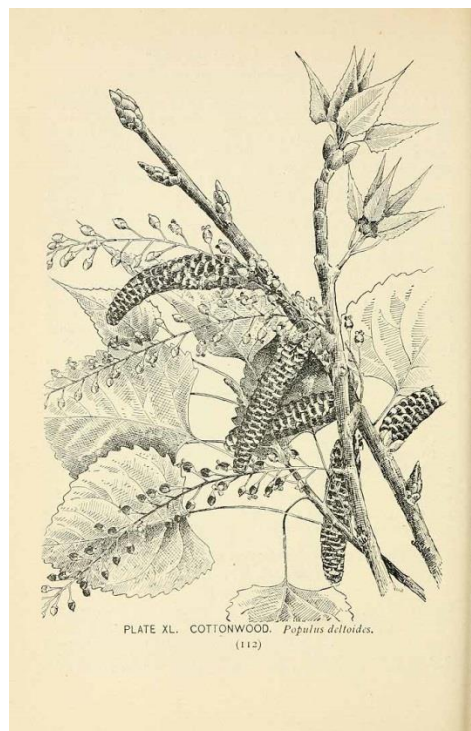
ožiljavanja reznica i slaba osjetljivost na *Dothichiza populea* (biljna bolest karakteristična za topole, prouzročena nametnikom). Za ovaj klon postoje indicije kako je on ustvari klon „Panonia“ pod drugim nazivom [15].

2.1.3. Klon PANONIA

Porijeklom iz Mađarske, ima visoku sposobnost ožiljavanja reznica, osrednji potencijal za rast i poprilično je otporan na *Dothichiza populnea* i *Marssonina brunnea* (biljne bolesti karakteristične za topole, nametnik napada koru stabla). Nešto zahtjevniji prvenstveno po pitanju prosječne temperature, ali ipak dosta otporan na hladnoću. Pravilnog rasta, pogodan za drveno-prerađivačku industriju kao i za šumarstvo. Otpornost na bolesti je dobra. Prinosi su dobri i pri smanjenim uvjetima vlažnosti [17].

2.1.2. Vrste *Populus deltoides* (Marshall)

Vrsta (*Populus deltoides* (Marshall)) je glavna američka crna topola, koja se prostire na širokom prostoru u istočnim područjima Sjeverne Amerike. Na slici 2. je prikazan izbojak američke topole sa pupovima, lišćem, resama, tobolcima i sjemenkama. Postoji oko 14 različitih varijeteta koji su prema njihovim staništima, podijeljeni u 3 skupine: sjeverni, središnji i južni varijeteti. U svom autohtonom staništu rastu u čistim i mješovitim skupinama, na plavnim, pjeskovitim terenima, pored rijeka i njihovih pritoka. Postižu visinu do 30 m, s presjekom i preko 2 m. Već u 17. stoljeću ove topole su prenošene u Europu. Njenim unošenjem u Europu došlo je do križanja s europskim crnim topolama i stvaranja novih hibrida s veoma dobrim osobinama koji su u Europi poznati kao kanadske topole. Ovo je posebno bio slučaj u Italiji i Francuskoj. Američke crne topole se u Europi sade pretežno u drvoredima i parkovima, a u novije vrijeme i u šumskim kulturama [19].



Slika 2. Izbojak s pupovima, lišćem, resama, tobojcima i sjemenkama [20]

2.1.1. Klon S1-8

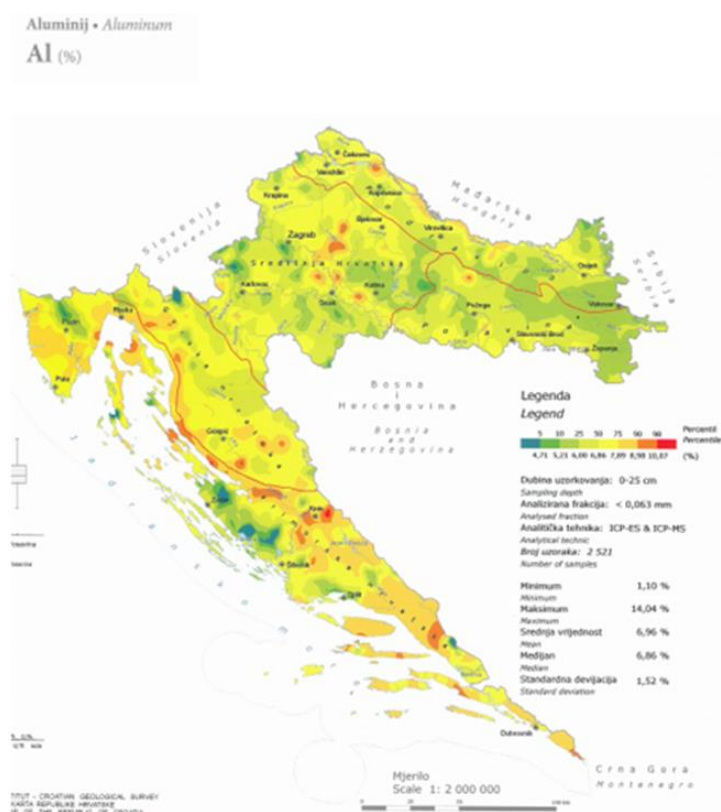
Fizikalna svojstva drva važan su pokazatelj za predviđanje kvalitete drvne sirovine. Kod klona 'S 1-8', svojstva njegova drva su još nedovoljno istražena, usprkos njegovu dobrom preživljavanju i priličnoj brzini prirasta. Gustoća drva klona 'S1-8' je puno manja u usporedbi s nekim drugim srodnim klonovima, međutim neki istraživači navode kako je ta brojka za praksu zanemariva. Gustoća drva se povećava, a utezanje drva se od srčike prema kori smanjuje. Brzina prirasta negativno se odražava na gustoću drva istraživanih klonova, a ovaj klon ima zavidni prirast [21].

2.2. Teški metali

Svi navedeni podatci u daljnjem tekstu preuzeti iz Memento- Periodni sustav elemenata, 2007. i iz Geokemijskog atlasa Hrvatske. Svih 13 navedenih teških metala je ispitano u uzorcima topola i tla.

2.2.1. Aluminij (Al)

Metal srebrno bijele boje, relativno mekan i kovak, odličan je vodič električne struje i topline. Stvara vrlo tanak sloj oksida na površini zbog čega u normalnim uvjetima ne reagira s vodom, postojan je na zraku. Otapa se u klorovodičnoj, sumpornoj i fluorovodičnoj kiselini te jakim lužinama. Treći je najčešći kemijski element i najzastupljeniji metal u Zemljinoj kori, a na slici 3. su pokzane njegove koncentracije na prostoru RH. Dobiva se elektrolizom iz boksita. Upotrebljava se u metalurgiji za dobivanje laganih legura koje imaju široku primjenu u građevinarstvu, brodogradnji, proizvodnji automobila i avionskoj industriji, za proizvodnju električnih kablova i raznih bojila, pirotehnici, kao i reagens u kemijskoj industriji. Aluminij nije štetan po zdravlje [22].



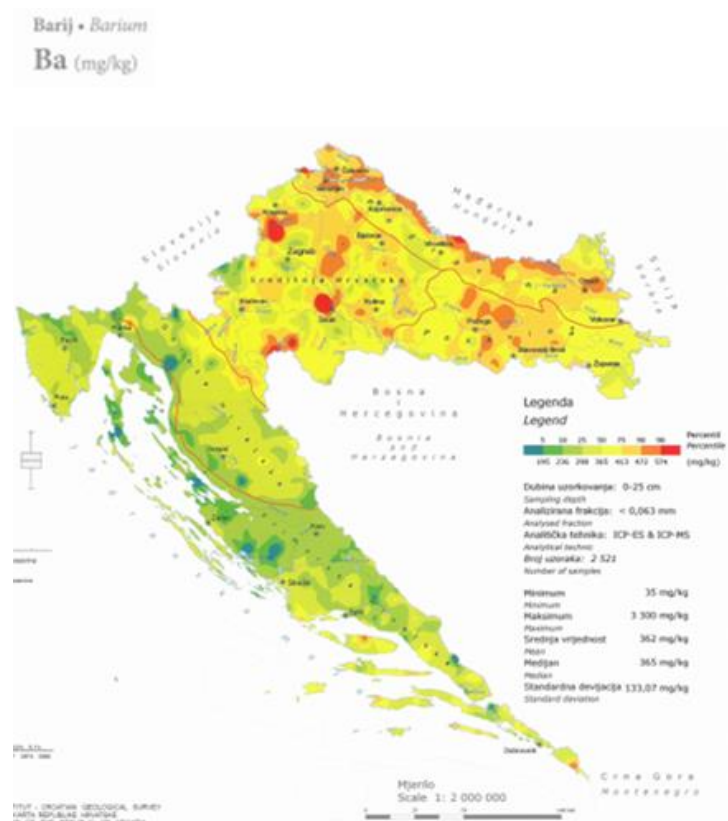
Slika 3. Koncentracije aluminija (Al) na području Republike Hrvatske [23]

2.2.2. Bor (B)

Polumetal, iznimno tvrdih i krutih kristala tamno smeđe boje. Bor je kemijski skoro potpuno inertan, reaktivan je tek pri povišenim temperaturama. Rasprostranjen je u velikim količinama, a najvažnije rude su kemit i kolemanit. Najčešće se proizvodi redukcijom borovog oksida magnezijem. Upotrebljava se u metalurgiji kao reagens te za proizvodnju legura, kemijskoj industriji, nuklearnim elektranama, pirotehnici, kozmetici i medicini te za proizvodnju deterdženata, stakla i usporivača gorenja. Bor je esencijalan za biljke, a u većim količinama je štetan i za ljude te oštećuje jetru, bubrege i mozak, dok u manjim količinama i pri udisanju djeluje ngrizajuće [22].

2.2.3. Barij (Ba)

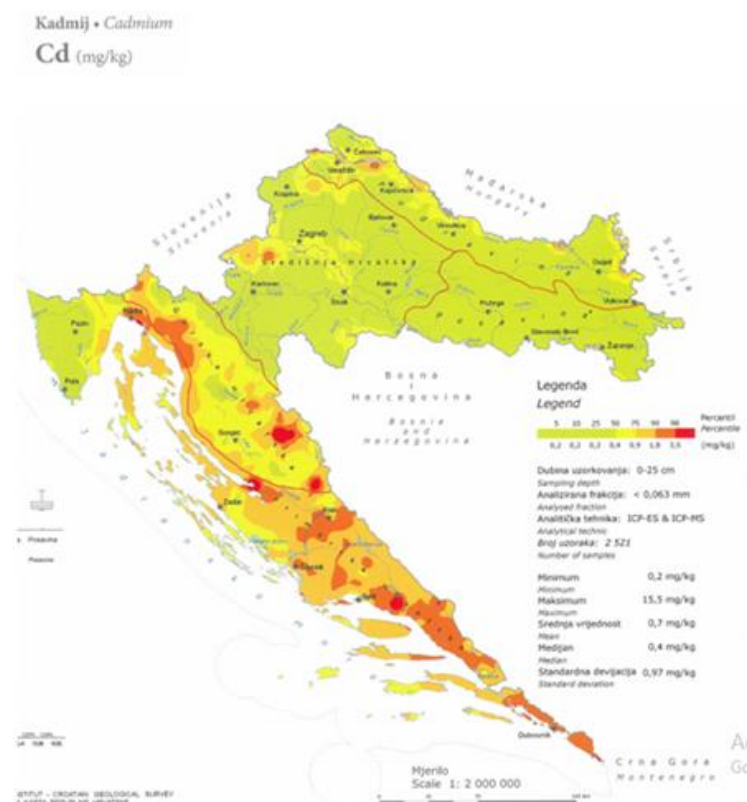
Metal srebrno sive boje, relativno mekan i kovak. Vrlo je reaktivan, stoga ga je potrebno čuvati uronjenog u mineralno ulje. Burno reagira s vodom i kiselinama, dok na zraku brzo potamni stvarajući sloj oksida. Zapaljen gori zelenim plamenim. Dostupan je u veoma malim količinama, a najvažnije rude su barit i viterit, iz kojih se barij dobiva redukcijom aluminijem ili silicijem, njegove koncentracije u RH su prikazane na slici 4. Upotrebljava se u naftnoj industriji, nuklearnoj tehnici, metalurgiji za proizvodnju legura, pirotehnici, proizvodnji bojila, stakla, plastike, permanentnih magneta, vakumskih cijevi, kao i u medicini. U vodi su topljivi spojevi barija otrovni, izaziva srčane tegobe, nakuplja se u kostima, uzrokuje poremećaje probavnog i dišnog sustava te oštećenje bubrega [22].



Slika 4. Koncentracije barija (Ba) na području Republike Hrvatske [23]

2.2.4. Kadmij (Cd)

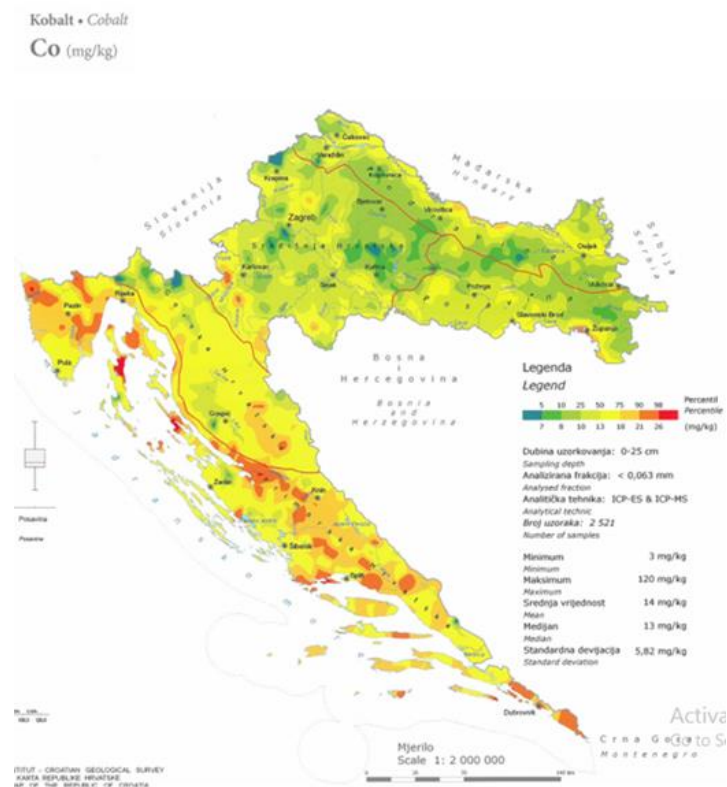
Plavkasto bijel i kovak metal, lako se reže nožem. Sporo potamni na zraku stvarajući tanak sloj zaštitnog oksida, a zapaljen gori crvenim plamenom. Ne reagira s vodom, niti lužinama, a otapa se u kiselinama. Dostupan je u malim količinama pa se tako nalazi uglavnom u rudama cinka. Njegove koncentracije na prostoru RH su prikazane na slici 5. Važni minerali su kadmoselit, grenokit i otavit. Kadmij se dobiva elektrolizom kadmijevog sulfata ili redukcijom oksida, dobivenih kemijskom obradom praha nastalog kao nusprodukt dobivanja cinka, ugljikom. Koristi se za proizvodnju posebnih legura, akumulatora, bojila te u nuklearnoj tehnici. Nakuplja se u tijelu, on i njegovi spojevi su otrovni i kancerogeni. Izazivaju oštećenja pluća, jetre, živčanog, koštanog i probavnog sustava te fetusa u razvoju [22].



Slika 5. Koncentracije kadmija (Cd) na području Republike Hrvatske [23]

2.2.5. Kobalt (Co)

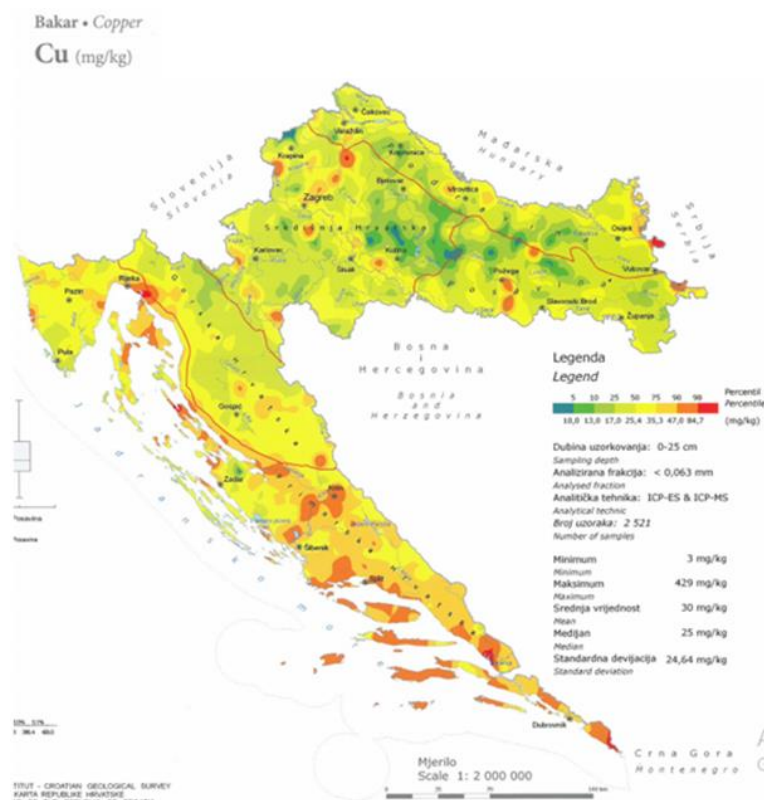
Tvrd metal, srebrno sive boje. Sporo se otapa u kiselinama i jakim lužinama, ne reagira s vodom i postojan je na zraku. Dostupan je u velikim količinama, a njegove koncentracije na prostoru RH viljice su na karti prikazanoj na slici 6. Najvažnije rude su kobalt i skuterudit. Proizvodi se piro-, hidro- ili elektrometalurškom preradom pretkoncentrirane mineralne sirovine, kao i nusproizvod pri proizvodnji drugih metala. Upotrebljava se u proizvodnji otpornih legura, keramike, stakla, bojila, akumulatora, permanentnih magneta, u kemijskoj industriji kao katalizator te u medicini kao radioaktivni ^{60}Co . Sastavni je dio pojedinih enzima viših životinja i ljudi. U velikim količinama izaziva poremećaje u radu srca [22].



Slika 6. Koncentracije kobalta (Co) na području Republike Hrvatske [23]

2.2.6. Bakar (Cu)

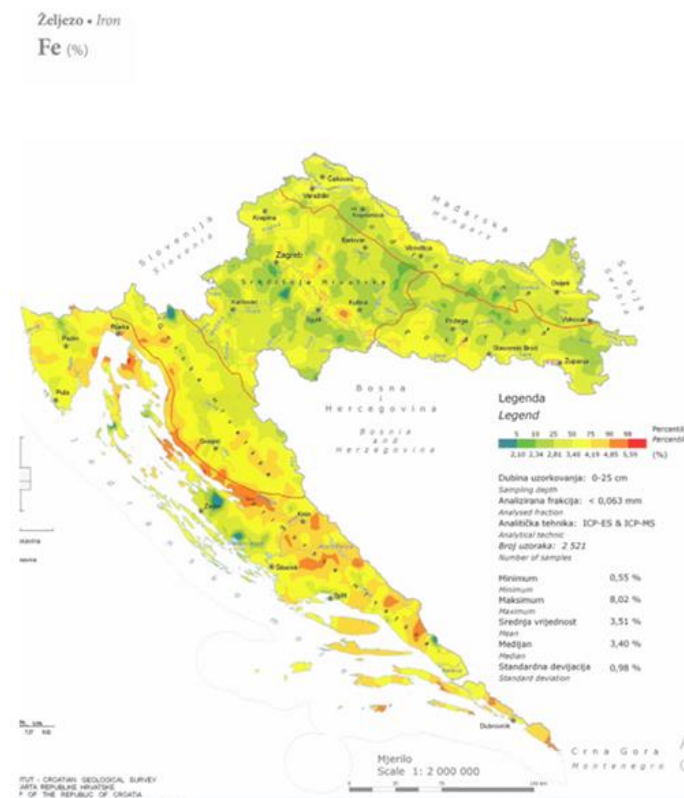
Crvenkasto smeđe boje, mekan, žilav i rastezljiv metal. Iznimno je dobar vodič električne struje i topline. Otapa se u dušičnoj kiselini, dok izložen atmosferskim uvjetima se sporo presvlači zaštitnim slojem zelenog karbonata. Dostupan je u velikim količinama, a koncentracije na prostoru Rh prikazane su na slici 7., Najvažnija ruda je halkopirit. Dobiva se piro-, hidro- ili elektrometalurškom preradom pretkoncentrirane mineralne sirovine. Upotrebljava se u elektroindustriji, metalurgiji i proizvodnji legura, građevinarstvu, brodogradnji, proizvodnji stakla, pesticida, glazbenih instrumenata te medicini. Sastavni je dio enzima bitnih za metaboličke reakcije svih oblika života na zemlji. Njegovi su spojevi otrovni, no on nije štetan po ljudsko zdravlje [22].



Slika 7. Koncentracije bakra (Cu) na području Republike Hrvatske [23].

2.2.7. Željezo (Fe)

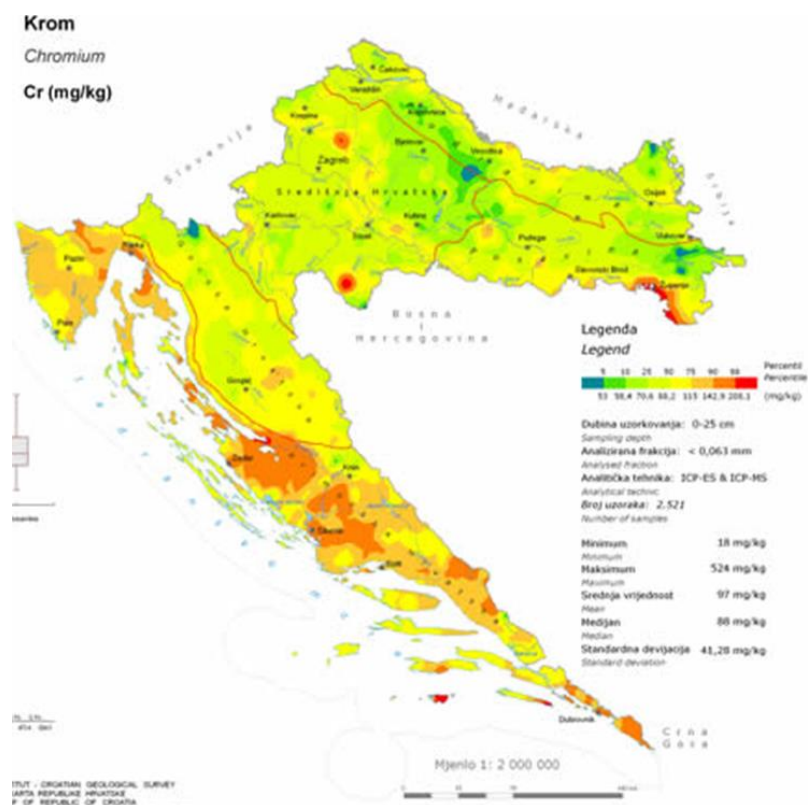
Srebrno bijele boje, kovak i relativno mekan metal. Reagira s vodom i kiselinama, a na vlažnom zraku stvara sloj oksida, poznatiji kao korozija. Četvrti je najčešći kemijski element u Zemljinoj kori i najčešći teški metal na Zemlji i u svemiru. Njegove koncentracije za RH su prikazane na slici 8. Dobiva se iz ruda željeza redukcijom ugljika u visokim pećima. Najvažnije rude iz kojih se dobiva željezo su hematit, magnetit, ilmenit, limonit i siderit. Sirovo željezo se prerađuje u konstrukcijske, alatne i specijalne čelike koji imaju nebrojeno mnogo namjena. Željezo je sastavni dio enzima bitnih za metaboličke reakcije svih oblika života na zemlji. Manjak izaziva anemiju, a u pretjeranim količinama oštećuje jetru, bubrege i srce [22].



Slika 8. Koncentracije željeza (Fe) na području Republike Hrvatske [23].

