

**»Mladi za napredek Maribora 2020«  
37. srečanje**

**VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V ZEMLJI IN RASTLINAH NA  
POPLAVNEM OBMOČJU DRAVE V OKOLICI DUPELEKA**

Raziskovalno področje:

VARSTVO OKOLJA

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

Avtor: BARBARA SIMONIČ, HELENA GODINA

Mentor: PIJA REP, KATJA HOLNTHANER ZOREC

Šola: II. GIMNAZIJA MARIBOR

Število točk: 151/ 170

**Maribor, 2020**



**»Mladi za napredek Maribora 2020«  
37. srečanje**

**VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V ZEMLJI IN RASTLINAH NA  
POPLAVNEM OBMOČJU DRAVE V OKOLICI DUPLEKA**

Raziskovalno področje:

VARSTVO OKOLJA

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

**Maribor, 2020**





## KAZALO VSEBINE

---

<b>POVZETEK</b> .....	4
<b>ZAHVALA</b> .....	5
<b>1 UVOD</b> .....	7
<b>1.1 Namen naloge</b> .....	8
<b>1.1 Raziskovalno vprašanje</b> .....	8
<b>1.2 Hipoteze in njihova razlaga</b> .....	8
<b>1.3 Metode dela</b> .....	9
<b>2 PREGLED LITERATURE</b> .....	10
<b>2.1 Težke kovine</b> .....	10
<b>2.2 Težke kovine v svetu in v sloveniji</b> .....	10
<b>2.3 Onesnaženost reke drave</b> .....	11
<b>2.4 Pregled dosedanjih raziskav</b> .....	12
<b>2.5 ICP-MS metoda</b> .....	13
<b>2.6 Poplavno območje reke drave</b> .....	14
<b>2.7 Vpliv težkih kovin na rastline</b> .....	14
<b>2.8 Vpliv težkih kovin na zdravje</b> .....	15
<b>2.9 Mejne in kritične imisijske vrednosti težkih kovin v tleh</b> .....	16
<b>3 PRAKTIČNI DEL</b> .....	18
<b>3.1 materiali in kemikalije</b> .....	19
<b>3.2 varnost pri delu</b> .....	19
<b>3.3 Aparature</b> .....	19
<b>3.4 Lokacije odvzema vzorcev zemlje in rastlin</b> .....	20
<b>3.5 Izbira rastlin za vzorčenje</b> .....	23
<b>3.6 Priprava vzorcev</b> .....	23
<b>4 REZULTATI</b> .....	26
<b>4.1 Rezultati - zemlja</b> .....	27
<b>4.1.1 Rezultati lokacija 1 - gozd:</b> .....	27
<b>4.1.2 Rezultati lokacija 2 - hrib:</b> .....	29
<b>4.1.3 Rezultati Lokacija 3 - cesta:</b> .....	32
<b>4.2 Rezultati - rastline</b> .....	34
<b>5 RAZPRAVA</b> .....	36
<b>5.1 Zemlja</b> .....	36
<b>5.1.1 Lokacija 1 (gozd)</b> .....	36

5.1.2	<b>Lokacija 2 (hrib)</b> .....	36
5.1.3	<b>Lokacija 3 (cesta)</b> .....	37
5.1.4	<b>primerjava lokacij/ vzorčih mest</b> .....	37
5.2	<b>Rastline</b> .....	<b>38</b>
6	<b>ZAKLJUČKI</b> .....	40
7	<b>DRUŽBENA ODGOVORNOST</b> .....	41
8	<b>BIBLIOGRAFIJA</b> .....	42

#### **Kazalo tabel:**

Tabela 1:	Mejne in kritične imisijske vrednosti težkih kovin v tleh (Uradni list RS, 1996) .....	16
Tabela 2:	Grafični prikaz vsebnosti posameznih merjenih težkih kovin vzorcev zemlje (lokacija 1 – gozd) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v mg/kg .....	27
Tabela 3:	Prikaz vsebnosti posameznih merjenih težkih kovin vzorcev zemlje (lokacija 1 – gozd) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v mg/kg .....	28
Tabela 4:	Grafični prikaz vsebnosti posameznih merjenih težkih kovin vzorcev zemlje (lokacija 2 – hrib) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v mg/kg .....	30
Tabela 5:	Prikaz vsebnosti posameznih merjenih težkih kovin vzorcev zemlje (lokacija 2 – hrib) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v mg/kg .....	31
Tabela 6:	Grafični prikaz vsebnosti posameznih merjenih težkih kovin vzorcev zemlje (lokacija 3 – cesta) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v mg/kg .....	32
Tabela 7:	Prikaz vsebnosti posameznih merjenih težkih kovin vzorcev zemlje (lokacija 3 – cesta) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v mg/kg .....	33
Tabela 8:	Prikaz vsebnosti posameznih merjenih težkih kovin vzorcev regrata (lokacija 3 –cesta) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v mg/kg .....	34