2.2.8. Krom (Cr)

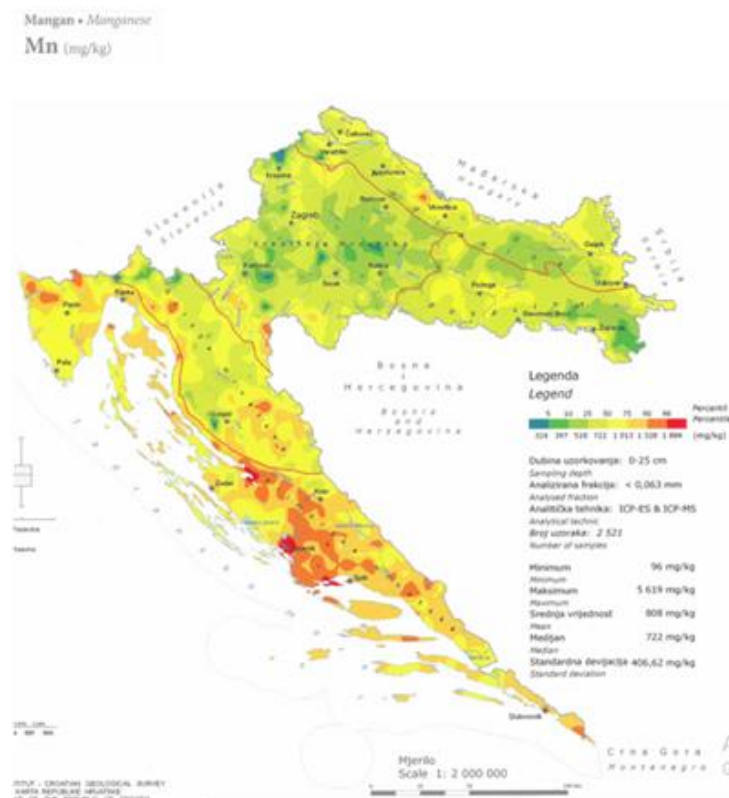
Srebrno bijele boje, iznimno tvrd metal plavkastog odsjaja. Stvara vrlo tanak sloj zaštitnog oksida i nitrida na površini, zbog čega u normalnim uvjetima ne reagira s vodom i postojan je na zraku. Otapa se u sumpornoj, klorovodičnoj i fluorovodičnoj kiselini. Dostupan je u velikim količinama, a najvažnija ruda je kromit. Koncentracije za RH prikazane su kartom na slici 9. Krom se dobiva redukcijom oksida dobivenog kemijskom obradom mineralne sirovine, aluminijem. Upotrebljava se u kemijskoj industriji, metalurgiji, proizvodnji bojila te za elektrokromiranje. Krom (III) sastavni je dio nekih enzima pojedinih oblika života na Zemlji, uključujući i ljude. Udahnut izaziva probleme dišnog sustava te poremećaje probavnog sustava, oštećenja kože, bubrega i jetre [22].



Slika 9. Koncentracije kroma (Cr) na području Republike Hrvatske [23]

2.2.9. Mangan (Mn)

Metal srebrno sive boje, tvrd i vrlo krt. Otapa se u kiselinama, dok na zraku potamni stvarajući sloj zaštitnog oksida. Gori u kontaktu s vatrom. Drugi je najzastupljeniji teški metal u Zemljinoj kori, a njegova rasprostranjenost u RH prikazana je na slici 10. Dobiva se redukcijom oksida iz ruda aluminijem ili silicijem te elektrolizom vodene otopine manganovog sulfata. Najvažnije rude iz kojih se dobiva su piroluzit, hausmanit, rodokrozit i braunit. Upotrebljava se u kemijskoj industriji, metalurgiji, proizvodnji stakla, baterija i antidetonatora za naftna goriva. Mangan je sastavni dio pojedinih enzima svih oblika života na Zemlji. U većim količinama izaziva oštećenja živčanog sustava, jetre, bubrega i fetusa u razvoju [22].



Slika 10. Koncentracije mangana (Mn) na području Republike Hrvatske [23]

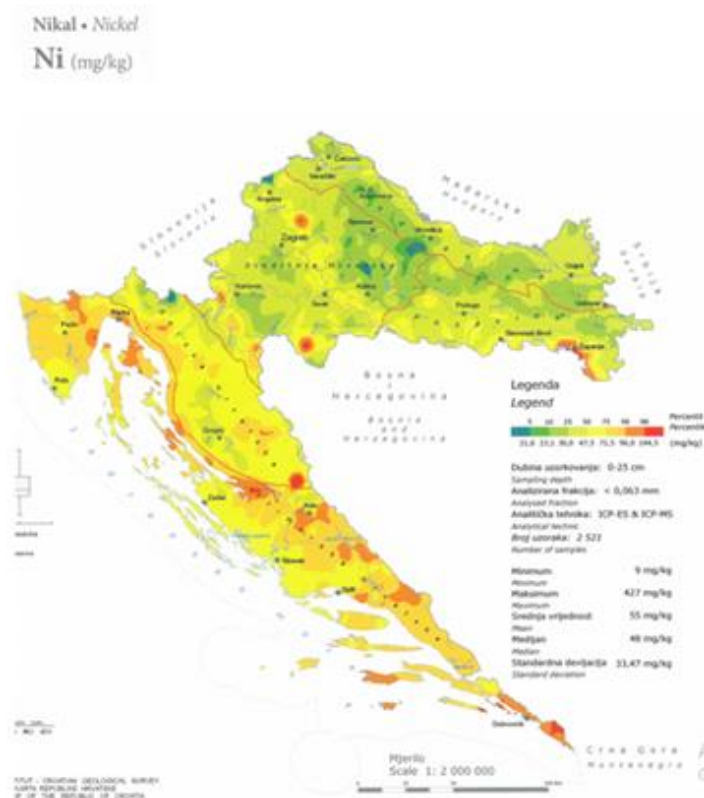
2.2.10. Molibden (Mo)

Svijetlo siv i tvrd metal. Postojan je na zraku, u normalnim uvjetima ne reagira s kiselinama i lužinama. Široko je rasprostranjen u malim količinama. Najvažnije rude su molibdenit i vulfenit. Dobiva se redukcijom oksida ekstrahiranog prženjem iz pretkoncentrirane mineralne sirovine, vodikom. Upotrebljava se u metalurgiji, kemijskoj, naftnoj i avionskoj industriji, elektronicima, proizvodnji žarulja i bojila te umjetnih gnojiva. Važan je sastavni dio pojedinih enzima svih živih bića na Zemlji. U velikim količinama oštećuje zglobove, jetru i živčani sustav [22].

2.2.11. Nikal (Ni)

Srebrno bijele boje, tvrd i žilav metal. U normalnim uvjetima ne reagira s vodom i lužinama, otapa se u kiselinama i postojan je na zraku. Ima ga u velikim količinama, a najvažnije rude su gamierit i pentlandit. Koncentracije za RH prikazane su na slici 11.

Dobiva se elektrolizom ili redukcijom ugljikom niklovog sulfida dobivenog obradom mineralne sirovine. Upotrebljava se u metalurgiji, brodogradnji, kemijskoj industriji, za elektronikanje te proizvodnju akumulatora i permanentnih magneta. Esencijalan je za neke oblike života na Zemlji. Nikal i mnogi njegovi spojevi su otrovni, kancerogeni i izazivaju oštećenja dišnog sustava, bubrega, krvožilnog sustava i fetusa u razvoju [22].

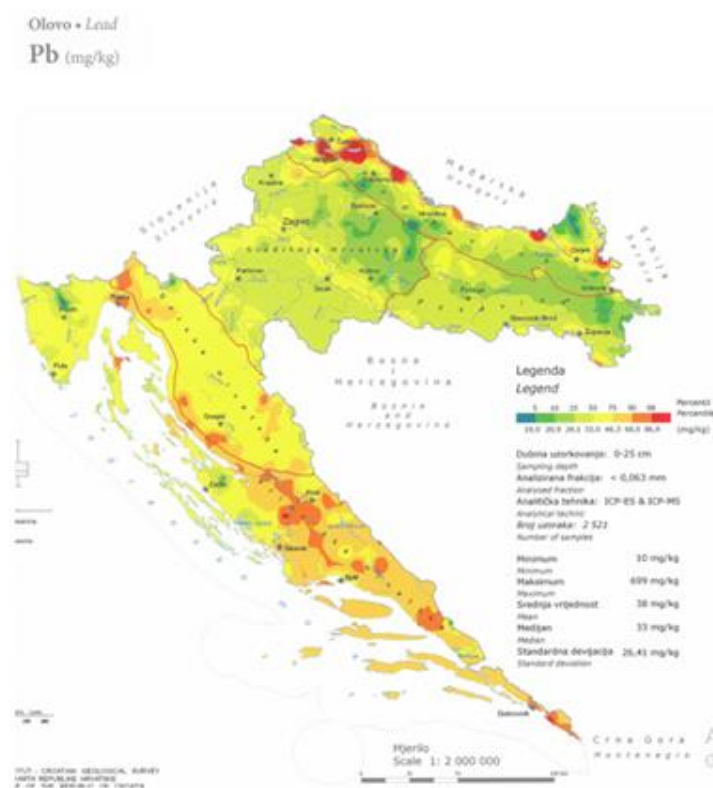


Slika 11. Koncentracije nikla (Ni) na području Republike Hrvatske [23]

2.2.12. Olovo (Pb)

Srebrno siv, mekan i kovak metal plavkastog odsjaja. Sporo reagira s vodom, lužinama i kiselinama, a na zraku se presvuče slojem zaštitnog oksida. Olovo je dostupno u velikim količinama, nastaje kao krajnji produkt radioaktivnog raspada serije uranija, torija i akitinija. Njegove koncentracije u RH prikazane su slikom 12. Dobiva se redukcijom galenita ugljikovim monoksidom. Upotrebljava se u proizvodnji akumulatora, streljiva, cijevi, za zaštitu od radijacije, u metalurgiji za proizvodnju legura, nuklearnim elektranama

i u elektronici. Olovo je otrovno. Akumulira se u tijelu i oštećuje jetru, živčani i reproduktivni sustav te fetus u razvoju [22].



Slika 12. Koncentracije olova (Pb) na području Republike Hrvatske [23]

2.2.13. Cink (Zn)

Plavkasto bijele boje, tvrd i krt metal. Na vlažnom zraku potamni stvarajući zaštitni sloj oksida i karbonata, a zapaljen gori blijedo zelenim plamenom. Ne reagira s vodom, a otapa se u kiselinama i lužinama. Dostupan je u velikim količinama, a najvažnije rude su sfalerit, smitsonit i hemimorfit. Koncentracije za prostor RH je prikazan slikom 13. Dobiva se elektrolizom cinkovog sulfata ili redukcijom oksida, dobivenih kemijskom obradom mineralne sirovine, ugljikom. Upotrebljava se u metalurgiji za proizvodnju legura, kemijskoj industriji, za elektrocinčanje, proizvodnju bojila i akumulatora te u medicini. Sastavni je dio pojedinih enzima svih oblika života na Zemlji. U velikim količinama izaziva probavne smetnje, anemiju i poremećaje metabolizma proteina [22].

Legend

Legend

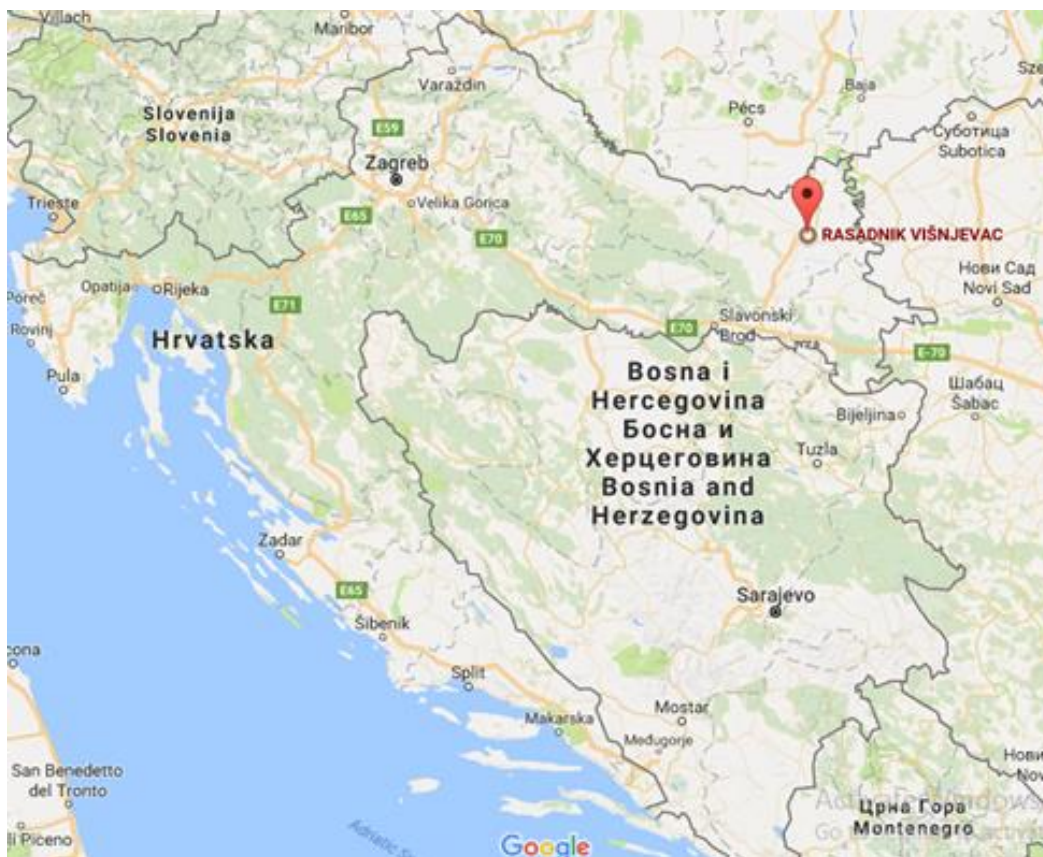
Polychlorinated biphenyls (mg/kg)

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950 960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430 1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390 2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870 2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350 3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830 3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310 4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790 4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840 5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290 6300 6310 6320 6330 6340 6350 6360 6370 6380 6390 6400 6410 6420 6430 6440 6450 6460 6470 6480 6490 6500 6510 6520 6530 6540 6550 6560 6570 6580 6590 6600 6610 6620 6630 6640 6650 6660 6670 6680 6690 6700 6710 6720 6730 6740 6750 6760 6770 6780 6790 6800 6810 6820 6830 6840 6850 6860 6870 6880 6890 6900 6910 6920 6930 6940 6950 6960 6970 6980 6990 7000 7010 7020 7030 7040 7050 7060 7070 7080 7090 7100 7110 7120 7130 7140 7150 7160 7170 7180 7190 7200 7210 7220 7230 7240 7250 7260 7270 7280 7290 7300 7310 7320 7330 7340 7350 7360 7370 7380 7390 7400 7410 7420 7430 7440 7450 7460 7470 7480 7490 7500 7510 7520 7530 7540 7550 7560 7570 7580 7590 7600 7610 7620 7630 7640 7650 7660 7670 7680 7690 7700 7710 7720 7730 7740 7750 7760 7770 7780 7790 7800 7810 7820 7830 7840 7850 7860 7870 7880 7890 7900 7910 7920 7930 7940 7950 7960 7970 7980 7990 8000 8010 8020 8030 8040 8050 8060 8070 8080 809

23

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Prikupljanje uzoraka tla i uzoraka topole provodilo se na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevac u Osijeku, slika 14. Diplomski rad je dio većeg istraživanja te su uzeti podaci lokaliteta gdje su uzorkovani klonovi topole (*Populus spp.*).



Slika 14. Karta sa naznačenom lokacijom rasadnika Višnjevac

3.1. Prvo uzorkovanje

Datum uzimanja uzoraka: 31. 5. 2017.

- **Klon: S1-8**
koordinate: 45° 34' 24" S; 18° 37' 22" I
Nadmorska visina terena: 90 m

- **Klon: M-1**

koordinate: 45° 34' 19" S; 18° 37' 44" I

Nadmorska visina terena: 90 m

- **Klon: PANONIA**

koordinate: 45° 34' 24" S; 18° 36' 58" I

Nadmorska visina terena: 90 m

Zapažanja: površina se redovito održava i okopava (posebno dok su sadnice manje), rasadnik je formiran tako da je nakon svaka tri reda ostavljen prolaz od 2,5 m za šprice za navodnjavanje koje se vrši svakodnevno. Teren neposredno prije uzorkovanja prikazan na slici 15.



Slika 15. Rasadnik Višnjevaca (31.05.2017.)

3.2. Drugo uzorkovanje

Datum uzimanja uzoraka: 4. 7. 2017.

- **Klon: S1-8**
koordinate: 45° 34' 23" S; 18° 37' 22" I
Nadmorska visina terena: 80 m
- **Klon: M-1**
koordinate: 45° 34' 23" S; 18° 36' 59" I
Nadmorska visina terena: 90 m
- **Klon: PANONIA**
- koordinate: 45° 34' 23" S; 18° 36' 59" I
Nadmorska visina terena: 90 m

Zapažanja: površina se redovito održava i okopava (posebno dok su sadnice manje), rasadnik je formiran tako da je nakon svaka tri reda ostavljen prolaz od 2,5 m za šprice za navodnjavanje koje se vrši svakodnevno. Stanje terena pri uzorkovanju prikazano slikom 16.



Slika 16. Rasadnik Višnjevaca (4.07.2017.)

3.3. Treće uzorkovanje

Datum uzimanja uzoraka: 19. 7. 2017.

- **Klon: S1-8**
koordinate: 45° 34' 23" S; 18° 37' 22" I
Nadmorska visina terena: 90 m
- **Klon: M-1**
koordinate: 45° 34' 23" S; 18° 37' 0" I
Nadmorska visina terena: 80 m
- **Klon: PANONIA**
koordinate: 45° 34' 23" S; 18° 36' 59" I
Nadmorska visina terena: 80 m

Zapažanja: površina se redovito održava i okopava (posebno dok su sadnice manje), rasadnik je formiran tako da je nakon svaka tri reda ostavljen prolaz od 2,5 m za šprice za navodnjavanje koje se vrši svakodnevno. Vršeno tretiranje protiv biljnih bolesti „DOMARK“. Rasadnik pri zadnjem uzorkovanju prikazan slikom 17., prikaz zatečenog stanja rasadnika.



Slika 17. Rasadnik Višnjevaca (19.07.2017.)

3.4. Klimatske karakteristike

Klima ima značajan utjecaj na životne prilike na Zemlji. Na klimu utječu brojni čimbenici: Sunčevo, Zemljino i atmosfersko zračenje, sastav atmosfere, oceanske i zračne struje, razdioba kopna i mora, nadmorska visina, postojanje vječnog leda na polovima i u visokim planinama, sva živa bića kao i djelovanje samog čovjeka [24].

Klimu Hrvatske određuje njezin položaj u sjevernim umjerenim širinama i pripadni klimatski procesi. Najvažniji čimbenik koji utječe na klimu područja Hrvatske su Jadransko i Sredozemno more, orografija Dinarida sa svojim oblikom, nadmorskom

visinom i položajem prema prevladavajućem strujanju, otvorenost sjeveroistočnih krajeva prema Panonskoj ravnici te biljni pokrov. Kontinentalna Hrvatska, kojoj pripada i područje Istočne Hrvatske, gdje su prikupljeni i naši uzorci, ima umjereno kontinentalnu klimu i cijele se godine nalazi u cirkulacijskom pojasu umjerenih širina, gdje je stanje atmosfere vrlo promjenjivo, obilježeno je raznolikošću vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine. Te promjene izazivaju putujući sustavi visokog ili niskog tlaka, često slični vrtlozima promjera više stotina i tisuća kilometara. Zimi prevladavaju stacionarni anticiklonalni tipovi vremena s čestom maglom ili niskim oblacima, s vrlo slabim strujanjem što predstavlja povoljne uvjete za stvaranje inja. Za proljeće su karakteristični brže pokretni ciklonalni tipovi vremena (ciklone i doline), što dovodi do čestih i naglih promjena vremena, izmjenjuju se oborinska razdoblja s bezoborinskima, tiha s vjetrovitima te hladnija s toplijima [25].

Temperatura zraka jedna je od najvažnijih klimatskih osobina i o njoj ovise procesi u prirodi i brojne ljudske djelatnosti. Godišnji hod temperature zraka utječe na vegetacijski ciklus. Temperatura zraka u pravilu se smanjuje s nadmorskom visinom, ali vertikalni gradijenti nisu u čitavoj Hrvatskoj jednaki, a mijenjaju se i s vremenom (godišnja doba, dijelovi dana). Promjena srednje godišnje temperature zraka s visinom najmanja je u kopnenom dijelu Hrvatske. Srednja godišnja temperatura zraka na području čitave Hrvatske kreće se u rasponu od 3°C na najvišim planinskim predjelima do 17°C uz samu obalu i na otocima srednje i južne Dalmacije zbog njihovog geografskog položaja i neposrednog utjecaja mora [24].

Oborine koje padnu na području Hrvatske posljedica su prolaska ciklona i s njima u vezi atmosferskih fronti u sklopu opće cirkulacije atmosfere. Hoće li pasti oborine i u kojoj količini ovisi o brojnim čimbenicima kao što je: vlažnost zračne mase te intenzitet i smjer zračne struje, ali i o vertikalnoj komponenti njezina gibanja, koju lokalni utjecaji mogu znatno modificirati. U kontinentalnom području Hrvatske godišnja količina oborina smanjuje se od zapada prema istoku jer vlažne zračne mase koje dolaze s jugozapada i zapada izgube vlagu dok dođu do tog područja, a one zračne mase koje dolaze sa sjeveroistoka i istoka, iz unutrašnjosti, suhe su pa ne daju obilne oborine. Srednja godišnja količina oborina na području Hrvatske u rasponu je od oko 300 mm do nešto iznad 3500 mm [24].

4. METODE RADA

4.1. Terensko prikupljanje uzoraka

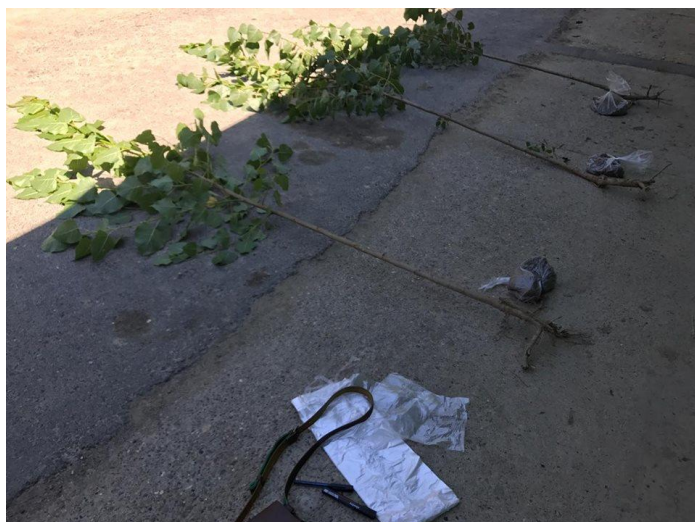
Prilikom terenskog rada sakupljeno je 9 uzoraka tla. Radi se o miješanim uzorcima tla. Na svakoj postaji tlo je uzeto s mjesta iskopa sadnice (tlo oko korijena). Uzorci tla su uzimani u gornjem sloju tla dubine od 10 do 50 cm.

Na lokalitetima su također uzeti i uzorci tri različita klona topola (*Populus* spp.) prilikom čega su reznice (sadnice) vađene iz tla s korijenom, prikazano slikom 18.



Slika 18. Prikaz iskopa jedne reznice

Prilikom uzorkovanja izmjereni su i opći podatci, kao što su visina, dužina korijena i prirast za svaki klon posebno, prikazano na slici 19.



Slika 19. Klonovi topole prije postavljanja u PVC vrećice

Klonovi su označeni bojama radi jednostavnijeg prepoznavanja, prikazano slikom 20.



Slika 20. Označeni klonovi topole

Uzorci tla i biljnog materijala su sakupljeni u PVC vrećice. Prilikom prikupljanja biljnog materijala razdvajao se drvenasti dio (korijen i stabljika) od lišća.

4.2. Priprema uzoraka

Tijekom pripreme uzoraka za analizu, uzorci tla i biljaka su osušeni na zraku u trajanju od oko 10-ak dana, potom su usitnjeni mljevenjem, prosijani da bi se dobila frakcija manja od 2 mm i homogenizirani, vidljivo na slici 21. Priprema uzoraka je provedena prema normi HRN ISO 11464 [26].



Slika 21. Prikaz sušenja uzoraka biljaka i tla

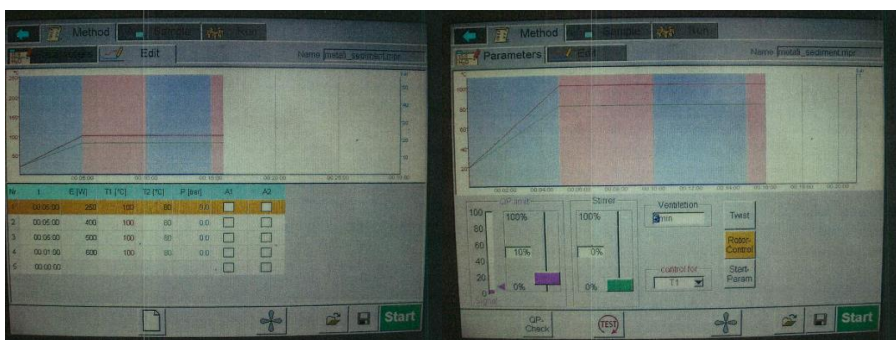
Osušeni uzorci se melju, prosijavaju i skladište na tamno mjesto (direktna sunčeva svjetlost dovodi do stvaranja kondenzacije unutar PVC vrećice te truljenja uzoraka lišća, što dovodi do promjene boje, a pretpostavlja se i samih svojstava) do laboratorijskih analiza, postupak prikazan na slici 22.



Slika 22. Prikaz mljevenja, pakiranja i skladištenja

Nakon što se uzorci posuše i usitne (homogeniziraju), važu se na digitalnoj analitičkoj vagi s 4 decimale. Uzima se reprezentativni uzorak za tlo i biljke koji iznosi 0,05 g. Zatim se uzorci stavljaju u kivete te se dodaje smjesa kiselina u uzorke biljki i tla, nakon čega se razgrađuju u 2 koraka.

Točnost kvantitativne multielementarne spektroskopske analize (AAS, AES, ICP ili ICP/MS) zavisi direktno od načina pripreme uzoraka, odnosno od uspješnosti digestije čvrstih uzoraka. Za uzorke se koristi smjesa od 3 mL HCl i 1 mL HNO₃ (zlatotopka), ukupni volumen smjese je iznosio 50 mL. Za razaranje korištena je super čista nitratna kiselina (suprapur) i kloridna kiselina (puriss). Za ubrzanje procesa i poboljšanje razgradnje koristi se mikrovalni digestor ETHOS SEL (Milestone) [27]. Napravljena je i slijepa proba, da se vidi doprinos metala u kemikalijama, odnosno koliko je mikrovalna prljava. Kivete su zatvarane odgovarajućim poklopcem, stavljane u omotače te pričvršćene prstenom i zaključavane imbus zavrtanjem momenta sile 10 Nm, kako bi se u svakoj kiveti uspostavio isti pritisak. Tako zaštićene kivete postavljene su u rotor unutar peći za mikrovalnu digestiju. Temperatura razgradnje vidljiva je na slici 23. prikaza rada mikrovalnog digestora. Svi dijelovi mikrovalnog digestora i oprema koja ide uz proces digestije napravljeni su od PTFE (politetrafluoroetilen, TEFLON™). Referentna temperaturna sonda je postavljena u najreaktivniji uzorak. Svi uzorci su bili iste vrste i zapremine, kako bi protok mikrovalova bio ravnomjeran kroz sve slojeve. Primijenjena energije mikrovalova ovisi o broju uzoraka koji se istovremeno rastvaraju. Rastvoreni materijal iz ohlađenih kiveta je kvantitativno prenesen i profiltriran u stakleno posude od 50 ml i dopunjen destiliranom vodom do crte [15].



Slika 23. Prikaz računalnog programa mikrovalnog digestora

Što se tiče samih mjerenja, ona su napravljena metodom induktivno vezane plazme s masenim spektrometrom (ICP-MS) na instrumentu Perkin Elmer Elan 9000, USA, Shelton, prema normi HRN EN ISO 17294 [28] - Primjena masene spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS)-2. dio: Određivanje 62 elementa. Prije samih mjerenja napravljeni su baždarni pravci za svaki metal pomoću Multielementarnih standardnih kalibracijskih otopina od proizvođača Perkin Elmer. Također, sva mjerenja su napravljena uz dodatak od 20 μ g/L Ge, Rh i Re kao unutarnjih standarada pri čemu se ista količina unutarnjeg standarda dodaje u svaki uzorak kao i u svaku kalibracijsku otopinu uključujući i slijepu probu. Svako mjerenje je napravljeno u triplikatu i za svako mjerenje je izračunato odstupanje odnosno standardna devijacija.

4.3. Laboratorijske analize

Priprema i razgradnja uzorka provedene su u Laboratoriju Zavoda za javno zdravstvo Andrija Štampar u Zagrebu (u suradnji s Hrvatskim vodama). Određivanje teških metala u uzorcima tla i biljnog materijala provedeno je u laboratoriju Hrvatskih voda u Zagrebu, prikazan na slici 24.



Slika 24. Laboratorij Hrvatskih voda u Zagrebu

4.3.1. Zlatotopka

Metoda ekstrakcije teških metala zlatotopkom provodila se na uzorcima tla koji sadrže manje od 20% organskog ugljika, prema normi HRN ISO 11466 [29]. Zlatotopka ne otapa u potpunosti sva tla što ovisi o podrijetlu tla i udjelu različitih tvari u njemu. Efikasnost ekstrakcije razlikuje se od elementa do elementa te se zato ekstrakcija zlatotopkom ne može opisati kao totalna[15].

4.3.2. Mikrovalna digestija

Digestija predstavlja mineralizaciju čvrste mase i njegove razgradnje. Brza i točna priprema uzoraka uvijek predstavlja analitički izazov.

Digestija potpomognuta mikrovalovima (eng. microwave assisted digestion) ima prednost kod određivanja Hg, As i Cd, smanjuje potrošnju kiseline, vrijeme digestije kao i kontaminaciju uzoraka iz okoline, ali i uzajamnu kontaminaciju od drugih uzoraka koji se simultano procesuiraju. Najvažnija prednost digestije potpomognute mikrovalovima je što omogućavaju razvijanje temperature digestije daleko veće nego što su točke ključanja datih kiselina što dodatno ubrzava digestiju. Ove metode su reproduktivne i dostupne u velikom broju znanstvenih radova [15].

Mikrovalni digestor korišten u ovom istraživanju je ETHOS SEL (Milestone), njegov prikaz se nalazi na slici 25. Milestoneova tehnika kombinira mikrovalno zagrijavanje i magnetsko miješanje ekstrakcijskog otapala unutar višestrukih posuda za uzorke. Agitacija osigurava homogeno miješanje faza i ravnomjernu raspodjelu temperature tijekom ekstrakcijskih smjesa. Mikrovalna ekstrakcija izvedena uz miješanje obično daje veću količinu analita nego što je postignuta u statičkim posudama. Čiste nepolarne otopine (tj. N-heksan) mogu se zagrijavati na niskim razinama mikrovalne snage pomoću magnetskih šipki za miješanje izrađene od Milestoneovog vlasničkog fluoropolimernog Weflon. Ovaj kemijski inertni fluoropolimer apsorbira mikrovalnu energiju, zagrijavanjem nepolarnih mikrovalnih prozirnih otapala koja omogućuju postupke ekstrakcije mikrovalovima bez

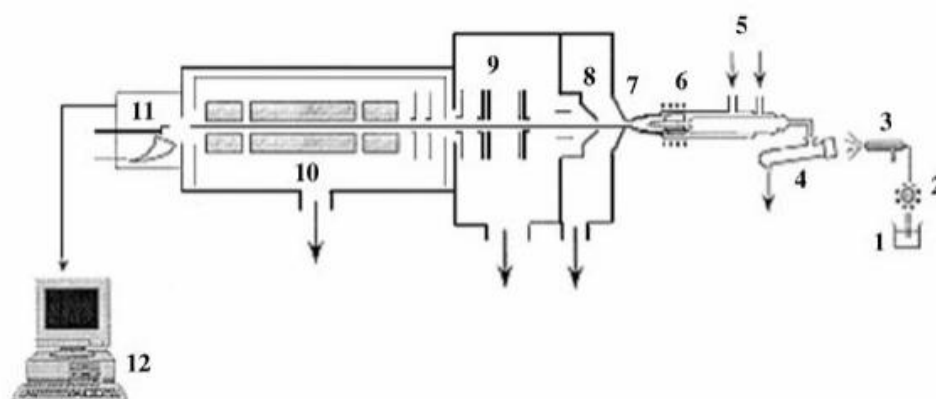
dodavanja polarnih kootapala. Time se konvencionalnim metodama ekstrakcije pretvaraju u mikrovalne metode bez promjene u sastavu otapala [27].



Slika 25. Mikrovalni digestor ETHOS SEL (Milestone)

4.3.3. Maseni spektrometar ICP – MS

ICP-MS je tehnika u kojoj se kao ionizacijski izvor koristi induktivno spregnuta plazma, a za detekciju nastalih iona koristi se maseni spektrometar, detaljnije prikazana na slici 26. sa najvažnijim komponentama. Danas su dostupni ICP-MS instrumenti različitog dizajna koji imaju slične komponente: raspršivač, komora za sprejanje, baklja i detektor, ali mogu se značajno razlikovati u dizajnu sučelja, instrumentu za odvajanje masa i vakuumskoj komori. Instrument korišten u našem ispitivanju je prikazan na slici 27.



Slika 26. Shematski prikaz ICP-MS instrumenta: 1 – tekući uzorak, 2 – pumpa, 3 – raspršivač, 4 – komora za sprejanje, 5 – ulazi za plin argon u baklju, 6 – baklja, 7 – prvi konus (sampler cone), 8 – drugi konus (skimmer cone), 9 – ionske leće, 10 – kvadrupolni maseni analizator, 11 – detektor multiplikator elektrona, 12 – skupljanje podataka [14]

Uglavnom korišteni plin za plazmu je argon uz temperaturu plazme od 6000 do 10000K, prikladno za ionizaciju i ekscitaciju većine elemenata. Kvarcna baklja se sastoji od tri koncentrične cijevi u koje se uvode različiti protoci argona. Kada se uzorci uvode u plazmu prolaze faze desolvacije, isparavanja, atomizacije i ionizacije prije nego uđu u maseni spektrometar. Nastali ioni se ekstrahiraju u sučelje masenog spektrometra kroz prvi i drugi konus koji su najčešće načinjeni od nikla. Nakon toga ioni se fokusiraju pomoću niza ionskih leća u maseni analizator. Pozitivno nabijeni ioni se razdvajaju na temelju njihovih omjera masa/naboj, a detektiraju se upotrebom multiplikatora elektrona [30].



Slika 27. Prikaz uređaja ICP ELAN 9000 iz laboratorija Hrvatskih voda u Zagrebu

Prednosti ICP-MS

Brza i učinkovita multielementarna analiza čini ovu tehniku poželjnom za analizu metalnih onečišćenja. ICP-MS daje informaciju i o izotopima što je bitno jer je ponekad nužna potpuna karakterizacija elemenata. Rezultati ispitivanja ICP-MS se lako analiziraju i daju jednostavniji spektar. Brzina analize je također prednost ove metode, s obzirom da mjerenje cijelog skupa elemenata traje nekoliko minuta. Prednost je vrlo niska granica detekcije i pokrivanje širokog raspona elemenata [31].

Nedostatci ICP-MS

Nedostatak ICP-MS je taj da ne može detektirati neutralne čestice. Glavni nedostatak ICP-MS je visoka cijena uređaja, kao i potrebno veliko znanje za korištenje zbog kojeg još nije u rutinskoj uporabi. ICP-MS zahtijeva vakuumsku pumpu i ionske leće s kojima se većina analitičara ne koristi u dovoljnoj mjeri [31].

4.3.4. Izračunavanje fitoakumulacijskog koeficijenta

Bioakumulacijski ili fitoakumulacijski koeficijent [32] je odnos između koncentracije teških metala u biljkama i tlu te on prikazuje sposobnost fitoakumulacije teških metala.

Bioakumulacijski ili fitoakumulacijski koeficijent (BAF) izračunat je kao odnos koncentracija teških metala za biljnu vrstu maslačak i koncentracija ispitivanih teških metala u tlu prema formuli:

$BAF = \text{koncentracija suha biljka} / \text{koncentracija suho tlo}$ [32].

5. REZULTATI

5.1. Terenska mjerenja

Prikupljanjem uzoraka na terenu napravljena su mjerenja visine reznica, duljine korijena i prirasta. Rezultati su prikazani u Tablici 1. Svi rezultati izraženi su u centimetrima.

Tablica 1. Rezultati terenskih mjerenja

KLON	I. UZORKOVANJE (cm)			II. UZORKOVANJE (cm)			III. UZORKOVANJE (cm)		
	korijen	drvo	prirast	korijen	drvo	prirast	korijen	drvo	prirast
S1-8	50	205	86,5	40	290	156	35	320	182
M-1	60	250	35	40	300	104	60	280	90
PANONIA	45	245	21,5	60	242	97	35	290	127

Iz Tablice 1. vidljivo je kako najbolji prirast ima klon S1-8, dobiven iz *Populus deltoides* (Marshall). S obzirom da navedeni klon još uvijek nije dovoljno istražen na našem području, svaka nova informacija o njemu je dobrodošla.

Nakon uzorkovanja i sušenja uzoraka, isti su prosijani i izvagani. Rezultati vaganja nalaze se u Tablicama P1-I-1 i P1-I-2. iz priloga 1., pod brojevima uzorka kako će se spominjati u daljnjem tekstu.

5.2. Teški metali u tlu i vrijednosti MDK

Laboratorijskim analizama dobivene su vrijednosti 13 teških metala u tlu na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevaca, pokraj Osijeka. Vrijednosti su prikazane u Prilogu 2. Napravljena je druga priprema uzorka 9, u svrhu provjere veličine odstupanja i provjere.

U tablici 2. prikazani su rezultati vrijednosti teških metala u tlu, rezultati u sljedećoj tablici su pregledniji, ali navedene vrijednosti su samo srednja vrijednost, bez moguće pogreške instrumenta.

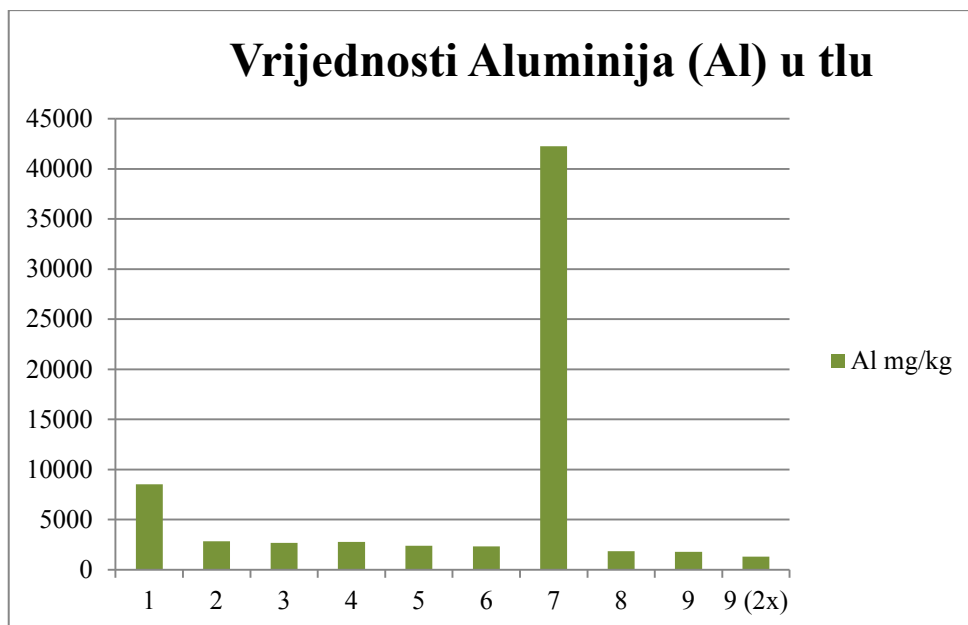
Tablica 2. Prikaz rezultata razina teških metala u tlu

Uzorak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9 (2x)
Al mg/kg	8509	2826	2662	2762	2376	2327	42250	1834	1786	1319
B mg/kg	1,19	0,940	0,700	0,728	0,921	0,765	1,03	0,572	0,536	0,414
Ba mg/kg	103	68,9	61,2	57,9	54,1	48,7	42,2	40,8	39,7	31,3
Cd mg/kg	0,202	0,172	0,148	0,141	0,126	0,128	0,083	0,109	0,112	0,083
Co mg/kg	5,23	4,61	4,13	3,90	3,64	3,68	2,83	3,23	3,12	2,35
Cu mg/kg	8,03	7,17	6,51	5,56	5,29	5,55	3,40	4,78	4,62	3,41
Fe mg/kg	14710	12833	11736	11348	10510	10323	9189	9008	8660	6547
Cr mg/kg	62,0	14,1	13,3	14,0	13,3	13,8	13,3	12,6	13,1	12,9
Mn mg/kg	359	297	267	254	238	236	217	200	193	145
Mo mg/kg	1,26	0,578	0,482	0,448	0,412	0,418	0,132	0,362	0,346	0,261
Ni mg/kg	26,2	11,1	9,80	9,36	9,06	8,80	7,29	8,06	7,83	5,83
Pb mg/kg	59,6	42,7	37,5	31,5	27,9	28,1	16,2	24,2	24,5	17,9
Zn mg/kg	32,6	31,5	29,1	27,0	23,8	25,6	15,7	20,3	20,1	14,7

Iz Tablice 2. u kojoj su prikazane vrijednosti 13 teških metala u tlu na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevac vidljivo je sljedeće:

Aluminij (Al):

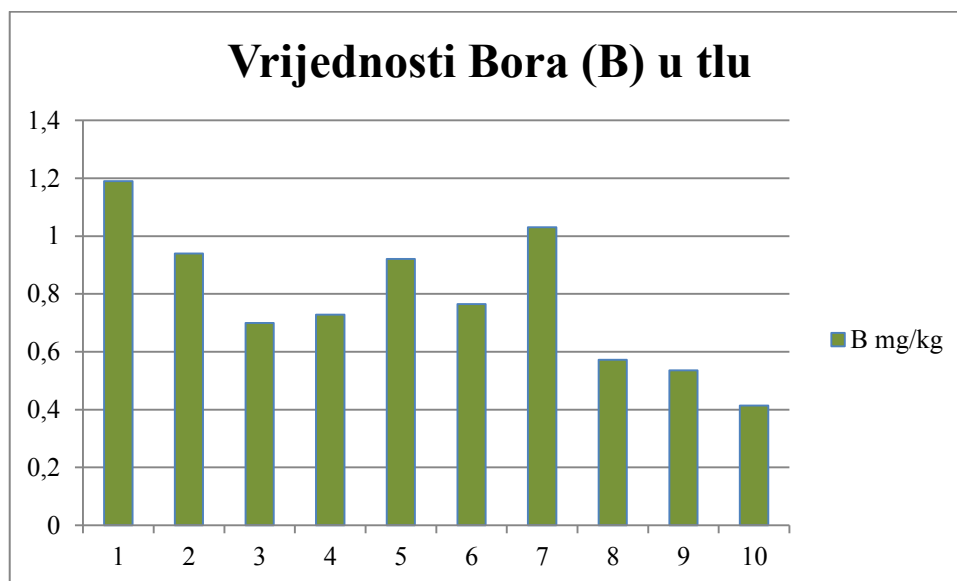
- vrijednosti se kreću u rasponu od 1319 do 42250 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona S1-8, dok tlo kod zadnjeg testiranja S1-8 (19.7.2017.) pokazuje znatno bolje rezultate, slika 28.



Slika 28. Grafički prikaz vrijednosti Aluminija (Al) u tlu

Bor (B)

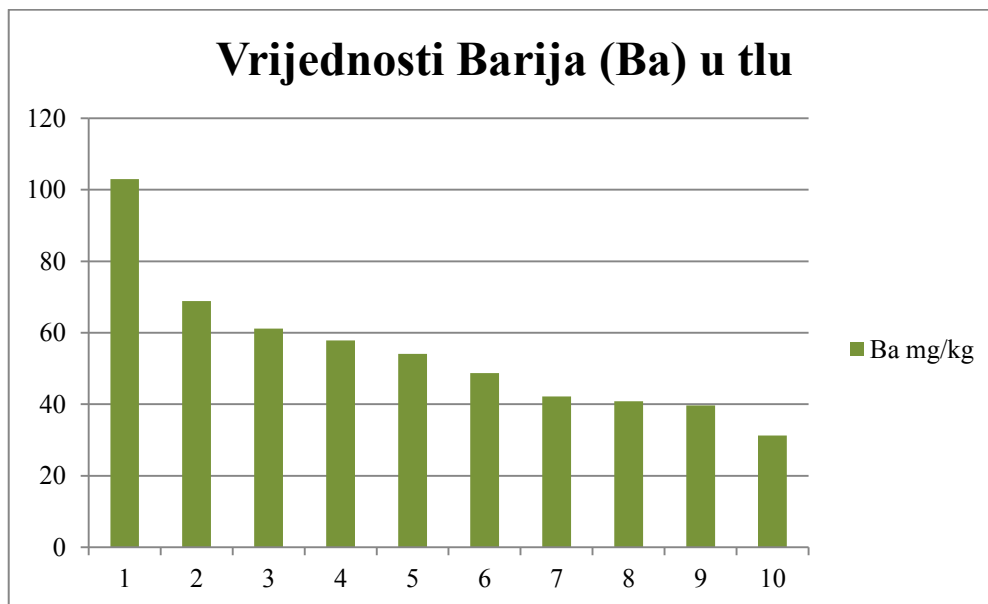
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,414 do 1,19 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.), prikazano grafički na slici 29.



Slika 29. Grafički prikaz vrijednosti bora (B) u tlu

Barij (Ba)

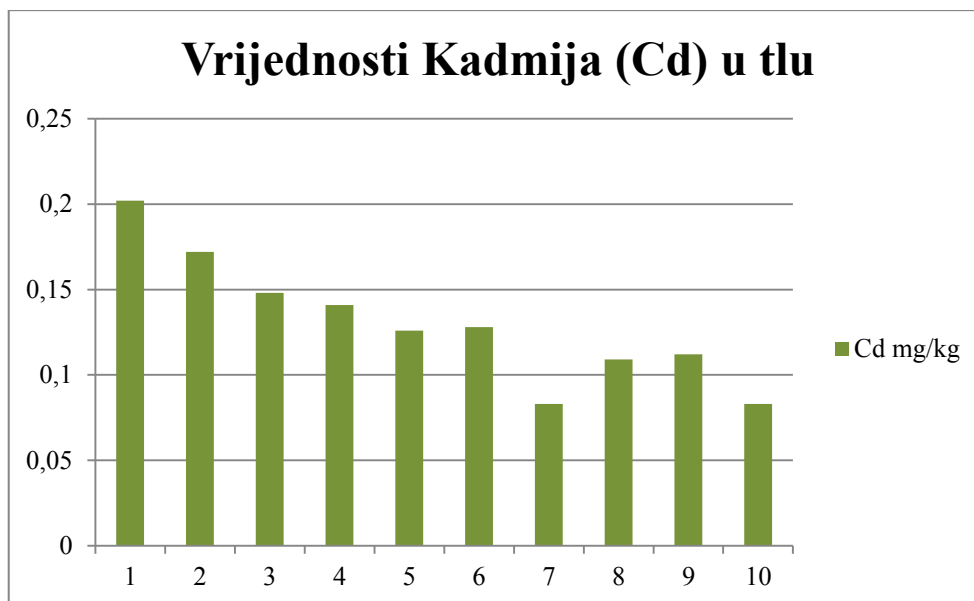
- vrijednosti se kreću u rasponu od 31,3 do 103 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.), grafički prikazano na slici 30.