#### **Kazalo slik:**

Slika 1:	Izpusti težkih kovin po porečjih glede na posamezne industrijske panoge (ARSO, 2019).....	12
Slika 2:	Prikaz osnovnih komponent inštrumenta ICP-MS (Gilstrap, 2009).....	13
Slika 3:	Poplavno območje drave na območju dupleka pred in po izgradnji nasipov (Vodnogospodarski biro Maribor, 2016).....	14
Slika 4:	Tehnica mettler toledo ax205 (Osebni arhiv).....	20
Slika 5:	Lokacije 1,2 in 3 (googlemaps, 2019).....	21

Slika 6: Lokacija 1 - gozd (googlemaps, 2019) .....	21
Slika 7: Lokacija 2 - hrib (googlemaps, 2019) .....	22
Slika 8: Lokacija 3 - cesta (googlemaps, 2019).....	22
Slika 9: Nameščeni koluti v mikrovalovnem sistemu (Osebni arhiv).....	24
Slika 10: Graf poteka programa segrevanja (Osebni arhiv).....	24
Slika 11: Priprava vzorcev za vnos v icp-ms (Osebni arhiv).....	25
Slika 12: Naprava ICP-MS (Osebni arhiv).....	25
Slika 13: Avtomatski vzorčevalnik (autosampler) (Osebni arhiv).....	26

#### **Kazalo shem:**

SHEMA 1: priprava vzorcev zemlje za meritev ICP-MS.....	18
SHEMA 2: priprava vzorcev rastlin za meritev ICP-MS.....	18

#### **Kazalo grafov:**

Graf 1: Prikaz vsebnosti merjenih težkih kovin v vzorcih zemlje (lokacija 1 – gozd) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v odstotkih glede na mejno vrednost vsebnosti težkih kovin .....	27
Graf 2: Prikaz vsebnosti merjenih težkih kovin v vzorcih zemlje (lokacija 2 – hrib) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v odstotkih glede na mejno vrednost vsebnosti težkih kovin .....	29
Graf 3: Prikaz vsebnosti merjenih težkih kovin v vzorcih zemlje (lokacija 3 – cesta) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v odstotkih glede na mejno vrednost vsebnosti težkih kovin .....	32
Graf 4: Prikaz vsebnosti merjenih težkih kovin regrata (lokacija 3 – cesta) v odvisnosti od oddaljenosti od struge drave v odstotkih glede na vsebnosti težkih kovin v kontrolnem vzorcu.....	34



## POVZETEK

---

V tej raziskavi smo poskušali ugotoviti, kolikšna je vsebnost in kako se z oddaljenostjo od reke Drave na njenem poplavnem območju spreminja vsebnost težkih kovin v zemlji in rastlinah, ki rastejo na tem območju. Vzorce smo jemali na območju Dupleka, saj je Duplek eno izmed velikokrat poplavljenih območij. Po obdelavi vzorcev v laboratoriju in meritvah z metodo ICP-MS smo kot pričakovano ugotovili, da pri vzorcih zemlje pri vseh lokacijah v točkah, ki so tik ob strugi Drave vsebnost težkih kovin praviloma presega mejno vrednost<sup>1</sup>. Ko to primerjamo z najbolj oddaljeno točko pri vsaki lokaciji, ugotovimo, da vsebnost merjenih težkih kovin praviloma pade pod mejno vrednost. Če pa primerjamo točke le na eni lokaciji pa iz točke v točko vsebnost merjenih težkih kovin ne pada konstantno. Tudi pri vzorcih rastlin so ob strugi vsebnosti kovin povečane, potem pa praviloma padejo pod kontrolno vrednost<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Mejna imisijska vrednost, določena z Uradnim listom RS (1996), pove vsebnost določene nevarne snovi v tleh in pomeni obremenitev tal, ki zagotavljuje življenjske razmere za rastline in živali. Do mejne vrednosti se ne poslabšuje kakovost podzemne vode in rodovitnost tal. Pod to vrednostjo pa so vplivi na zdravje ljudi ali okolje še sprejemljivi (Uradni list RS, 1996).

<sup>2</sup> Kontrolna vrednost je vsebnost težkih kovin v kontrolnem vzorcu rastline, zrasle na nekontaminiranem območju.

## ZAHVALA

---

Iskreno se zahvaljujema mentoricama za strokovno vodenje in vso pomoč, ki sta nama jo nudile ob izdelavi raziskovalne naloge in ob pridobivanju vzorcev ter ustrezne literature. Zahvaljujema se za vso podporo, nasvete in čas, ki sta jih nama namenile. Izdelava raziskovalne naloge nama je prinesla mnoga nova znanja in izkušnje, za katere sva še posebej hvaležni.