Slika 30. Grafički prikaz vrijednosti barija (Ba) u tlu

Kadmij (Cd)

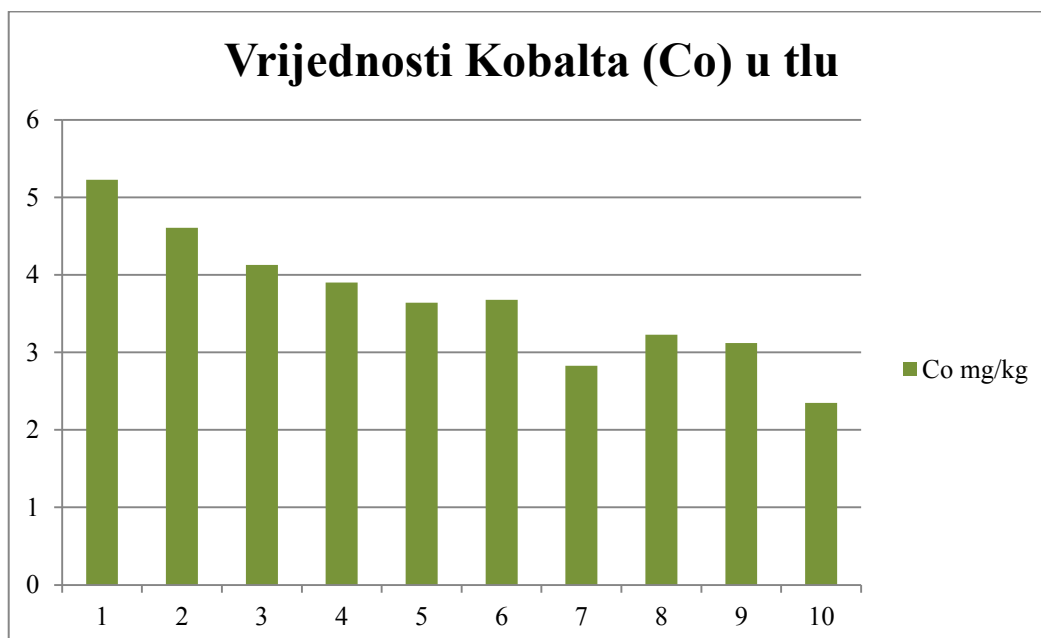
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,083 do 0,202 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (31.5.2017.), vrijednosti grafički prikazane na slici 31.



Slika 31. Grafički prikaz vrijednosti kadmija (Cd) u tlu

Kobalt (Co)

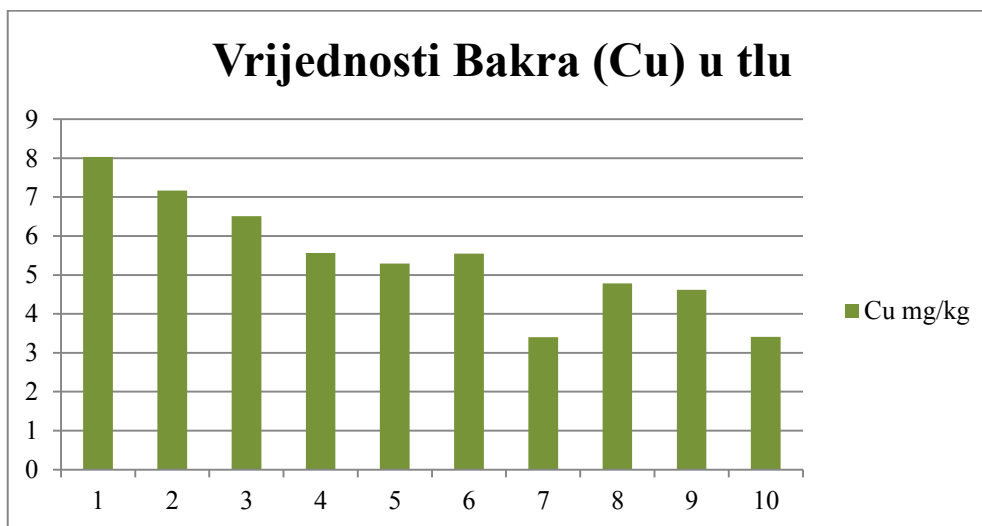
- vrijednosti se kreću u rasponu od 2,35 do 5,23 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.), vrijednosti su grafički prikazane slikom 32.



Slika 32. Grafički prikaz vrijednosti Kobalta (Co) u tlu

Bakar (Cu)

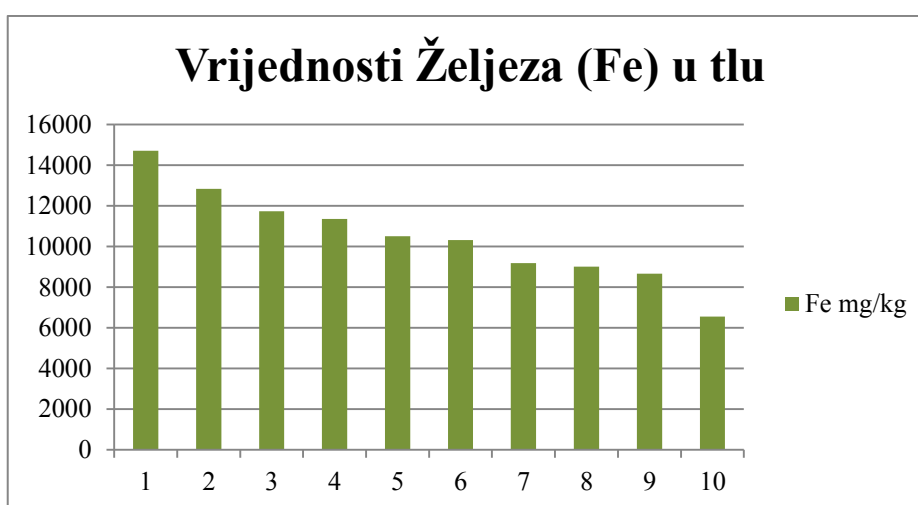
- vrijednosti se kreću u rasponu od 3,40 do 8,03 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (31.5.2017.), slika 33. grafički prikaz.



Slika 33. Grafički prikaz vrijednosti bakra (Cu) u tlu

Željezo (Fe)

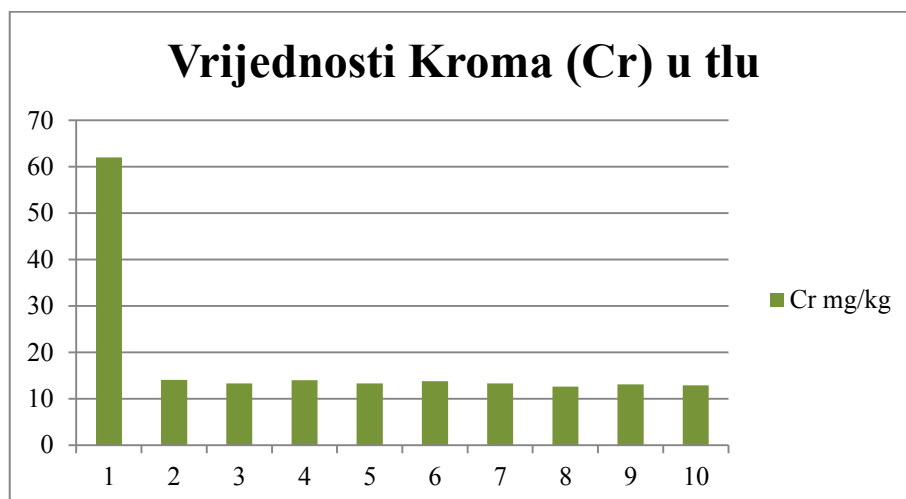
- vrijednosti se kreću u rasponu od 6547 do 14710 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.), grafički prikaz vrijednosti na slici 34.



Slika 34. Grafički prikaz vrijednosti željeza (Fe) u tlu

Krom (Cr)

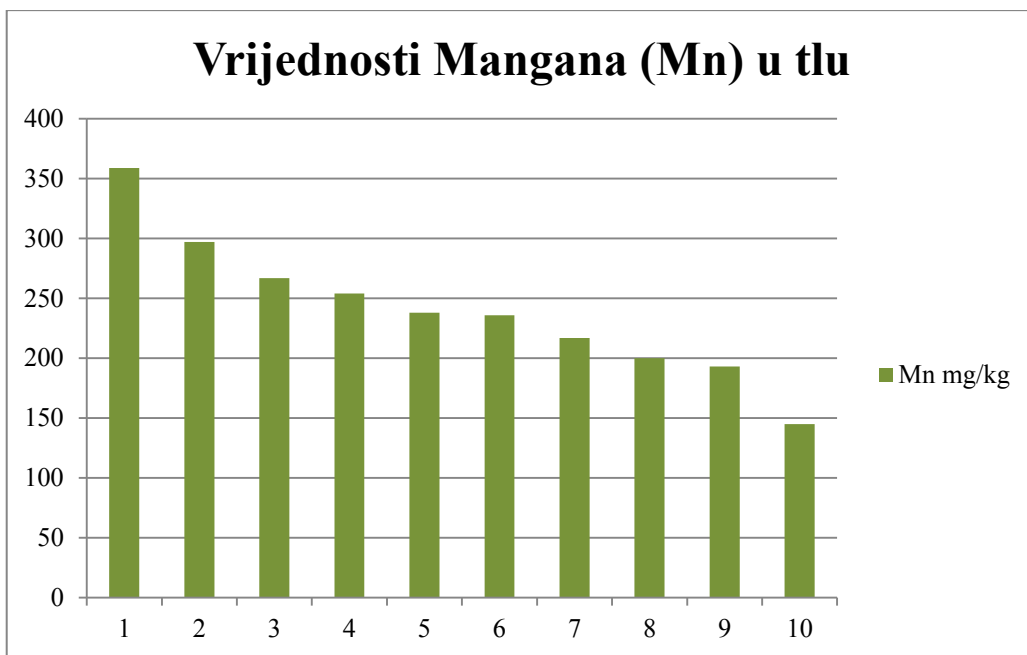
- vrijednosti se kreću u rasponu od 12,6 do 62,0 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (4.7.2017.), vrijednosti grafički prikazane na slici 35.



Slika 35. Grafički prikaz vrijednosti krom (Cr) u tlu

Mangan (Mn)

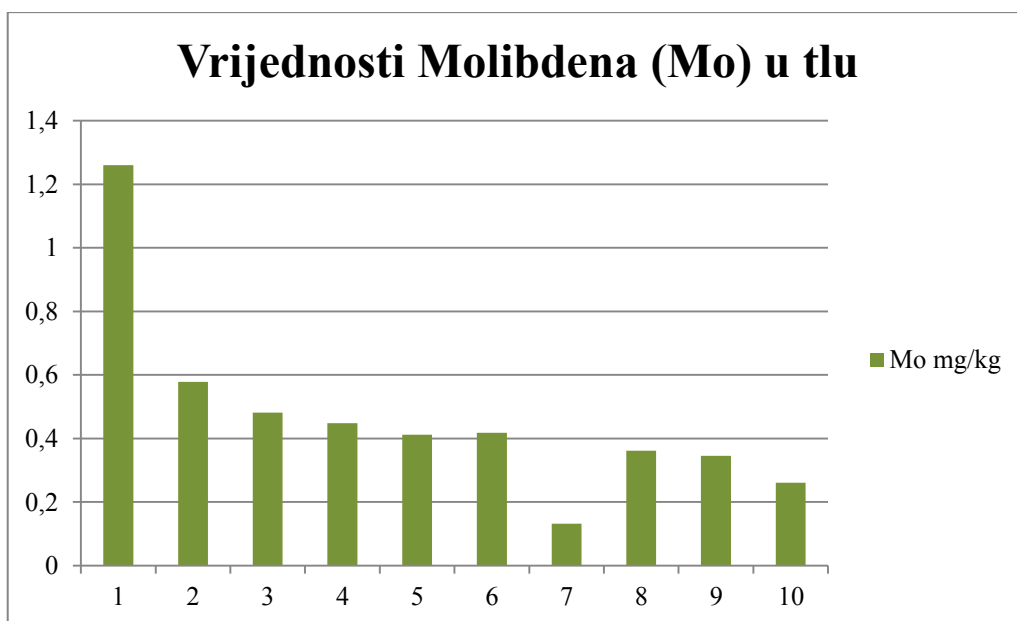
- vrijednosti se kreću u rasponu od 145 do 359 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (31.5.2017.), vrijednosti su prikazane grafom na slici 36.



Slika 36. Grafički prikaz vrijednosti mangana (Mn) u tlu

Molibden (Mo)

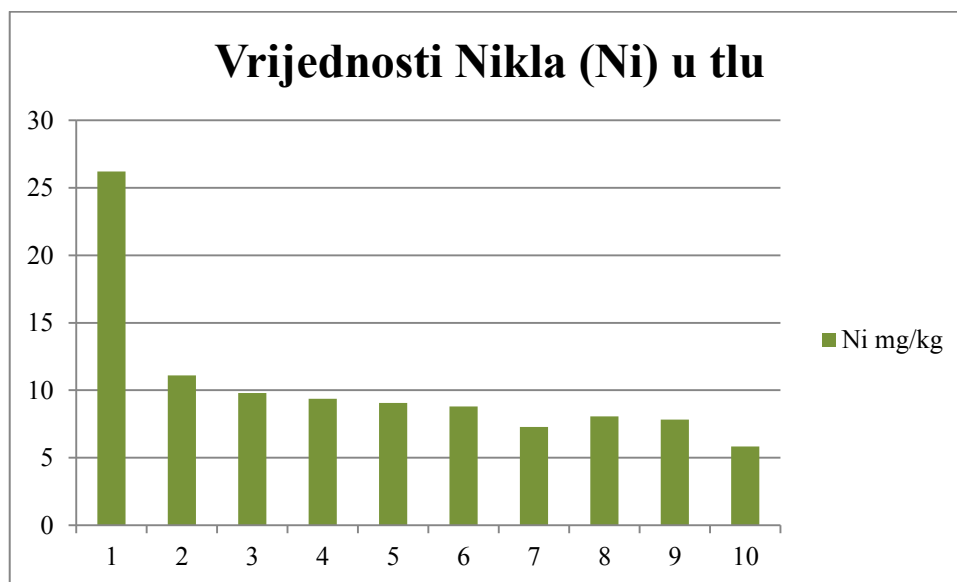
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,132 do 1,26 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.), slika 37. grafički prikaz vrijednosti.



Slika 37. Grafički prikaz vrijednosti molibdena (Mo) u tlu

Nikal (Ni)

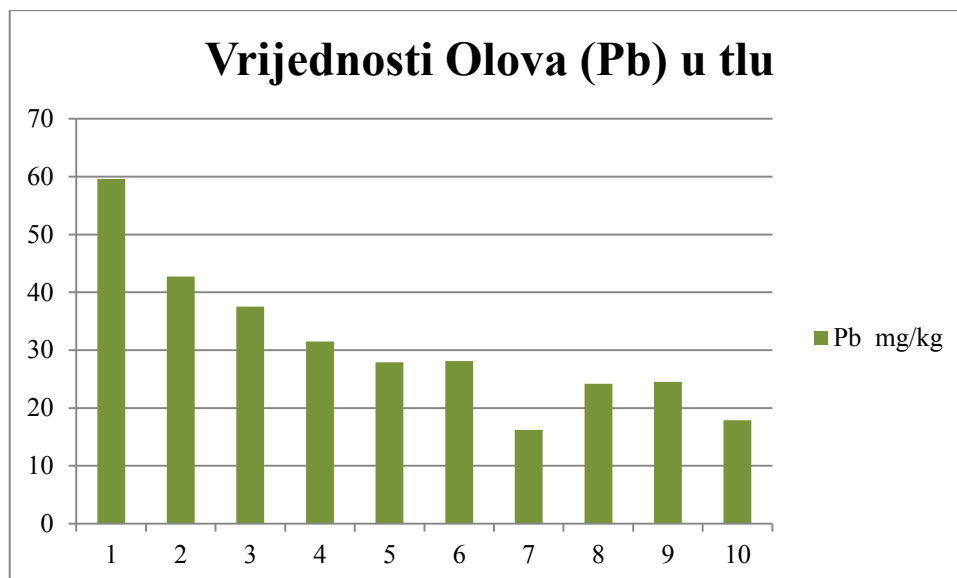
- vrijednosti se kreću u rasponu od 5,83 do 26,2 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.) slika 38. prikazuje grafički vrijednosti.



Slika 38. Grafički prikaz vrijednosti Nikla (Ni) u tlu

Olovo (Pb)

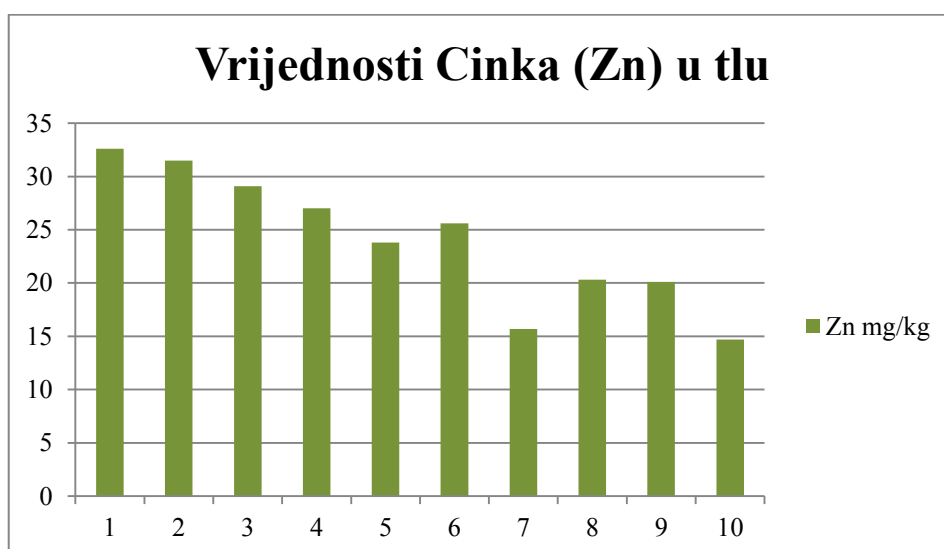
- vrijednosti se kreću u rasponu od 17,9 do 59,6 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.) kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.), vrijednosti grafički prikazane slikom 39.



Slika 39. Grafički prikaz vrijednosti olova (Pb) u tlu

Cink (Zn)

- vrijednosti se kreću u rasponu od 14,7 do 32,6 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.), slika 40. prikaz grafa sa vrijednostima.



Slika 40. Grafički prikaz vrijednosti cinka (Zn) u tlu

Maksimalno dopuštene količine (MDK)

Maksimalno dopuštene količine su one količine teških metala čije se prekoračenje smatra ugrožavajućim za okoliš, a samim tim i ljude. One ovise o tipu tla, zbog različitih sposobnosti i strukture samih tala.

Poljoprivredno zemljište smatra se onečišćenim kada sadrži više teških metala i potencijalno onečišćujućih elemenata od maksimalno dopuštenih količina (MDK), izraženo u mg kg^{-1} , prikazanih u Tablici 3.

Tablica 3. Maksimalno dopuštene količine kadmija u tlu (Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja) [32]

mg kg^{-1}	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Pjeskovito tlo	0,0-0,5	0-40	0-60	0-30	0-50	0-60
Praškasto – ilovasto tlo	0,5-1,0	40-80	60-90	30-50	50-100	60-150
Glinasto tlo	1,0-2,0	80-120	90-120	50-75	100-150	150-200

U Tablici 4. su prikazani rezultati MDK u uzorcima tla temeljem propisanih MDK-a vrijednosti iz tablice 3. za praškasto tlo, koje su odabrane prema vrsti tla na ispitanom području. Dobiveni rezultati su međusobno uspoređeni kako bi se utvrdilo moguće odstupanje.

Tablica 4. MDK teških metala u tlu

mg kg ⁻¹		Uzorak									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	9 (2x)
Cd	0,5-1,0	0,202	0,172	0,148	0,141	0,126	0,128	0,083	0,109	0,112	0,083
Cr	40-80	62	14,1	13,3	14	13,3	13,8	13,3	12,6	13,1	12,9
Cu	60-90	8,03	7,17	6,51	5,56	5,29	5,55	3,4	4,78	4,62	3,41
Ni	30-50	26,2	11,1	9,8	9,36	9,06	8,8	7,29	8,06	7,83	5,83
Pb	50-100	59,6	42,7	37,5	31,5	27,9	28,1	16,2	24,2	24,5	17,9
Zn	60-150	32,6	31,5	29,1	27	23,8	25,6	15,7	20,3	20,1	14,7

Nije zabilježeno prekoračenje MDK niti na jednom lokalitetu. Laboratorijskim analizama dobivene su vrijednosti 13 teških metala u tri različita klona topole (*Populus spp.*) na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevac, pokraj Osijeka. Vrijednosti su prikazane u Prilogu 3. Napravljena je druga priprema uzorka 27, kao i kod uzoraka tla, u svrhu provjere veličine odstupanja i provjeru.

5.3. Teški metali u topolama i vrijednosti BAF-a

U tablici 5. prikazani su rezultati vrijednosti teških metala u uzorcima klonova topole, prikazane su samo srednje vrijednosti.

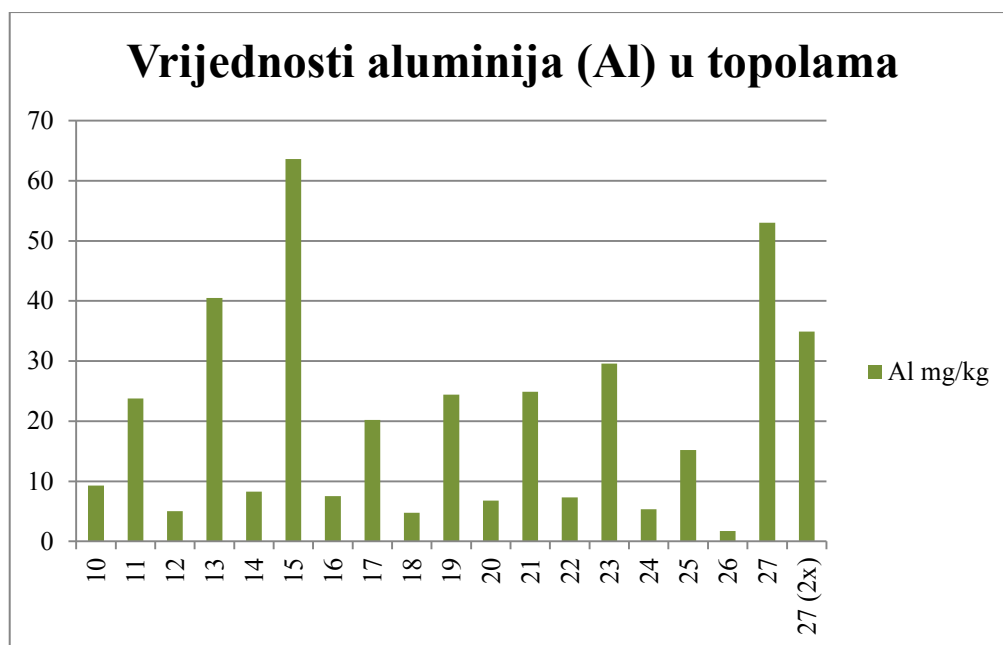
Tablica 5. Prikaz rezultata razina teških metala u klonovima topola (Populus spp.), koji su korišteni u daljnjim računanjima

Uzorak	Al	B	Ba	Cd	Co	Cu	Fe	Cr	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
	mg/kg												
10	9,31	0,194	5,52	1,53	0,22	2,89	120	43	14,7	0,385	8,86	0,168	47,7
11	23,8	1,08	3,24	0,525	0,103	2,12	130	39,1	4,05	0,216	5,24	0,402	6,21
12	5,02	2,12	5,57	0,697	0,09	1,8	25,8	1,2	6,16	0,343	0,804	0,114	21,2
13	40,5	1,72	4,02	0,55	152	2,56	171	28,3	4,9	0,369	4,55	0,516	7,15
14	8,3	2,53	6,28	0,85	0,102	1,95	37,8	0,929	6,79	0,433	0,929	0,175	31,5
15	63,6	1,79	6,14	0,543	0,105	2,92	192	3,13	5,48	0,08	0,696	0,709	11,7
16	7,53	1,74	3,91	0,496	0,081	1,68	39,2	1,78	7,96	0,134	0,84	0,184	12,8±
17	20,2	0,903	1,71	0,207	0,102	1,73	95,5	21,9	2,46	0,289	3,25	0,329	2,61
18	4,75	1,92	4,73	0,665	0,084	1,5	23,8	1,09	9	0,423	0,375	0,116	17,9
19	24,4	1,2	3,31	0,456	0,108	1,89	114	17,9	4,21	0,246	2,71	0,426	6,6
20	6,76	1,87	4,51	0,781	0,105	2,26	31,6	1,51	10,6	0,374	0,498	0,154	24
21	24,9	1,12	3,22	0,355	0,086	2,52	124	35,7	4,32	0,176	4,74	0,342	6,9
22	7,3	3,63	4,52	0,656	0,169	2,35	35,2	2,19	15,4	0,264	1,1	0,122	10,6
23	29,6	1,23	2,9	0,338	0,173	3,57	156	40,5	5,36	0,44	5,55	0,422	7,04
24	5,34	2,66	3,71	0,972	0,125	1,5	18	1,04	7,42	0,24	0,684	0,12	35,3
25	15,2	0,807	2,06	0,4	0,069	1,37	64	15,9	2,1	0,186	2,07	0,255	7,38
26	1,7	1,6	1,11	0,259	0,036	0,679	7,38	0,707	1,9	0,036	0,287	0,1	14,4
27	53	1,22	4,07	0,417	0,078	2,93	145	3,30±	4,08	0,075	0,527	0,6	11,1
27 (2x)	34,9	1	3,28	0,371	0,061	2,43	113	2,85	3,26	0,072	0,52	0,504	10,2

Iz Tablice 5. u kojoj su prikazane vrijednosti 13 teških metala uzorcima Topola (*Populus spp.*) na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevac vidljivo je sljedeće:

Aluminij (Al):

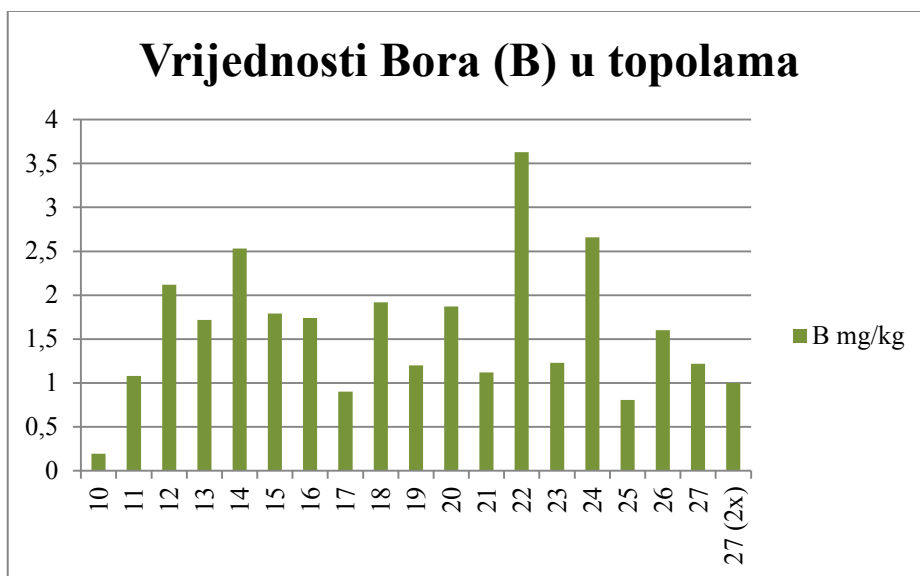
- vrijednosti se kreću u rasponu od 1,7 do 63,6 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 3. uzorkovanju (19.7.2017.), kod klona M-1 u uzorcima stabljike i korijena, dok najmanja kod klona S1-8 (19.7.2017.) u uzorku lišća, grafički prikaz vrijednosti aluminija u topolama prikazan slikom 41.



Slika 41. Grafički prikaz vrijednosti aluminija (Al) u uzorcima topole

Bor (B)

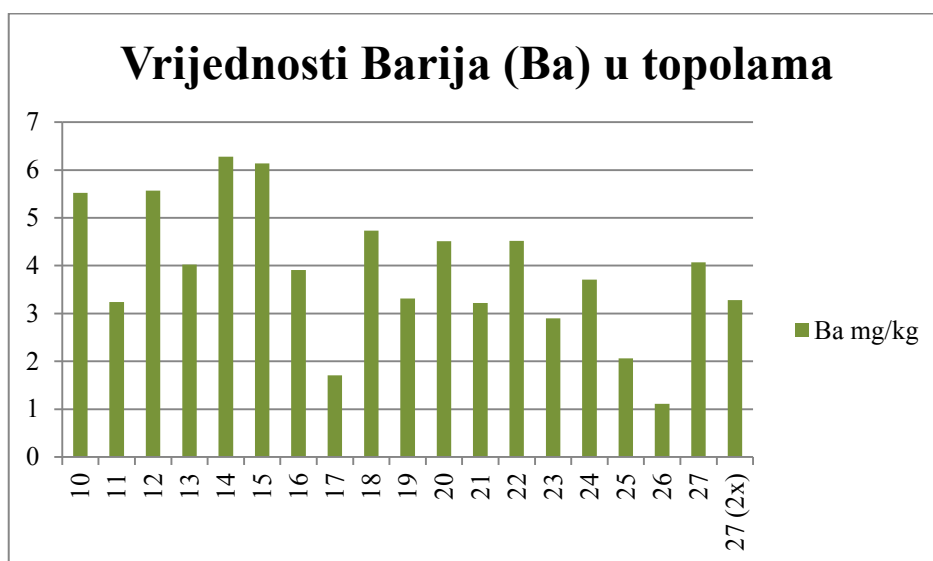
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,194 do 3,36 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona S1-8 u uzorku lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona M-1 (19.7.2017.) u uzorku lišća, slika 42. prikazuje grafički vrijednosti bora u topolama..



Slika 42. Grafički prikaz vrijednosti bora (B) u uzorcima topole

Barij (Ba)

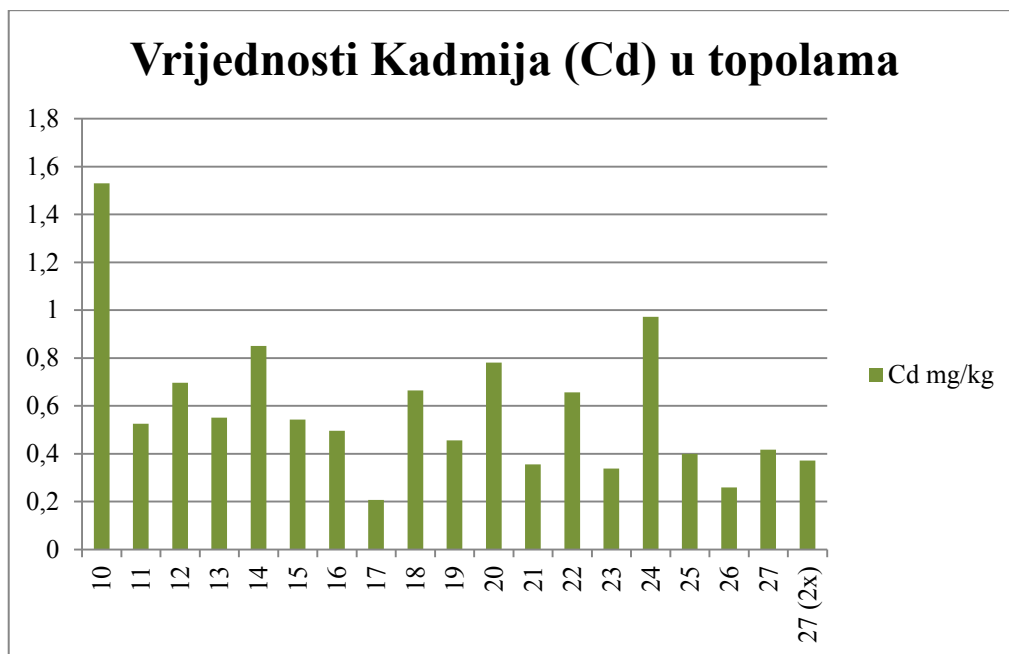
- vrijednosti se kreću u rasponu od 1,11 do 6,28 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 3. uzorkovanju (19.7.2017.), kod klona M-1 u uzorku lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.) u uzorcima lišća, slika 43. grafički prikaz vrijednosti barija u topolama.



Slika 43. Grafički prikaz vrijednosti barija (Ba) u uzorcima topole

Kadmij (Cd)

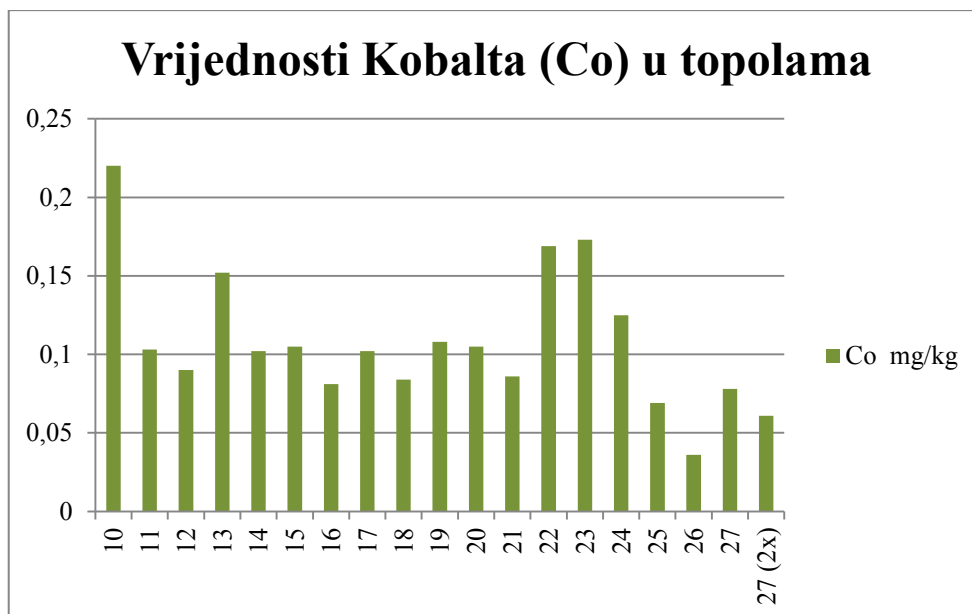
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,4 do 1,53 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1 u uzorcima lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona PANONIA (31.5.2017.) u uzorcima stabljike i korijena, grafički prikaz rezultata prikazan je na slici 44.



Slika 44. Grafički prikaz vrijednosti kadmija (Cd) u uzorcima topole

Kobalt (Co)

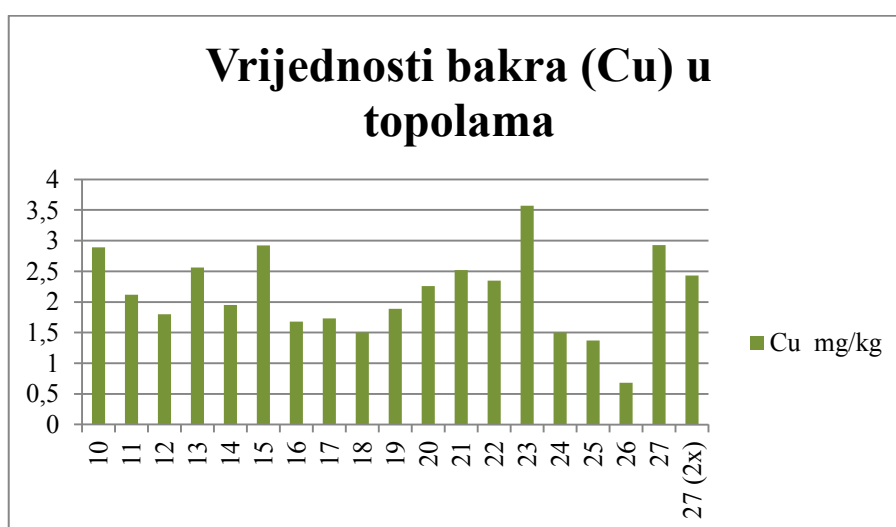
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,036 do 0,152 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1 u uzorcima lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.) u uzorcima lišća, grafički prikaz je vidljiv iz slike 45.



Slika 45. Grafički prikaz vrijednosti kobalta (Co) u uzorcima topole

Bakar (Cu)

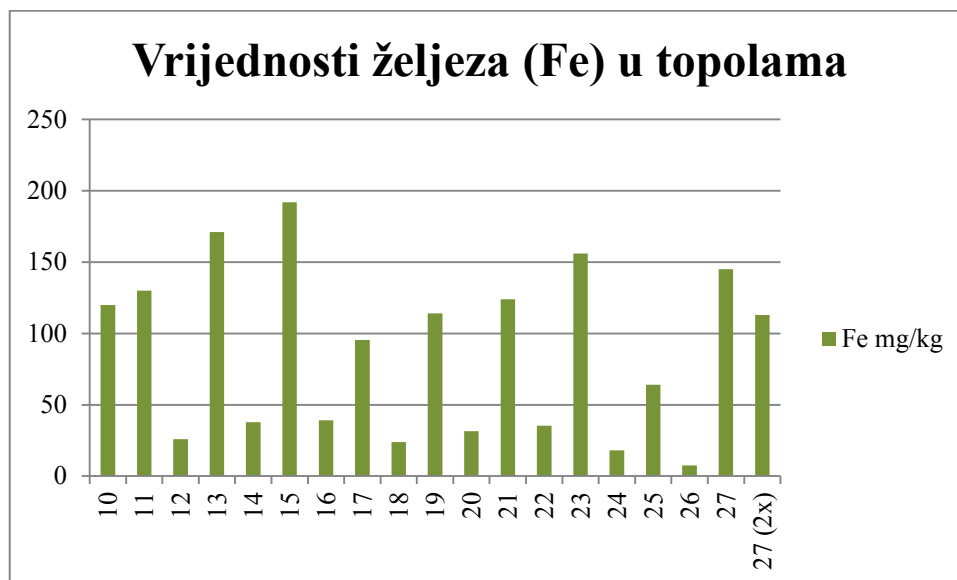
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,679 do 3,57 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona S1-8 u uzorcima stabljike i korijena, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (31.5.2017.) u uzorcima lišća, vrijednosti bakra u topolama prikazane grafički na slici 46.



Slika 46. Grafički prikaz vrijednosti bakra (Cu) u uzorcima topole

Željezo (Fe)

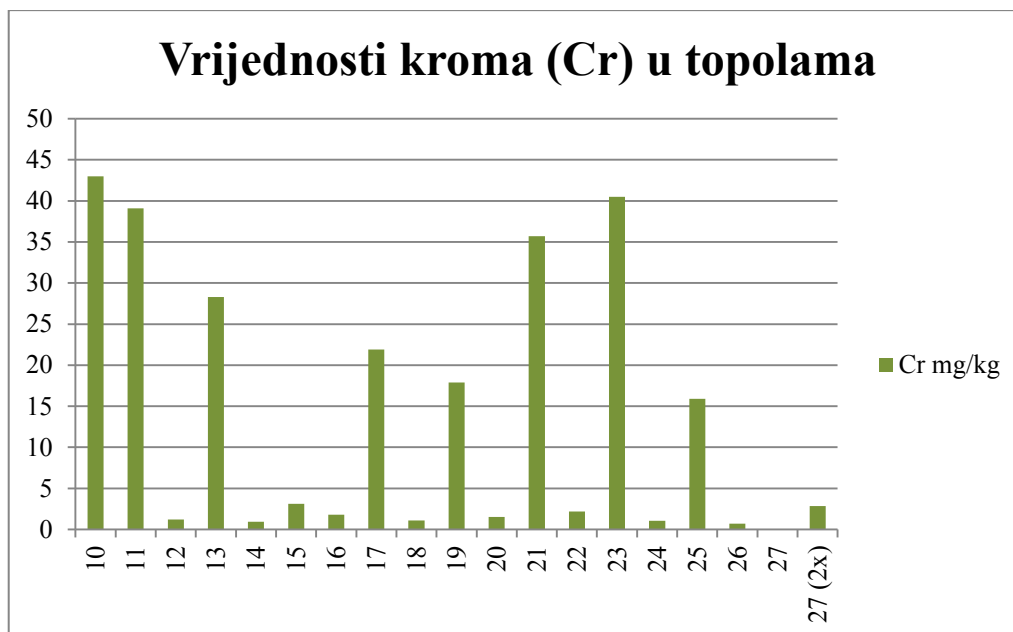
- vrijednosti se kreću u rasponu od 7,38 do 192 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u III. uzorkovanju (19.7.2017.), kod klona M-1 u uzorcima stabljike i korijena, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (31.5.2017.) u uzorcima lišća, slikom 47. su prikazane grafički vrijednosti željeza u topolama.



Slika 47. Grafički prikaz vrijednosti željeza (Fe) u uzorcima topole

Krom (Cr)

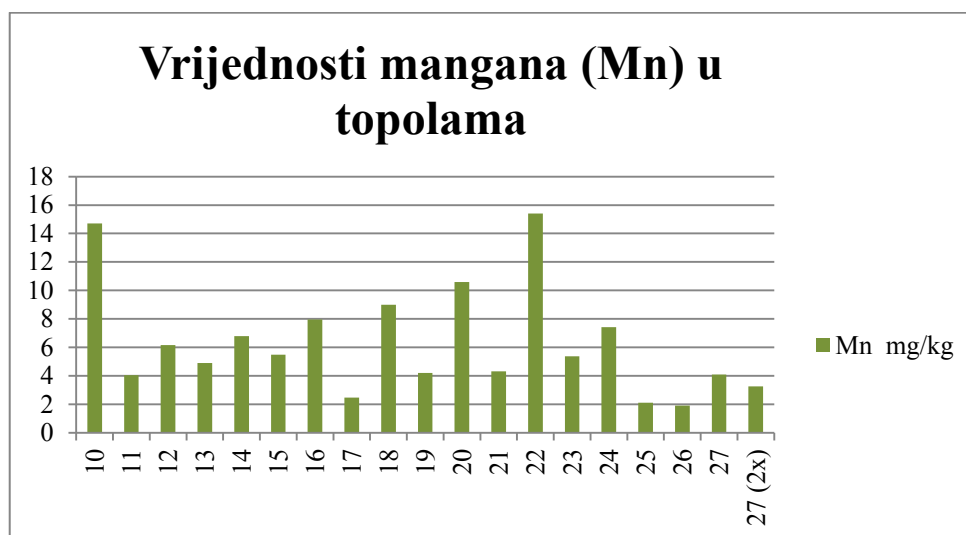
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,707 do 43 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 1. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1 u uzorcima lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.) u uzorcima stabljike i korijena, slika 48. prikazuje grafički vrijednosti kroma u topolama.



Slika 48. Grafički prikaz vrijednosti krom (Cr) u uzorcima topole

Mangan (Mn)

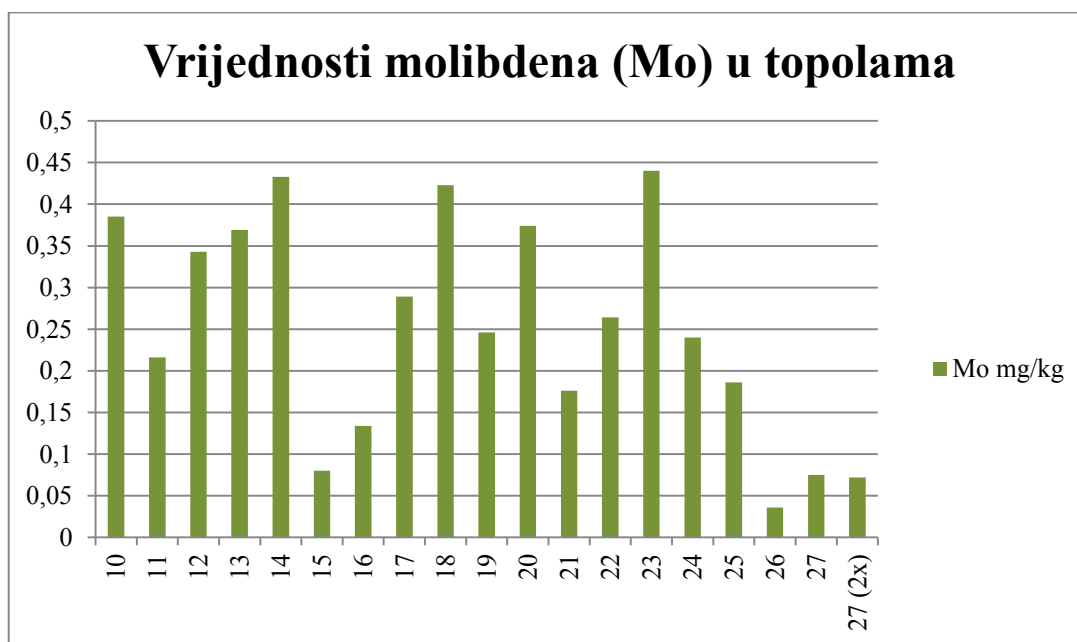
- vrijednosti se kreću u rasponu od 1,9 do 15,4 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona S1-8 u uzorcima lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7..2017.) u uzorcima lišća, vrijednosti prikazane na slici 49.



Slika 49. Grafički prikaz vrijednosti mangana (Mn) u uzorcima topole

Molibden (Mo)

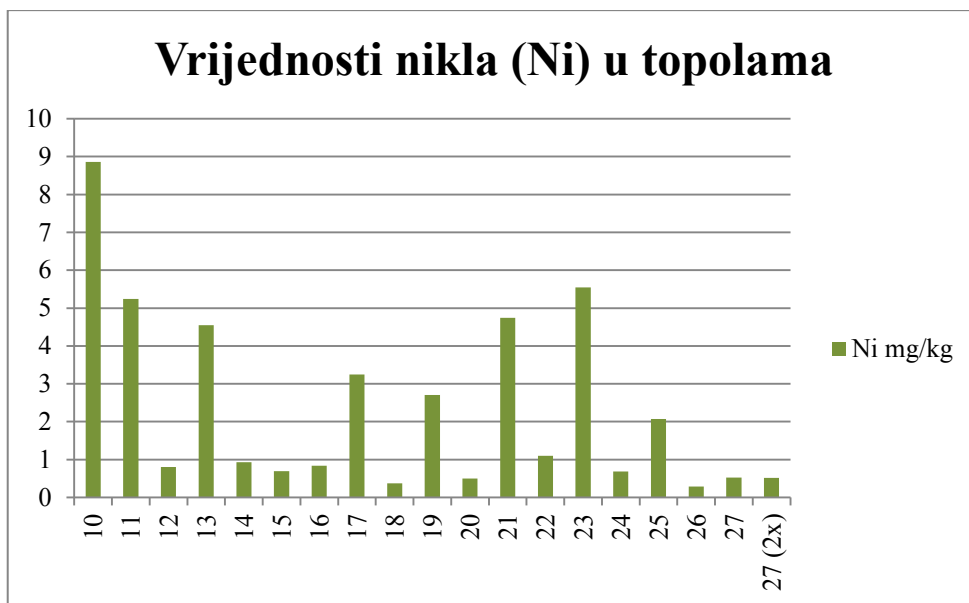
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,036 do 0,433 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona S1-8 u uzorcima stabljike i korijena, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.) u uzorku lišća, vrijednosti grafički prikazane slikom 50.



Slika 50. Grafički prikaz vrijednosti molibdena (Mo) u uzorcima topole

Nikal (Ni)

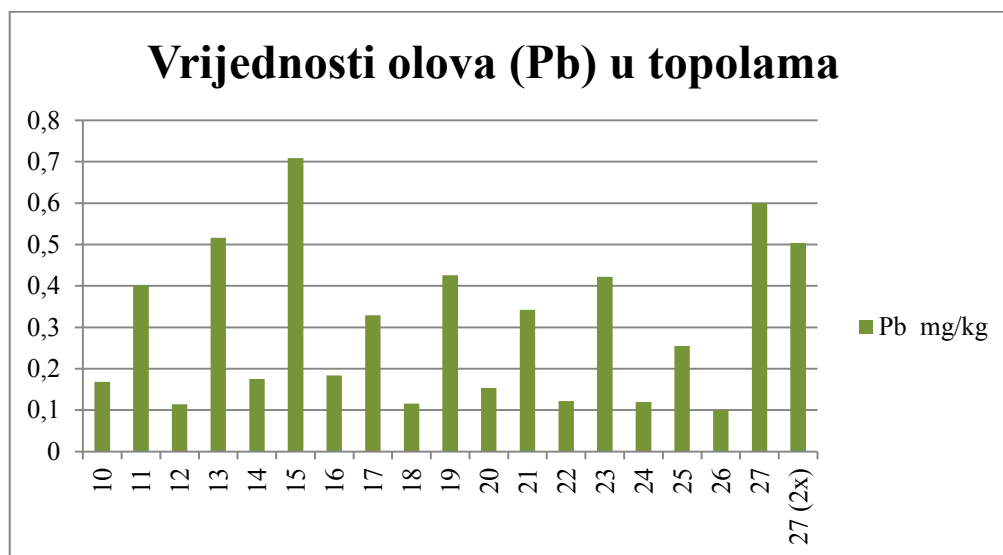
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,287 do 8,86 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 11. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1 u uzorku lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.) u uzorku lišća, vrijednosti grafički prikazane na slici 51.



Slika 51. Grafički prikaz vrijednosti nikla (Ni) u uzorcima topole

Olovo (Pb)

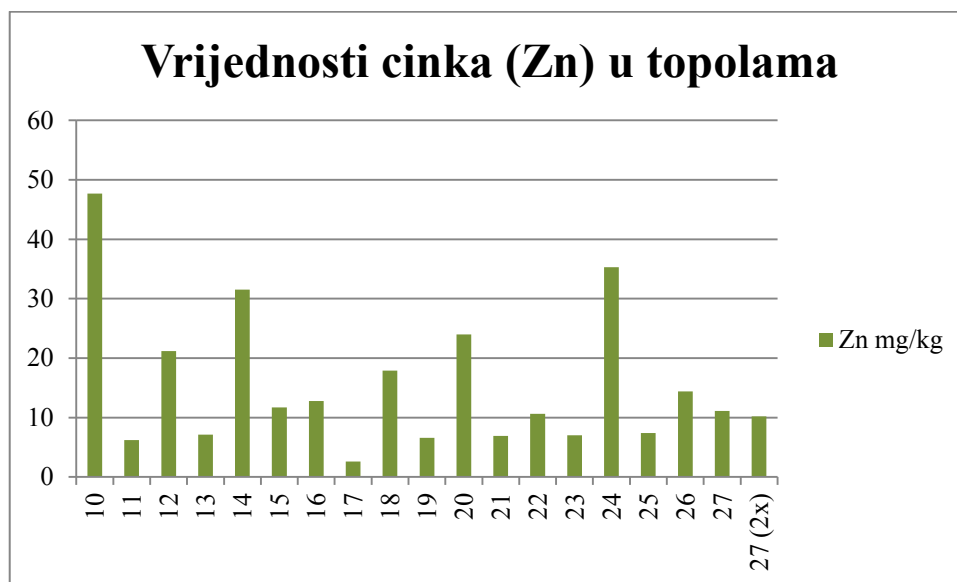
- vrijednosti se kreću u rasponu od 0,1 do 0,709 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u 3. uzorkovanju (19.7.2017.), kod klona M-1 u uzorku stabljike i korijena, dok je najmanja zabilježena kod klona S1-8 (19.7.2017.) u uzorku lišća, vrijednosti olova u topolama grafički prikazane na slici 52.



Slika 52. Grafički prikaz vrijednosti olova (Pb) u uzorcima topole

Cink (Zn)

- vrijednosti se kreću u rasponu od 2,61 do 47,7 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1 u uzorku lišća, dok je najmanja zabilježena kod klona PANONIA (31.5.2017.) u uzorku stabljike i korijena, vrijednosti cinka u topolama prikazane grafički sliko 53.



Slika 53. Grafički prikaz vrijednosti cinka (Zn) u uzorcima topole

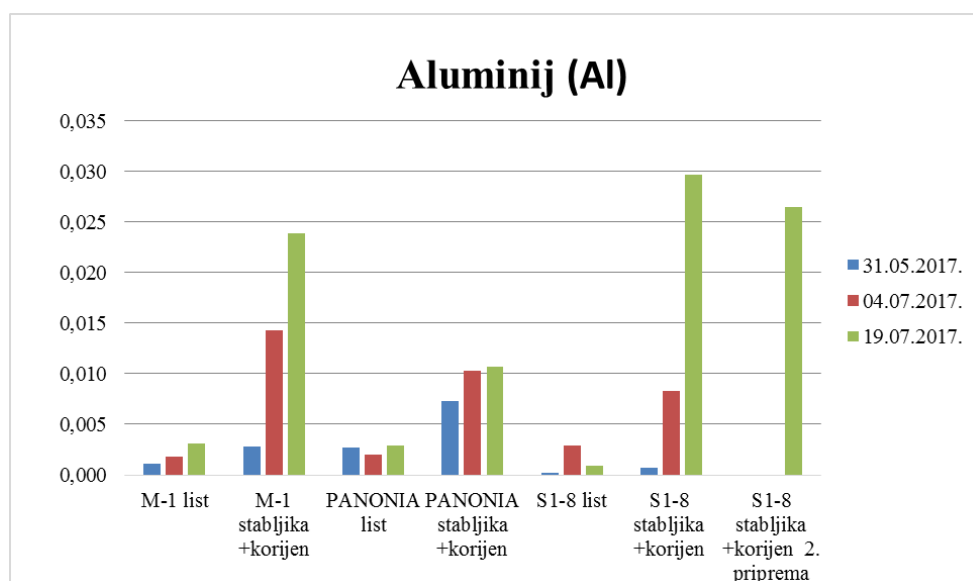
Fitoakumulacijski koeficijent (BAF)

Bioakumulacijski ili fitoakumulacijski koeficijent (BAF) izračunat je kao odnos koncentracija teških metala za biljnu vrstu topole (*Populus spp.*) i koncentracija ispitivanih teških metala u tlu prema formuli:

$$\text{BAF} = \text{koncentracija suha biljka} / \text{koncentracija suho tlo}$$

Rezultati ovog istraživanja su prikazani u tablici broj 8. po lokalitetima, a formula je preuzeta iz [32].

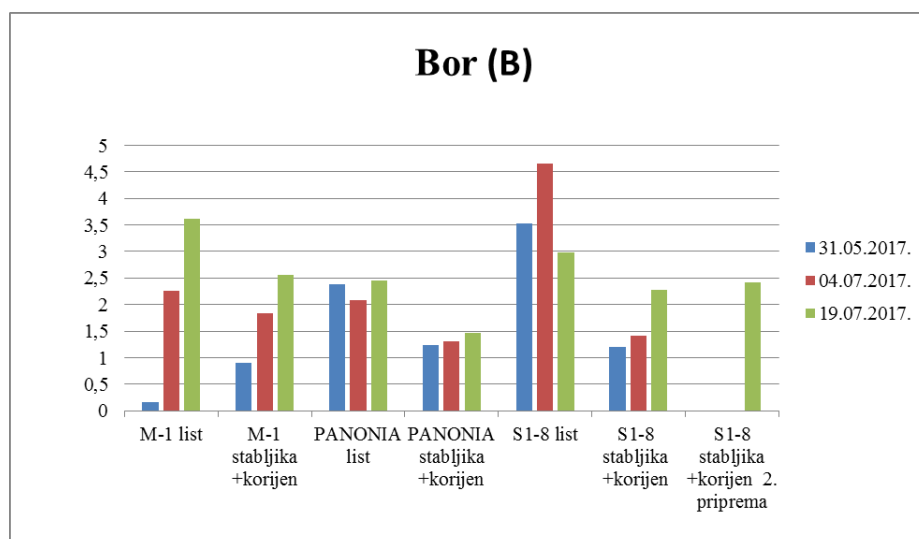
Slikom 54. su prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta topola za teški metal aluminij (Al). Vrijednosti su prikazane po datumima uzorkovanja.



Slika 54. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Aluminij (Al) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 54. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,00017 do 1,0296, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (17.7.2017.), uzorak stabljike i korijena. Detaljniji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-1, koja se nalazi u prilogu P4.

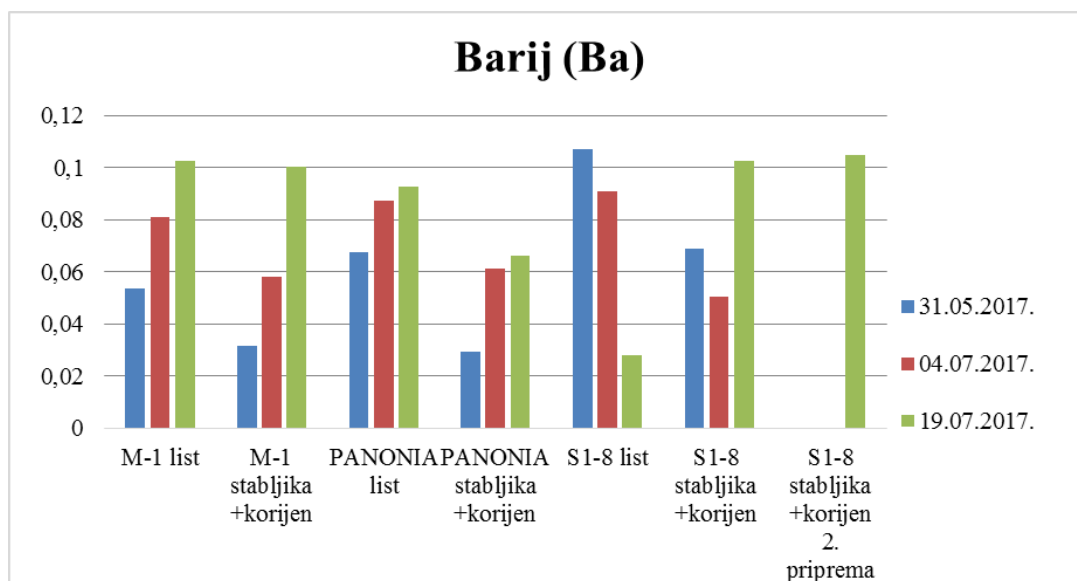
Slikom 55. su prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta topola za teški metal bor (B). Vrijednosti su grupirane po datumima uzorkovanja za svaki klon.



Slika 55. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Bor (B) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 55. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,1630 do 4,6504, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (4.7.2017.), u uzoraku lišća. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-2, koja se nalazi u prilogu P4.

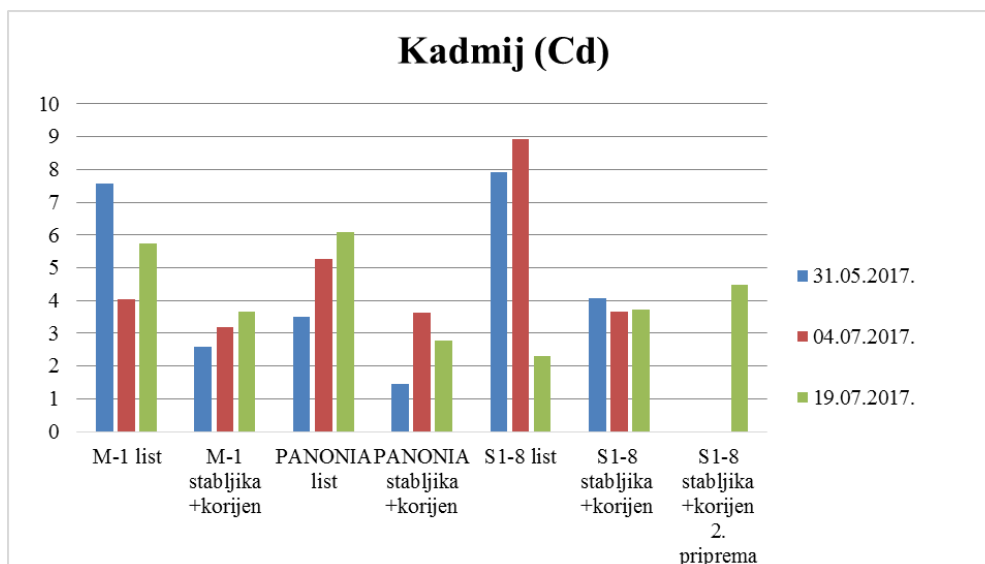
Na slici 56. su prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta topola za barij (Ba).



Slika 56. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Barij (Ba) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 56. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0279 do 0,1071, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.05.2017.), u uzoraku stabljike i korijena (2. priprema). Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-3, koja se nalazi u prilogu P4.

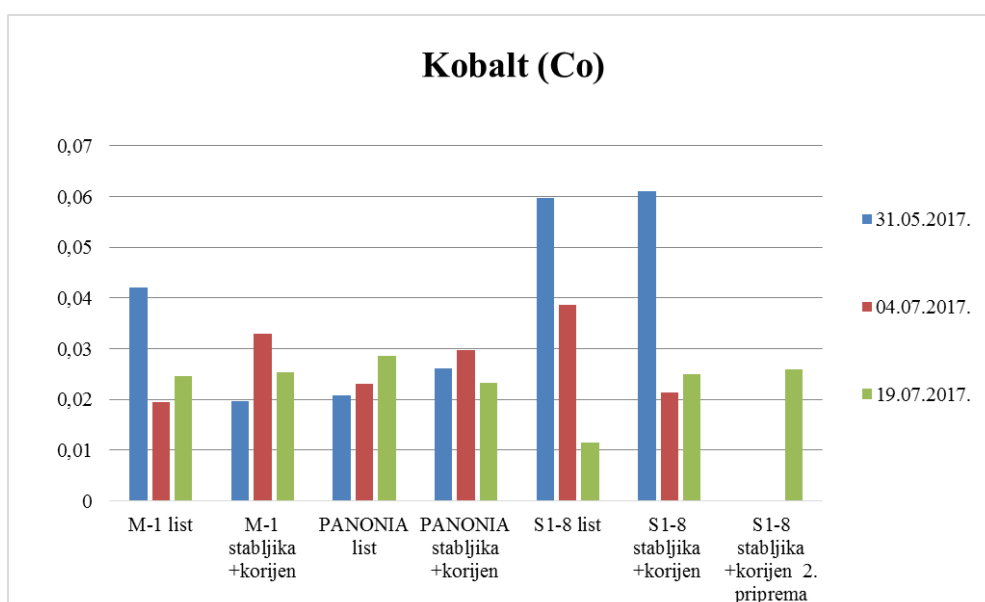
Vrijednosti BAF-a klonova topola za teški metal kadmij prikazane su slikom 57.



Slika 57. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Kadmij (Cd) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 57. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 1,4681 do 8,9174, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (4.7.2017.), u uzorku lišća. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-4, koja se nalazi u prilogu P4.

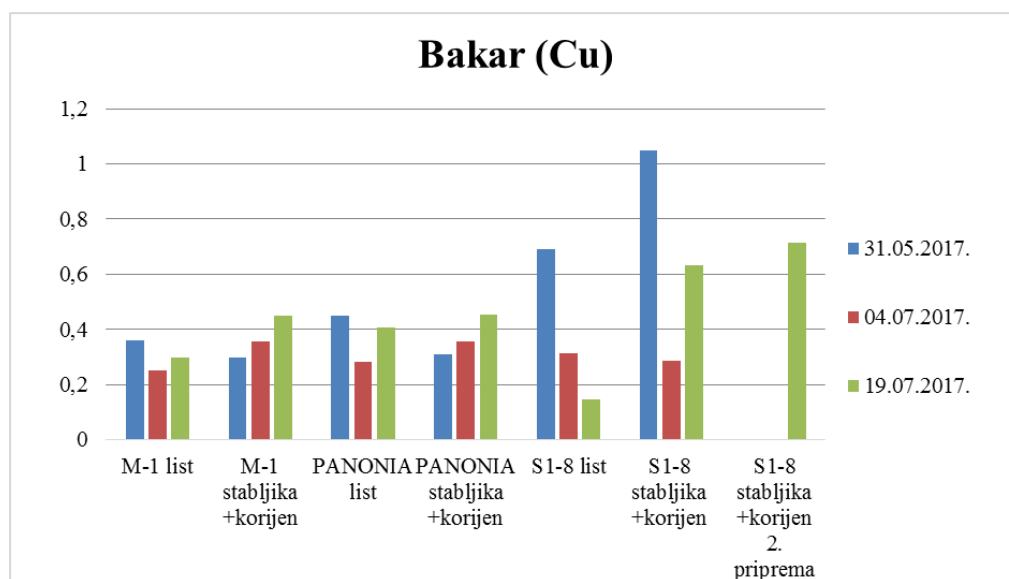
Vrijednosti BAF-a za kobalt (Co), prikazane slikom 58.



Slika 58. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Kobalt (Co) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 58. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0115 do 0,0611, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (19.7.2017.), u uzorku lišća. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-5, koja se nalazi u prilogu P4.

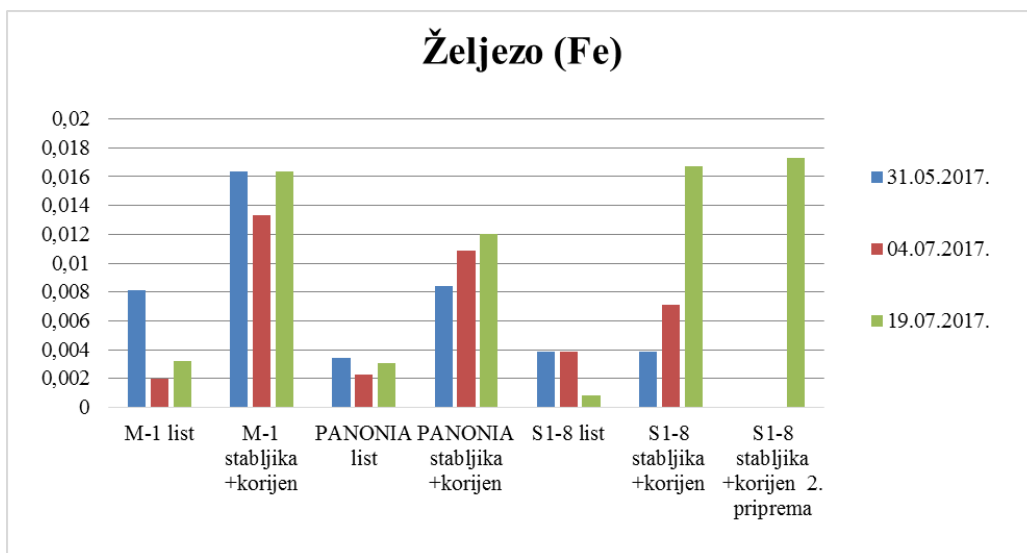
Vrijednosti BAF-a za bakar (Cu) grafički prikazane slikom 59.



Slika 59. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Bakar (Cu) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 59. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,1470 do 1,05, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.5..2017.), u uzoraku stabljike i korijena. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-6, koja se nalazi u prilogu P4.

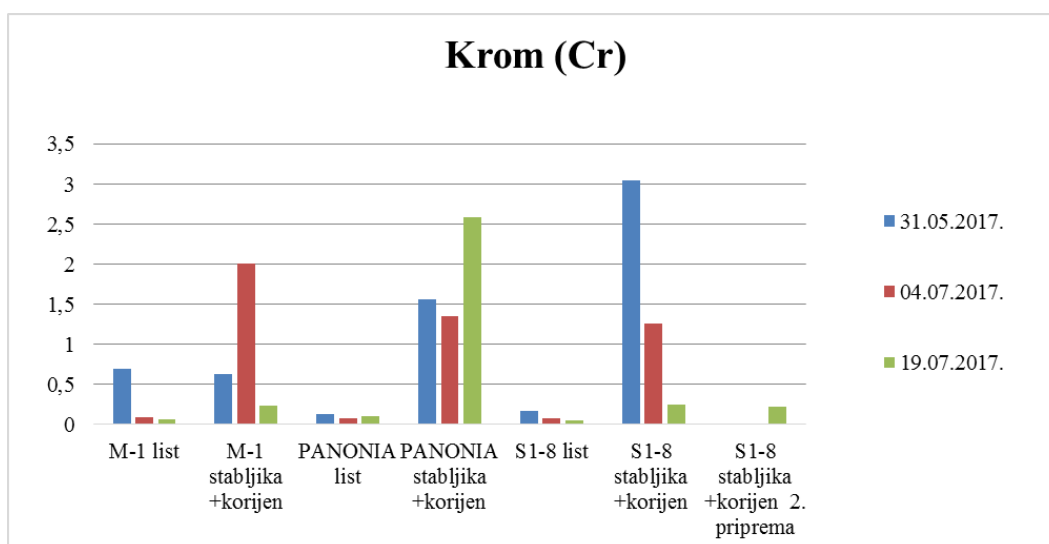
Slikom 60. su grafički prikazani fitoakumulacijski koeficijenti klonova topola za željezo (Fe).



Slika 60. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Željezo (Fe) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 60. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0009 do 0,0172, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (19.7.2017.), u uzoraku stabljike i korijena (2. priprema). Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-7, koja se nalazi u prilogu P4.

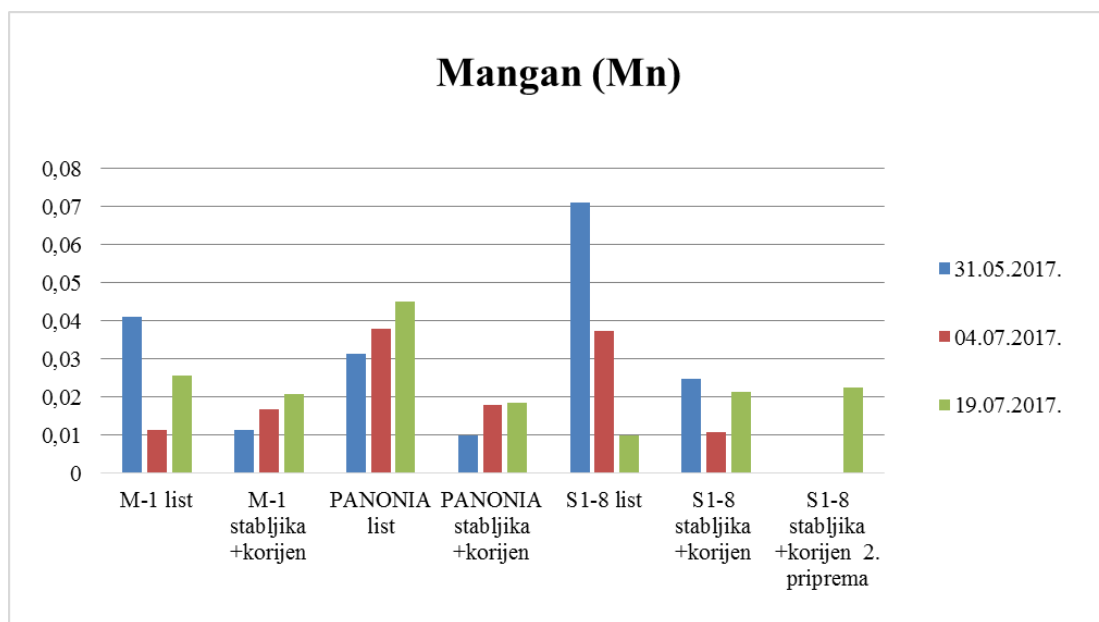
Slika 61. prikazuje graf BAF vrijednosti klonov topola za krom (Cr).



Slika 61. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Krom (Cr) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 61. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0540 do 3,0451, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.5.2017.), u uzoraku stabljike i korijena. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-8, koja se nalazi u prilogu P4.

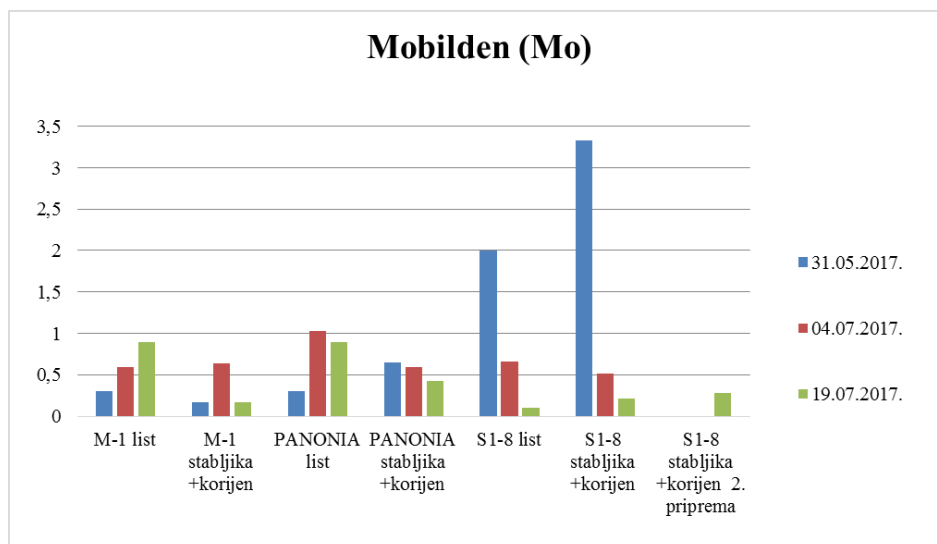
Grafički prikaz vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta za mangan (Mn) je prikazan slikom 62.



Slika 62. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Mangan (Mn) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 62. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0097 do 0,0710, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.5.2017.), u uzoraku lišća. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-9, koja se nalazi u prilogu P4.

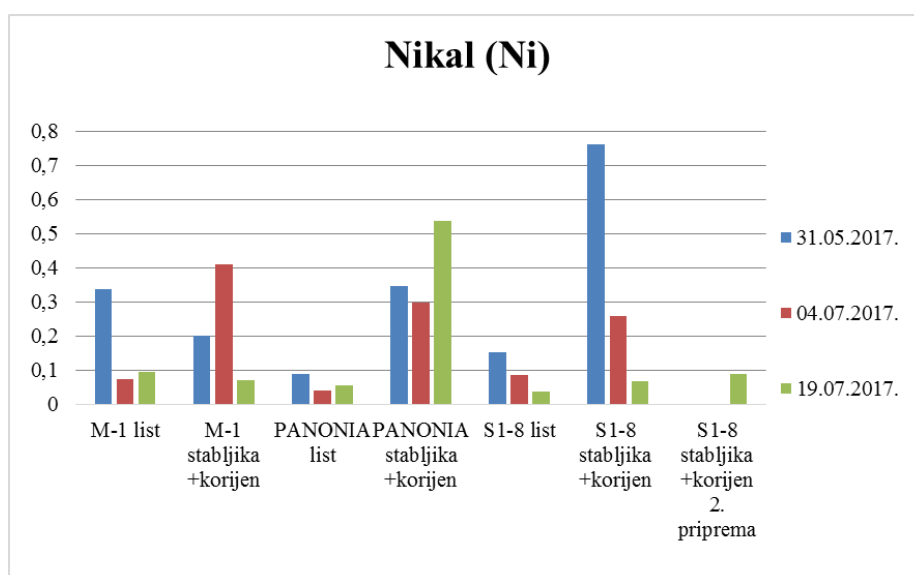
Fitoakumulacijski koeficijent topole za mobilden (Mo) grafički prikazan slikom 63.



Slika 63. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Mobilden (Mo) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 63. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,1040 do 3,3333, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.5.2017.), u uzoraku stabljike i korijena. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-10, koja se nalazi u prilogu P4.

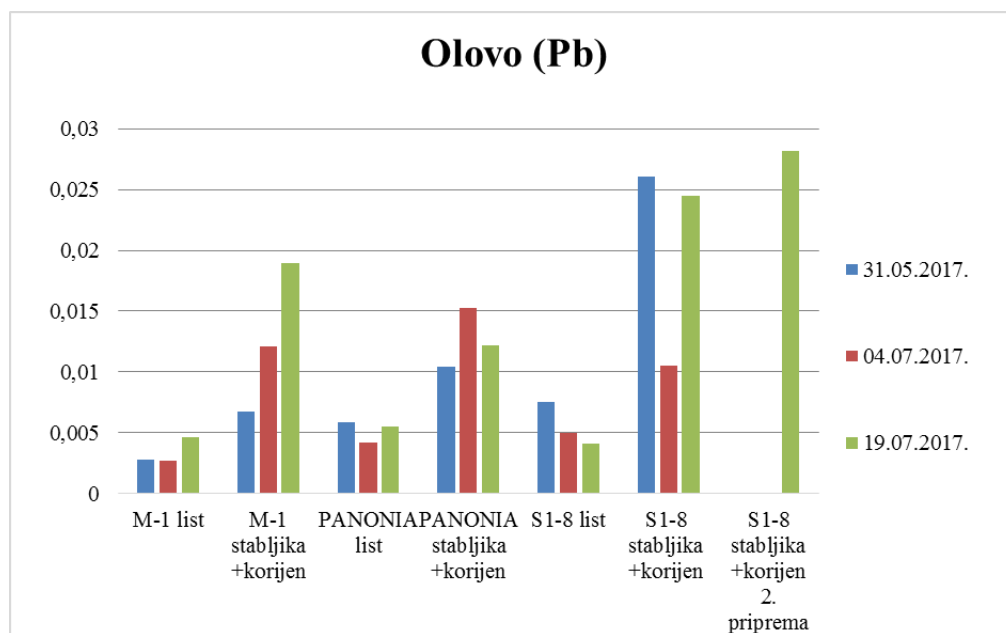
Slika 64. prikazuje grafički vrijednost fitoakumulacijskog koeficijenta topola za nikal (Ni).



Slika 64. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Nikal (Ni) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 64. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0367 do 0,7613, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.5.2017.), u uzoraku stabljike i korijena. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-11, koja se nalazi u prilogu P4.

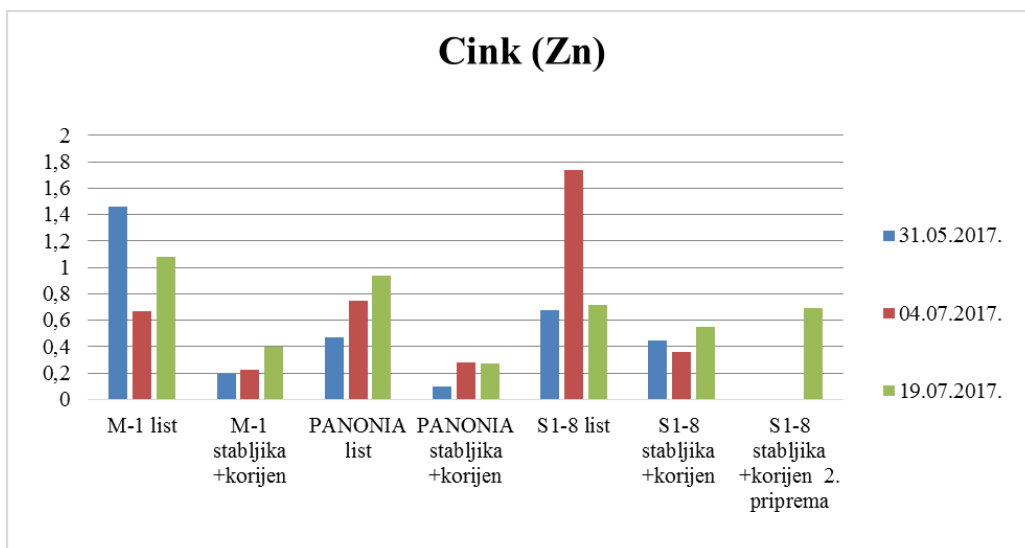
Vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta za olovo (Pb) prikazane grafom na slici 65.



Slika 65. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Olovo (Pb) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 65. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,0027 do 0,0282, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (19.7.2017.), u uzoraku stabljike i korijena (2 priprema). Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-12, koja se nalazi u prilogu P4.

Vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta klonova topola za cink (Zn) vidljive na slici 66.



Slika 66. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Cink (Zn)) prikazanog po uzorcima

Iz Slike 66. u kojoj su grafički prikazane vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta po prikupljenim uzorcima topole (*Populus spp.*), vidljivo je da se vrijednosti kreću u rasponu od 0,1967 do 1,7389, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (4.7.2017.), u uzoraku lišća. Detaljnji pregled moguće je dobiti iz tablice P4-III-13, koja se nalazi u prilogu P4.

6. RASPRAVA

Nakon mjerenja uočeno je da najbolji prirast ima klon S1-8, dobijen iz *Populus deltoides* (Marshall). S obzirom da navedeni klon još uvijek nije dovoljno istražen na našem području, svaka nova informacija o njemu je dobrodošla.

Maksimalno dopuštene vrijednosti teških metala nisu dosegnute, prema tome niti jedan lokalitet se ne smatra onečišćen.

Na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevac izmjerene su sljedeće vrijednosti 13 različitih teških metala u uzorcima tla i u uzorcima topola (*Populus spp.*) te izračunate vrijednosti Fitoakumulacijskog koeficijenta (BAF) u istima:

Bakar (Cu)

Za razliku od kadmija (Cd), područje rasadnika je nešto više onečišćeno bakrom (Cu), vidljivo je na slici 7. kako je to onečišćenje u umjerenim granicama. U uzorcima tla vrijednosti se kreću u rasponu od 3,40 do 8,03 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1. U uzorcima topola vrijednosti se kreću u rasponu od 0,679 do 3,57 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona S1-8 u uzorcima stabljike i korijena. Vrijednosti BAF se kreću u rasponu od 0,1470 do 1,05, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.5.2017.), u uzoraku stabljike i korijena. Dok su istraživanjem s Univerziteta u Novom Sadu ispitivali klonove M-1, B229 i Pe 19/66 od koji je najbolje rezultate za bakar pokazivao klon M-1 i to najviše u korijenu biljke, zatim listu pa u izbojcima. Klon M1, dosegao je najveću akumulaciju bakra u korjenovima pri tretmanima nižom i višom koncentracijom bakra te je akumulirao 277,93 mg/kg i 730,3 mg/kg bakra.

Nikal (Ni)

Sa slike 11. vidljivo je kako se vrijednosti nikla (Ni) na području rasadnika Višnjevac kreću u umjerenim vrijednostima. Vrijednosti BAF se kreću u rasponu od 0, 0367 do 0, 7613, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (31.5.2017.), u uzoraku stabljike i korijena. U

uzorcima tla vrijednosti se kreću u rasponu od 5,83 do 26,2 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1. U uzorcima topola vrijednosti se kreću u rasponu od 0,287 do 8,86 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1 u uzorku lišća. Dok je kod istraživanja iz Novog Sada M-1 pokazao i kod nikla najveću vrijednost u korijenu, zatim tek u listu. Pri tretmanu niže koncentracije korjenovi klona M-1 pokazali su se najefikasnijim u procesu fitoakumulacije, akumulirajući čak 140,41 mg/kg nikla, dok su klonovi B229 i Pe 19/66 pokazali statistički značajno manji fitoakumulacijski potencijal akumulirajući u korjenovima 84,72 i 69,39 mg/kg nikla.

Kadmij (Cd)

Kao što se može vidjeti na karti sa slike 5. područje rasadnika je veoma malo onečišćeno teškim metalom kadmijom (Cd). U uzorcima tla vrijednosti se kreću u rasponu od 0,083 do 0,202 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1. U uzorcima topola vrijednosti se kreću u rasponu od 0,4 do 1,53 mg/kg, najveća zabilježena vrijednost se pojavljuje u I. uzorkovanju (31.5.2017.), kod klona M-1 u uzorcima lišća. Dok na provedenom istraživanju u Novom sadu pri tretmanu nižom koncentracijom kadmija u korjenovima klona Pe 19/66 je došlo do najveće akumulacije metala među klonovima, dok su pri tretmanu višom koncentracijom kadmija korjenovi klona B229 usvojili najveću koncentraciju ovoga metala (19,74 mg/kg). S aspekta fitoakumulacije, do veće apsorpcije u akumulaciji kadmija došlo je u listovima, nego u korjenovima klonova topola. Tako je klon Pe 19/66, koji se pokazao kao najefikasniji klon topola za apsorpciju kadmija, akumulirao više nego duplo veće koncentracije ovog metala u listovima i korjenovima, u usporedbi s klonom M-1. Dok se u ovom istraživanju klon M-1 pokazao kao veoma dobar fitoakumulator teškog metala kadmija. Istraživanje provedeno za završni rad obuhvaćalo je područje željezničke pruge sjeverozapadne Hrvatske, gdje je proučavana sposobnost maslačka da akumulira kadmij (Cd). Vrijednosti kadmija u maslačku su iznosile od 0,020 do 0,753 mg/kg, što je manje od onih izmjerenih u topolama. Također vrijednosti fitoakumulacijskog koeficijenta kreću se od 0,03 do 1,02 što je znatno manje od onih izmjerenih u topolama gdje se vrijednosti BAF kreću u rasponu od 1,4681 do 8,9174, a najveću vrijednost ima klon S1-8 (4.7.2017.), u uzorku lišća.

Najveće vrijednosti teških metala se pojavljuju u rezultatima 1. uzorkovanja te linearno opadaju prema zadnjem uzorkovanju, što dovodi do zaključka kako topole nisu dodatno opterećene tijekom tretiranja sredstvom „DOMARK“ protiv biljnih bolesti, koji u sastavu za aktivnu tvar ima tetrakonazol, a tretiranje se provelo 6 dana prije zadnjeg uzorkovanja. Međutim, također je moguće kako je to posljedica i rasta topola s čime se povećava i njihova mogućnost apsorpcije. Maksimalno dopuštene količine teških metala nisu dosegnute niti u jednom uzorku, što dovodi do zaključka kako ni tlo početno nije bilo značajnije onečišćeno. Dok fitoakumulacijski koeficijent BAF pokazuje najviše vrijednosti kod do sad nedovoljno izraženog klona S1-8, što je moguće zbog njegovog bržeg rasta u usporedbi s drugim ispitanim klonovima.

Provedenim ispitivanjima u ovome diplomskom radu, dokazano je da se drvenaste biljke mogu upotrebljavati u svrhu sanacije onečišćenog tla teškim metalima i to na ekološki prihvatljiv i jeftiniji način, ali kroz duži vremenski period, jednako učinkovito kao i zeljaste biljke. Prednosti samoniklih zeljastih biljaka nad topolama su što za njih nisu potrebni troškovi sadnje, osim toga praktične su za manje zelene površine u urbanim sredinama gdje je gust promet, međutim mogu samo akumulirati metale pri površini, dok topole s svojim korijenjem pružaju veću mogućnost pročišćavanja onečišćenog podzemlja. S obzirom na razne mogućnosti uporabe drvenastih biljaka, mogla bi im se pružiti i prednost nad zeljastima. Zahvaljujući njihovoj građi, drvenaste biljke kasnije vrlo jednostavno možemo koristiti u drvnoj industriji ili u svrhu dobivanja biomase i uporabu u energetici, međutim nedostaju istraživanja vezana uz udio teških metala u pepelu nakon spaljivanja ili plinova koji nastaju tijekom istoga. Ovo istraživanje može biti odlična podloga za sljedeća istraživanja u svrhu određivanja prednosti i nedostatska uporabe u energetici. Međutim kod upotrebe u energetici pojavljuje se jedna mana kod klona S1-8, a to je da njegova drvenasta struktura ima slabiju gustoću od ostalih klonova; zbog njegovog velikog godišnjeg prirasta slabije dobiva na gustoći unutar debla te je samim time energetski slabiji izvor.

Najveći problem kod korištenja topola u svrhe fitoremedijacije je opadanje lišća kroz godinu, gdje se dio akumuliranih teških metala u listu vraća na tlo, ukoliko se ne pokupi prije truljenja. To lišće također se može koristiti u biomasi, međutim kako je navedeno, prethodno je potrebno provesti daljnja istraživanja. Zahvaljujući rezultatima iz provedenog

istraživanja vidljivo je da akumulirane vrijednosti nisu iznad maksimalno dopuštenih količina te možemo pretpostaviti da nema razloga protiv korištenja takve biomase u komercijalne svrhe.

Svim navedenim prednostima kad se doda i onaj ekonomski čimbenik, dobije se jedna i ekonomski i ekološki isplativa metoda čišćenja onečišćenih površina ali kroz duži vremenski period.

7. ZAKLJUČCI

U svim ispitivanim uzorcima prisutne su koncentracije 13 ispitanih teških metala u tlima na području rasadnika Hrvatskih šuma Višnjevac (ukupno 9 lokaliteta), a koncentracije aluminija i željeza visokih koncentracija upućuju na onečišćenje iz različitih antropogenih izvora (obrađivanje zemlje strojevima, pumpe za navodnjavanje, tretiranje zemljišta i reznica topola).

Klonom S1-8 najviše vrijednosti ekstrakcije uočavaju se u području stabla ili lišća, gdje BAF iznosi 8,9174 za kadmij (Cd). Dok najmanje vrijednosti BAF-a ima za aluminij (Al) od 0,0002. Kod klona PANONIA najveće vrijednosti BAF-a vidljive su kod uzoraka lišća za kadmij (Cd), a iznose 6,1016, dok su najmanje vrijednosti kod aluminija (Al), gdje iznose 0,0020. Kod klona M-1 najveće vrijednosti BAF uočavaju se u uzorku lista, također kod kadmija (Cd) s rezultatom od 7,5743, dok najmanju vrijednost ima aluminij (Al), a iznosi 0,0011.

S obzirom na dobivene rezultate najbolji se pokazao klon S1-8, s najvećom postignutom vrijednosti kod fitoakumulacijskog koeficijena, iako klon M-1 ne pokazuje znatno lošije rezultate, ima nešto slabiji prirast i prema tomu nešto slabiju mogućnost ekstrakcije. Dok klon PANONIA nije pokazao zadovoljavajuće rezultate kako bi mu se pružila prednost nad ostala dva.

Istraživanja su trebala potvrditi točnost tri hipoteze.

Kod hipoteze 1. trebalo je odrediti mogu li odabrani klonovi topole adsorbirati teške metale u drvenastom dijelu biljke (deblo, kora). Klonovi su se pokazali kao veoma dobri apsorbenti teških metala u drvenaste dijelove. Najveća izmjerena vrijednost je u klonu M-1 (19.07.2017.) za željezo (Fe), a iznosi 192 mg/kg, dok je najmanja vrijednost izmjerena u klonu S1-8 (19.07.2017.-2 mjerjenje) za kobalt (Co), a iznosi 0,061 mg/kg. Dok kod rezultata fitoakumulacijskog koeficijenta najviši rezultat pokazuje klon S1-8 (31.05.1017.) za teški metal mobilden (Mo), a iznosi 3,3333, dok najmanju vrijednost pokazuje M-1

(31.05.2017.) za aluminij (Al), a iznosi 0,0028. Međutim uzevši u obzir sve rezultate za deblo, najmanju sposobnost apsorpcije pokazuje klon PANONIA.

Prema hipotezi 2. odabrani klonovi topole ne adsorbiraju teške metale u listu biljke, odnosno njihov sadržaj je zanemariv. Ova hipoteza se pokazala netočnom, jer najviša vrijednost za cink (Zn) je izmjerena u klonu M-1 (31.05.2017.), a iznosi 47,7 mg/kg. Međutim klon S1-8 (19.07.2017.) pokazuje niske vrijednosti većine teških metala. Ipak može se zaključiti da sve ovisi o tipu onečišćenja i kako ono dospjeva u okoliš (navodnjavanjem, ispušnim plinovima iz strojeva, itd.).

Hipoteza 3. pretpostavlja kako klonovi topola pokazuju različitu sposobnost akumulacije metala u nadzemne dijelove biljke. Što se pokazalo točnim. Kako je već navedeno, klon PANONIA pokazuje osrednje vrijednosti te niti u jednom mjerenju znatno ne odskake, čak za neke metale pokazuje najmanje vrijednosti fitakumulacijskog koeficijenta. Dok se klonovi M-1 i S1-8, ovisno o metalu imjenjuju. Na grafovima je najbolje vidljivo kako njihove vrijednosti u prosijeku i nisu tako različite. Može se pretpostaviti kako klon S1-8 pokazuje bolje rezultate zbog njegovog prirasta, s čim se povećava i njegova sposobnost apsorpcije, dok klon M-1 ne raste tolikom brzinom i samim time ima nešto niže vrijednosti.

Na osnovi rezultata dobivenih ispitivanjima u ovome diplomskom radu može se zaključiti da sadnjom plantaža topola na onečišćenim površinama se mogu otkloniti teški metali iz tla, također sadnjom drvoreda uz plavna područja moguće je smanjiti kontaminaciju tla.

Dobivene vrijednosti ne ukazuju na preopterećenje topola teškim metalima, pa ih je moguće poslije koristiti u energetske svrhe, no potrebno je brinuti o sadržaju metala u nastalom pepelu i odlaganju istoga.

8. LITERATURA

- [1] Duffus, J. H.: "Heavy metals" a meaningless term? Pure and Applied Chemistry 74, 5 izdanje; 2003. str.793-807.
- [2] Baykov BD, Stoyanov MP, Gugova ML. Cadmium and lead bioaccumulation in male chickens for high food concentrations. Toxicol Environ Chem. 54: 1996. str. 155-159.
- [3] Falbe J. und M. Regitz. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1996.
- [4] Thornton I. Sequential extraction of soils for multielement analysis by ICP-AES; 1995.
- [5] Nordberg i sur. Cadmium-Related Mortality and Long-Term Secular Trends in the Cadmium Body Burden of an Environmentally Exposed Population; 2007.
- [6] Duce J. A., Bush A. I. (2010). Biological metals and Alzheimer's disease: implications for therapeutics and diagnostics. Prog. Neurobiol. 92; 2010., str.1–18
- [7] Odluka o određivanju ranjivih područja u Republici Hrvatskoj (Narodne novine 130/12)
- [8] Romić D i sur., Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj, 2014. Dostupno na: http://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/utjecaj_poljoprivrede_na_oneciscenje_povrsinskih_i_podzemnih_voda_u_republici_hrvatskoj.pdf ; Datum pristupa: 22.06.2017.
- [9] Willey, N. ,Phytoremediation, Series: Methods in Biotechnology, Vol. 23, Humana Press, New Jersey; 2007.
- [10] Maček, T., Dowling, D., Mackova, M., Phytoremediation and Rhizoremediation, Springer Verlag, New York, LLC, 2006.
- [11] Kramer, U. (2010), Metal hyperaccumulation in plants, Annu. Rev. Plant Biol. 61, 2010.
- [12] Baker, A. J. M., Brooks, R. R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements a review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery 1, 1989., str. 81-126.
- [13] Fitoremedijacija, Dostupno na:(<https://www.agroklub.com>), Datum pristupa: 16.05.2017.

- [14] Šumarski list, Dostupno na:(<http://www.sumari.hr>); Datum pristupa: 20.07.2017.
- [15] Kebert; Biohemijska i fiziološka karakterizacija klonova topole (*Populus spp.*) u procesu fitoekstrakcije bakra, nikla i kadmijuma; Novi Sad, 2014.
- [16] Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 09/14)
- [17] Barulek L. Međuvrsni hibridi europske crne topole (*Populus nigra* L.); 2016.
- [18] Izbojak topole *Populus x euramericana* s pupovima, lišćem, resama, tobolcima i sjemenkama (<http://nature.jardin.free.fr>); Datum pristupa:22.04.2017.
- [19] Jovanović; Uljna hidraulika; Beograd 1967.
- [20] Izbojak s pupovima, lišćem, resama, tobolcima i sjemenkama (<http://www.plantillustrations.org>); Datum pristupa:22.04.2017.
- [21] I. Ištók, T. Sedlar, B. Šefc, T. Sinković, T. Perković1 Physical Properties of Wood in Poplar Clones 'I-214' and 'S1-8'; 2016., str. 163-170
- [22] Memento- periodni suatav elemenata; autor: Borislav Dopuđa , 2007., 1-14
- [23] Halamić, J., Miko, S. (2009), Geokemijski atlas Republike Hrvatske, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- [24] Zaninović, K., Klimatski atlas Hrvatske, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2008.
- [25] DRŽAVNI HIDRO METEOROLOŠKI ZAVOD, Dostupno na: (<http://vrijeme.hr>); Datum pristupa: 25.05.2017.
- [26] HRN ISO 11464:2004 Priprema uzoraka tla za fizikalne i kemijske analize
- [27] Milestone Srl - ETHOS SEL sustav visokog učinka ekstrakcije Dostupno na:(<http://www.speciation.net>); Datum pristupa: 15.08.2017.
- [28] HRN EN ISO 17294-2:2004 Kakvoća vode
- [29] HRN ISO 11466:2004 Kakvoća tla
- [30] Rama Rao KV, et al. Brain aquaporin-4 in experimental acute liver failure. J Neuropathol Exp Neurol.;2010.str.869–879.
- [31] McGee, R. Jon & Richard Warms: Anthropological Theory: An Introductory History, McGraw-Hill, 2007.
- [32] Morel, J. M., Echevarria, G., Gonchareva, N. Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils, Springer, Dordrecht 2002.
- [33] Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja, Narodne novine 09/14

9. POPIS SLIKA

Slika 1. Izbojak topole <i>Populus x euramericana</i> s pupovima, lišćem, resama, tobolcima i sjemenkama	9
Slika 2. Izbojak s pupovima, lišćem, resama, tobolcima i sjemenkama.....	11
Slika 3. Koncentracije aluminija (Al) na području Republike Hrvatske,	12
Slika 4. Koncentracije barija (Ba) na području Republike Hrvatske,	14
Slika 5. Koncentracije kadmija (Cd) na području Republike Hrvatske,	15
Slika 6. Koncentracije kobalta (Co) na području Republike Hrvatske,.....	16
Slika 7. Koncentracije bakra (Cu) na području Republike Hrvatske	17
Slika 8. Koncentracije željeza (Fe) na području Republike Hrvatske	18
Slika 9. Koncentracije kroma (Cr) na području Republike Hrvatske.....	19
Slika 10. Koncentracije mangana (Mn) na području Republike Hrvatske	20
Slika 11. Koncentracije nikla (Ni) na području Republike Hrvatske	21
Slika 12. Koncentracije olova (Pb) na području Republike Hrvatske	22
Slika 13. Koncentracije cinka (Zn) na području Republike Hrvatske	23
Slika 14. Rasadnik Višnjevaca	24
Slika 15. Rasadnik Višnjevaca (31.05.2017.)	25
Slika 16. Rasadnik Višnjevaca (4.07.2017.)	27
Slika 17. Rasadnik Višnjevaca (19.07.2017.)	28
Slika 18. Prikaz iskopa jedne reznice	30
Slika 19. Klonovi topole prije postavljanja u PVC vrećice	31
Slika 20. Označeni klonovi topole.....	31
Slika 21. Prikaz sušenja uzoraka biljaka i tla	32
Slika 22. Prikaz mljevenja, pakiranja i skladištenja	32
Slika 23. Prikaz računalnog programa mikrovalnog digestora.....	33
Slika 24. Laboratorij Hrvatskih voda u Zagrebu	34
Slika 25. Mikrovalni digestor ETHOS SEL (Milestone).....	36
Slika 26. Shematski prikaz ICP-MS instrumenta:	37
Slika 27. Prikaz uređaja ICP ELAN 9000 iz laboratorija Hrvatskih voda u Zagrebu	38

Slika 28. Grafički prikaz vrijednosti Aluminija (Al) u tlu	42
Slika 29. Grafički prikaz vrijednosti bora (B) u tlu	42
Slika 30. Grafički prikaz vrijednosti barija (Ba) u tlu	43
Slika 31. Grafički prikaz vrijednosti kadmija (Cd) u tlu	44
Slika 32. Grafički prikaz vrijednosti Kobalta (Co) u tlu	44
Slika 33. Grafički prikaz vrijednosti bakra (Cu) u tlu	45
Slika 34. Grafički prikaz vrijednosti željeza (Fe) u tlu	45
Slika 35. Grafički prikaz vrijednosti krom (Cr) u tlu	46
Slika 36. Grafički prikaz vrijednosti mangana (Mn) u tlu.....	47
Slika 37. Grafički prikaz vrijednosti molibdena (Mo) u tlu	47
Slika 38. Grafički prikaz vrijednosti Nikla (Ni) u tlu.....	48
Slika 39. Grafički prikaz vrijednosti olova (Pb) u tlu	49
Slika 40. Grafički prikaz vrijednosti cinka (Zn) u tlu	49
Slika 41. Grafički prikaz vrijednosti aluminija (Al) u uzorcima topole.....	52
Slika 42. Grafički prikaz vrijednosti bora (B) u uzorcima topole	53
Slika 43. Grafički prikaz vrijednosti barija (Ba) u uzorcima topole	53
Slika 44. Grafički prikaz vrijednosti kadmija (Cd) u uzorcima topole	54
Slika 45. Grafički prikaz vrijednosti kobalta (Co) u uzorcima topole.....	55
Slika 46. Grafički prikaz vrijednosti bakra (Cu) u uzorcima topole	55
Slika 47. Grafički prikaz vrijednosti željeza (Fe) u uzorcima topole.....	56
Slika 48. Grafički prikaz vrijednosti krom (Cr) u uzorcima topole.....	57
Slika 49. Grafički prikaz vrijednosti mangana (Mn) u uzorcima topole	57
Slika 50. Grafički prikaz vrijednosti molibdena (Mo) u uzorcima topole.....	58
Slika 51. Grafički prikaz vrijednosti nikla (Ni) u uzorcima topole	59
Slika 52. Grafički prikaz vrijednosti olova (Pb) u uzorcima topole.....	59
Slika 53. Grafički prikaz vrijednosti cinka (Zn) u uzorcima topole.....	60
Slika 54. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Aluminij (Al)	61
Slika 55. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Bor (B).....	61
Slika 56. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Barij (Ba)	62
Slika 57. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Kadmij (Cd).....	63
Slika 58. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Kobalt (Co)	63
Slika 59. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Bakar (Cu)	64

Slika 60. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Željezo (Fe).....	65
Slika 61. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Krom (Cr)	65
Slika 62. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Mangan (Mn).....	66
Slika 63. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Molibden (Mo).....	67
Slika 64. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Nikal (Ni).....	67
Slika 65. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Olovo (Pb)	68
Slika 66. Grafički prikaz fitoakumulacijskih koeficijenta za Cink (Zn))	69

10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezultati terenskih mjerenja	40
Tablica 2. Prikaz rezultata razina teških metala u tlu	41
Tablica 3. Maksimalno dopuštene količine kadmija u tlu	50
Tablica 4. MDK teških metala u tlu	50
Tablica 5. Prikaz rezultata razina teških metala u klonovima topola (<i>Populus spp.</i>)	51

11. POPIS KRATICA

I-214- klon Euroameričke topole

I-154- klon Euroameričke topole

S1-8-klon Američke crne topole

M-1- klon Euroameričke topole

PANONIA-klon Euroameričke topole

AAS-atomska apsorpcijska spektroskopija

AES-atomska emisijska spektroskopija

ICP-induktivno spregnuta plazma spektroskopija

ICP/MS- metoda induktivno vezane plazme s masenim spektrometrom

HCL-klorovodična kiselina

HNO₃-dušična kiselina

PTFE- politetrafluoroetilen

BAF-bioakumulacijski ili fitoakumulacijski koeficijent

MDK-maksimalno dopuštene količine

12. PRILOZI

Prilog 1. Rezultati vaganja uzoraka tla i topola

Tablica P1-I-1 Uzorci tla s rezultatima vaganja

<u>Uzorci tla</u>	uzorak	opis	masa uzorka (g)
	1	M-1 tlo (31.05.2017.)	0,965
	2	M-1 tlo (04.07.2017.)	0,968
	3	M-1 tlo (19.07.2017.)	1,012
	4	PANONIA tlo (31.05.2017)	0,955
	5	PANONIA tlo (04.07.2017)	1,017
	6	PANONIA tlo (19.07.2017)	0,911
	7	S1-8 tlo (31.05.2017.)	0,922
	8	S1-8 tlo (04.07.2017.)	0,968
	9	S1-8 tlo (19.07.2017.)	0,924
	9 (2x)	S1-8 tlo (19.07.2017.) 2. priprema	0,937

Tablica P1-I-2 Uzorci topola s rezultatima vaganja

	uzorak	opis	masa uzorka (g)
<u>Uzorci topole</u>	10	M-1 list (31.05.2017.)	0,646
	11	M-1 stabljika + korijen (31.05.2017.)	0,720
	12	M-1 list (04.07.2017.)	0,746
	13	M-1 stabljika + korijen (04.07.2017.)	0,548
	14	M-1 list (19.07.2017.)	0,546
	15	M-1 stabljika + korijen (19.07.2017.)	0,575
	16	PANONIA list (31.05.2017.)	0,628
	17	PANONIA stabljika + korijen (31.05.2017.)	0,535
	18	PANONIA list (04.07.2017.)	0,671
	19	PANONIA stabljika + korijen (04.07.2017.)	0,581
	20	PANONIA list (19.07.2017.)	0,559
	21	PANONIA stabljika + korijen (19.07.2017.)	0,674
	22	S1-8 list (31.05.2017.)	0,566
	23	S1-8 stabljika + korijen (31.05.2017.)	0,565
	24	S1-8 list (04.07.2017.)	0,690
	25	S1-8 stabljika + korijen (04.07.2017.)	0,728
	26	S1-8 list (19.07.2017.)	0,710
	27	S1-8 stabljika + korijen (19.07.2017.)	0,586
	27 (2x)	S1-8 stabljika + korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,594

Prilog 2. Rezultati teških metala u tlu

Slika P2-II-1 Prikaz rezultata razine teških metala s mogućim pogreškama uređaja, izmjerenih u uzorkovanom tlu.

Uzorak	Al mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
1	8509±459	1,19±0,081	103±2,36	0,202±0,004	5,23±0,240	8,03±0,010	14710±706	62,0±0,930	359±17,6	1,26±0,025	26,2±1,31	59,6±0,834	32,6±0,817
2	2826±93,2	0,940±0,025	68,9±1,45	0,172±0,010	4,61±0,096	7,17±0,186	12833±475	14,1±0,240	297±8,31	0,578±0,017	11,1±0,245	42,7±0,982	31,5±0,819
3	2662±66,5	0,700±0,023	61,2±1,65	0,148±0,003	4,13±0,169	6,51±0,235	11736±329	13,3±0,200	267±7,21	0,482±0,012	9,80±0,265	37,5±1,72	29,1±1,02
4	2762±129	0,728±0,019	57,9±1,45	0,141±0,007	3,90±0,140	5,56±0,172	11348±238	14,0±0,252	254±11,4	0,448±0,010	9,36±0,355	31,5±1,04	27,0±1,18
5	2376±66,5	0,921±0,048	54,1±1,62	0,126±0,003	3,64±0,120	5,29±0,217	10510±210	13,3±0,186	238±5,23	0,412±0,019	9,06±0,389	27,9±0,670	23,8±0,475
6	2327±132	0,765±0,028	48,7±1,27	0,128±0,003	3,68±0,074	5,55±0,227	10323±289	13,8±0,262	236±9,91	0,418±0,008	8,80±0,255	28,1±1,37	25,6±0,768
7	42250±45,0	1,03±0,044	42,2±1,65	0,083±0,002	2,83±0,195	3,40±0,112	9189±386	13,3±0,212	217±5,0	0,132±0,005	7,29±0,320	16,2±0,664	15,7±0,424
8	1834±36,6	0,572±0,030	40,8±1,71	0,109±0,002	3,23±0,165	4,78±0,125	9008±441	12,6±0,152	200±4,18	0,362±0,008	8,06±0,386	24,2±0,556	20,3±0,447
9	1786±48,2	0,536±0,016	39,7±1,19	0,112±0,003	3,12±0,065	4,62±0,180	8660±528	13,1±0,380	193±6,57	0,346±0,017	7,83±0,384	24,5±0,882	20,1±0,524
9 (2x)	1319±69,9	0,414±0,034	31,3±2,13	0,083±0,003	2,35±0,208	3,41±0,23	6547±425	12,9±0,309	145±4,63	0,261±0,010	5,83±0,338	17,9±0,464	14,7±0,308

Prve vrijednosti se odnose na srednju vrijednost izmjerenih teških metala, druga vrijednost se odnosi na moguću pogrešku mjernog uređaja.

Prilog 3. Rezultati teških metala u topolama

Slika P3-III-1 Prikaz rezultata razine teških metala sa mogućim pogreškama uređaja, izmjerenih u uzorkovanim topolama.

10	9,31±0,549	0,194±0,014	5,52±0,115	1,53±0,098	0,220±0,011	2,89±0,060	120±4,66	43,0±0,516	14,7±1,03	0,385±0,012	8,86±0,309	0,168±0,003	47,7±3,43
11	23,8±2,02	1,08±0,057	3,24±0,097	0,525±0,023	0,103±0,004	2,12±0,088	130±5,74	39,1±0,627	4,05±0,283	0,216±0,017	5,24±0,110	0,402±0,020	6,21±0,353
12	5,02±0,175	2,12±0,174	5,57±0,256	0,697±0,030	0,090±0,007	1,80±0,072	25,8±0,696	1,20±0,025	6,16±0,154	0,343±0,009	0,804±0,025	0,114±0,003	21,2±0,807
13	40,5±1,62	1,72±0,153	4,02±0,152	0,550±0,011	0,152±0,013	2,56±0,085	171±9,94	28,3±0,735	4,90±0,107	0,369±0,025	4,55±0,327	0,516±0,012	7,15±0,150
14	8,30±,647	2,53±0,165	6,28±0,120	0,850±0,047	0,102±0,002	1,95±0,123	37,8±2,34	0,929±0,022	6,79±0,550	0,433±0,019	0,929±0,053	0,175±0,005	31,5±1,57
15	63,6±4,39	1,79±0,163	6,14±2,61	0,543±0,032	0,105±0,007	2,92±0,125	192±11,1	3,13±0,068	5,48±0,137	0,080±0,003	0,696±0,360	0,709±0,017	11,7±0,501
16	7,53±0,738	1,74±0,140	3,91±0,200	0,496±0,016	0,081±0,003	1,68±0,087	39,2±1,64	1,78±0,028	7,96±0,620	0,134±0,002	0,840±0,050	0,184±0,013	12,8±1,01
17	20,2±0,948	0,903±0,082	1,71±0,083	0,207±0,005	0,102±0,007	1,73±0,055	95,5±6,97	21,9±0,417	2,46±0,120	0,289±0,007	3,25±0,120	0,329±0,008	2,61±0,052
18	4,75±0,261	1,92±0,149	4,73±0,113	0,665±0,038	0,084±0,004	1,50±0,036	23,8±0,689	1,09±0,025	9,0±0,297	0,423±0,012	0,375±0,022	0,116±0,003	17,9±1,12
19	24,4±1,73	1,20±0,057	3,31±0,082	0,456±0,031	0,108±0,003	1,89±0,043	114±2,96	17,9±0,339	4,21±0,244	0,246±0,009	2,71±0,157	0,426±0,008	6,60±0,515
20	6,76±0,507	1,87±0,119	4,51±0,103	0,781±0,044	0,105±0,003	2,26±0,079	31,6±0,726	1,51±0,032	10,6±0,900	0,374±0,008	0,498±0,021	0,154±0,003	24,0±1,60
21	24,9±1,79	1,12±0,095	3,22±0,158	0,355±0,009	0,086±0,007	2,52±0,128	124±11,0	35,7±0,500	4,32±0,259	0,176±0,006	4,74±0,336	0,342±0,009	6,90±0,186
22	7,3±0,532	3,63±0,196	4,52±0,131	0,656±0,039	0,169±0,006	2,35±0,100	35,2±1,44	2,19±0,053	15,4±1,33	0,264±0,005	1,10±0,092	0,122±0,004	10,6±0,777
23	29,6±1,24	1,23±0,107	2,90±0,116	0,338±0,007	0,173±0,012	3,57±0,086	156±7,16	40,5±0,769	5,36±0,107	0,440±0,012	5,55±0,327	0,422±0,009	7,04±0,310
24	5,34±0,202	2,66±0,234	3,71±0,100	0,972±0,034	0,125±0,005	1,50±0,032	18,0±0,756	1,04±0,015	7,42±0,215	0,240±0,005	0,684±0,027	0,120±0,003	35,3±0,882
25	15,2±0,915	0,807±0,076	2,06±0,146	0,400±0,012	0,069±0,005	1,37±0,060	64,0±3,58	15,9±0,254	2,10±0,092	0,186±0,009	2,07±0,116	0,255±0,009	7,38±0,162
26	1,70±0,085	1,60±0,147	1,11±0,025	0,259±0,007	0,036±0,001	0,679±0,021	7,38±0,317	0,707±0,012	1,90±0,081	0,036±0,002	0,287±0,014	0,100±0,002	14,4±0,606
27	53,0±3,39	1,22±0,083	4,07±0,276	0,417±0,015	0,078±0,004	2,93±0,076	145±5,80	3,30±0,079	4,08±0,175	0,075±0,003	0,527±0,026	0,600±0,020	11,1±0,389
27 (2x)	34,9±0,941	1,0±0,037	3,28±0,075	0,371±0,008	0,061±0,002	2,43±0,071	113±4,76	2,85±0,128	3,26±0,088	0,072±0,004	0,520±0,032	0,504±0,014	10,2±0,235

Prve vrijednosti se odnose na srednju vrijednost izmjerenih teških metala, druga vrijednost se odnosi na moguću pogrešku mjernog uređaja.

Prilog 4. Rezultati Fitoakumulacijskog koeficijenta u uzorcima topola

Tablica P4-IV-1 Fitoakumulacijski koeficijenti za Aluminij (Al) prikazani uzorcima

Aluminij (Al)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,001094136
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,002797038
M-1 list (04.07.2017.)	0,001776362
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,01433121
M-1 list (19.07.2017.)	0,003117956
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,023891811
PANONIA list (31.05.2017.)	0,002726285
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,007313541
PANONIA list (04.07.2017.)	0,001999158
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,01026936
PANONIA list (19.07.2017.)	0,002905028
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,010700473
S1-8 list (31.05.2017.)	0,000172781
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,000700592
S1-8 list (04.07.2017.)	0,002911668
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,008287895
S1-8 list (19.07.2017.)	0,000951848
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,029675252
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,026459439

Tablica P4-IV-2 Fitoakumulacijski koeficijenti za Bor (B) prikazani uzorcima

Bor (B)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,16302521
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,907563025
M-1 list (04.07.2017.)	2,255319149
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	1,829787234
M-1 list (19.07.2017.)	3,614285714
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	2,557142857
PANONIA list (31.05.2017.)	2,39010989
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	1,240384615
PANONIA list (04.07.2017.)	2,084690554
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	1,302931596
PANONIA list (19.07.2017.)	2,444444444
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	1,464052288
S1-8 list (31.05.2017.)	3,524271845
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	1,194174757
S1-8 list (04.07.2017.)	4,65034965
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	1,410839161
S1-8 list (19.07.2017.)	2,985074627
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	2,276119403
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	2,415458937

Tablica P4-IV-3 Fitoakumulacijski koeficijenti za Barij (Ba) prikazani uzorcima

Barij (Ba)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,053592233
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,031456311
M-1 list (04.07.2017.)	0,0808418
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,058345428
M-1 list (19.07.2017.)	0,102614379
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,100326797
PANONIA list (31.05.2017.)	0,067530225
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,029533679
PANONIA list (04.07.2017.)	0,087430684
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,061182994
PANONIA list (19.07.2017.)	0,092607803
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,066119097
S1-8 list (31.05.2017.)	0,107109005
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,068720379
S1-8 list (04.07.2017.)	0,090931373
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,050490196
S1-8 list (19.07.2017.)	0,027959698
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,102518892
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,104792332

Tablica P4-IV-4 Fitoakumulacijski koeficijenti za Kadmij (Cd) prikazani uzorcima

Kadmij (Cd)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	7,574257426
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	2,599009901
M-1 list (04.07.2017.)	4,052325581
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	3,197674419
M-1 list (19.07.2017.)	5,743243243
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	3,668918919
PANONIA list (31.05.2017.)	3,517730496
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	1,468085106
PANONIA list (04.07.2017.)	5,277777778
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	3,619047619
PANONIA list (19.07.2017.)	6,1015625
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	2,7734375
S1-8 list (31.05.2017.)	7,903614458
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	4,072289157
S1-8 list (04.07.2017.)	8,917431193
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	3,669724771
S1-8 list (19.07.2017.)	2,3125
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	3,723214286
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	4,469879518

Tablica P4-IV-5 Fitoakumulacijski koeficijenti za kobalt (Co) prikazani uzorcima

Kobalt (Co)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,04206501
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,019694073
M-1 list (04.07.2017.)	0,019522777
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,0329718
M-1 list (19.07.2017.)	0,024697337
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,025423729
PANONIA list (31.05.2017.)	0,020769231
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,026153846
PANONIA list (04.07.2017.)	0,023076923
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,02967033
PANONIA list (19.07.2017.)	0,028532609
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,023369565
S1-8 list (31.05.2017.)	0,059717314
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,061130742
S1-8 list (04.07.2017.)	0,03869969
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,021362229
S1-8 list (19.07.2017.)	0,011538462
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,025
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,025957447

Tablica P4-IV-6 Fitoakumulacijski koeficijenti za bakar (Cu) prikazani uzorcima

Bakar (Cu)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,359900374
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,264009963
M-1 list (04.07.2017.)	0,251046025
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,357043236
M-1 list (19.07.2017.)	0,299539171
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,448540707
PANONIA list (31.05.2017.)	0,302158273
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,311151079
PANONIA list (04.07.2017.)	0,283553875
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,357277883
PANONIA list (19.07.2017.)	0,407207207
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,454054054
S1-8 list (31.05.2017.)	0,691176471
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	1,05
S1-8 list (04.07.2017.)	0,313807531
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,286610879
S1-8 list (19.07.2017.)	0,146969697
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,634199134
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,712609971

Tablica P4-IV-7 Fitoakumulacijski koeficijenti za Željezo (Fe) prikazani uzorcima

Željezo (Fe)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,008157716
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,008837525
M-1 list (04.07.2017.)	0,002010442
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,013325021
M-1 list (19.07.2017.)	0,003220859
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,016359918
PANONIA list (31.05.2017.)	0,003454353
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,00841558
PANONIA list (04.07.2017.)	0,00226451
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,010846813
PANONIA list (19.07.2017.)	0,003061126
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,012012012
S1-8 list (31.05.2017.)	0,003830667
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,01697682
S1-8 list (04.07.2017.)	0,001998224
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,007104796
S1-8 list (19.07.2017.)	0,000852194
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,016743649
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,017259814

Tablica P4-IV-8 Fitoakumulacijski koeficijenti za Krom (Cr) prikazani uzorcima

Krom (Cr)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,693548387
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,630645161
M-1 list (04.07.2017.)	0,085106383
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	2,007092199
M-1 list (19.07.2017.)	0,069849624
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,235338346
PANONIA list (31.05.2017.)	0,127142857
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	1,564285714
PANONIA list (04.07.2017.)	0,081954887
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	1,345864662
PANONIA list (19.07.2017.)	0,10942029
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	2,586956522
S1-8 list (31.05.2017.)	0,164661654
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	3,045112782
S1-8 list (04.07.2017.)	0,082539683
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	1,261904762
S1-8 list (19.07.2017.)	0,053969466
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,251908397
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,220930233

Tablica P4-IV-9 Fitoakumulacijski koeficijenti za Mangan (Mn) prikazani uzorcima

Mangan (Mn)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,040947075
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,011281337
M-1 list (04.07.2017.)	0,020740741
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,016498316
M-1 list (19.07.2017.)	0,025430712
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,020524345
PANONIA list (31.05.2017.)	0,031338583
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,009685039
PANONIA list (04.07.2017.)	0,037815126
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,017689076
PANONIA list (19.07.2017.)	0,044915254
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,018305085
S1-8 list (31.05.2017.)	0,070967742
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,024700461
S1-8 list (04.07.2017.)	0,0371
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,0105
S1-8 list (19.07.2017.)	0,00984456
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,021139896
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,022482759

Tablica P4-IV-10 Fitoakumulacijski koeficijenti za Molibden (Mo) prikazani uzorcima

Molibden (Mo)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,305555556
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,171428571
M-1 list (04.07.2017.)	0,593425606
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,638408304
M-1 list (19.07.2017.)	0,898340249
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,165975104
PANONIA list (31.05.2017.)	0,299107143
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,645089286
PANONIA list (04.07.2017.)	1,026699029
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,597087379
PANONIA list (19.07.2017.)	0,894736842
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,421052632
S1-8 list (31.05.2017.)	2
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	3,333333333
S1-8 list (04.07.2017.)	0,662983425
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,513812155
S1-8 list (19.07.2017.)	0,104046243
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,216763006
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,275862069

Tablica P4-IV-11 Fitoakumulacijski koeficijenti za nikel (Ni) prikazani uzorcima

Nikal (Ni)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,338167939
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,2
M-1 list (04.07.2017.)	0,072432432
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,40990991
M-1 list (19.07.2017.)	0,094795918
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,071020408
PANONIA list (31.05.2017.)	0,08974359
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,347222222
PANONIA list (04.07.2017.)	0,041390728
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,299116998
PANONIA list (19.07.2017.)	0,056590909
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,538636364
S1-8 list (31.05.2017.)	0,150891632
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,761316872
S1-8 list (04.07.2017.)	0,084863524
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,256823821
S1-8 list (19.07.2017.)	0,036653895
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,067305236
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,089193825

Tablica P4-IV-12 Fitoakumulacijski koeficijenti za olovo (Pb) prikazani uzorcima

Olovo (Pb)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	0,002818792
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,006744966
M-1 list (04.07.2017.)	0,002669789
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,012084309
M-1 list (19.07.2017.)	0,004666667
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,018906667
PANONIA list (31.05.2017.)	0,00584127
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,010444444
PANONIA list (04.07.2017.)	0,004157706
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,015268817
PANONIA list (19.07.2017.)	0,005480427
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,012170819
S1-8 list (31.05.2017.)	0,007530864
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,026049383
S1-8 list (04.07.2017.)	0,004958678
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,01053719
S1-8 list (19.07.2017.)	0,004081633
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,024489796
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,028156425

Tablica P4-IV-13 Fitoakumulacijski koeficijenti za Cink (Zn) prikazani uzorcima

Cink (Zn)	BAF
M-1 list (31.05.2017.)	1,463190184
M-1 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,190490798
M-1 list (04.07.2017.)	0,673015873
M-1 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,226984127
M-1 list (19.07.2017.)	1,082474227
M-1 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,402061856
PANONIA list (31.05.2017.)	0,474074074
PANONIA stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,096666667
PANONIA list (04.07.2017.)	0,75210084
PANONIA stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,277310924
PANONIA list (19.07.2017.)	0,9375
PANONIA stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,26953125
S1-8 list (31.05.2017.)	0,675159236
S1-8 stabljika +korijen (31.05.2017.)	0,448407643
S1-8 list (04.07.2017.)	1,738916256
S1-8 stabljika +korijen (04.07.2017.)	0,363546798
S1-8 list (19.07.2017.)	0,71641791
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.)	0,552238806
S1-8 stabljika +korijen (19.07.2017.) 2. priprema	0,693877551