## 1 UVOD

---

Povišana vsebnost težkih kovin v našem okolju je škodljiva, tako za zdravje ljudi, kot za živali in rastline. Z nalaganjem težkih kovin v človeškem telesu se lahko med drugim pojavijo poškodbe živčnega sistema, prebavnega trakta, srčno-žilnega sistema in reprodukcijskih organov (Sharma, Singh, & Siddiqi, 2014). Tudi pri živalih prevelika vsebnost težkih kovin povzroča bolezni. Težke kovine se v rastlinah in živalih nabirajo z bioakumulacijo. Bioakumulacija je kopičenje koncentracije nevarne snovi v rastlinah ali živalih, ki se z višino mesta v prehranjevalni verigi večja (Wang, 2016). Proces zajema kopičenje snovi, ki preidejo v organizem preko prehranjevanja, vdihavanja, kožnega stika in drugih poti (Kovačević & Selan, 2015).

Rastline za normalno rast in razvoj nujno potrebujejo kovine, kot so na primer železo, baker, cink, mangan in kobalt, saj delujejo kot aktivatorji encimov, ki delujejo pri fotosintezi, respiraciji in asimilaciji dušika (Gill, 2016). Rastline pri absorpciji hranil iz tal niso selektivne, zato poleg esencialnih sprejmejo tudi druge kovine. Odsotnost esencialnih kemijskih elementov lahko povzroči motnje v razvoju in rasti, če pa so prisotne tako esencialne kot neesencialne v prevelikih količinah, so za rastline toksične (Rojec, 2016). Kovine, kot so svinec, kadmij in živo srebro pa pri rastlinah nimajo biološke vloge. Povišane koncentracije neesencialnih kovin ovirajo delovanje biološko pomembnih molekul, kar lahko povzroči odmrtnje rastline. Povišana koncentracija teh kovin se po navadi pojavlja na območjih nahajališč rudnin kot posledica rudarjenja in na območjih s kovinami povezanih industrijskih dejavnosti (Mikuš, 2009). Težke kovine z izpiranjem v vodo preidejo v vodna telesa, reke in morja, kjer je problematično njihovo dolgotrajno kopičenje v sedimentih (ARSO, 2019).

Pomembno je, da so področja, kjer pridelujemo kulturne rastline, ekološko neoporečna in je vsebnost težkih kovin pod dovoljenimi mejnimi vrednostmi. Eno od problematičnih območij je okolica struge reke Drave na delih, kjer poplavlja. Sediment Drave je namreč zaradi odvajanja industrijskih odpadnih vod neposredno v vodotoke, kakor tudi posredno preko kanalizacijskih sistemov brez čistilnih naprav (ARSO, 2019), onesnažen s številnimi težkimi kovinami, ki jih reka ob poplavax razširja tudi po širši okolici struge, ne le ob njej.

Težke kovine, raztopljene v vodnih telesih, se usedejo na rečno dno in se tako naberejo v sedimentu. Kljub temu, da je dotok težkih kovin močno zmanjšan, se v sedimentu poznajo povišane koncentracije zaradi vplivov preteklih onesnaževalcev (Bole, 2009).

## 1.1 NAMEN NALOGE

---

Pregled osnovne literature je pokazal, da reka Drava vsebuje težke kovine, kot so cink, nikelj, krom, svinec, živo srebro in kadmij (ARSO, 2013). Zaradi tega smo se odločili, da preveriva, kolikšna vsebnost težkih kovin je v zemlji in v izbranih rastlinskih vrstah, ki so pogoste na območju, kjer smo vzorčili na poplavnem območju Drave v okolici Dupleka, saj je Duplek eno izmed velikokrat poplavljenih območij. Zanimalo nas je tudi, kako se vsebnost težkih kovin spreminja z oddaljenostjo od struge Drave. Na tem območju so tudi kmetijske površine in naselja, zato je vedenje o povišani koncentraciji pomembno za tamkajšnje prebivalce in obdelovalce zemlje.

## 1.1 RAZISKOVALNO VPRAŠANJE

---

V tej raziskavi bomo poskušali odgovoriti na vprašanja:

1. Kolikšna je vsebnost arzena, kadmija, bakra, svinca in cinka v določeni rastlinski vrsti - navadni regrat (*Taraxacum officinale*), in v vzorcih zemlje na izbranih lokacijah poplavnega območja Dupleka in okolice.
2. Kako oddaljenost od stare struge reke Drave na območju Dupleka vpliva na kontaminiranost le teh.

## 1.2 HIPOTEZE IN NJIHOVA RAZLAGA

---

Hipoteza 1: V poplavnem območju reke Drave je vsebnost težkih kovin (As, Cd, Cu, Zn, Pb) v zemlji in izbranih rastlinskih vrstah tik ob strugi Drave povišana nad mejno vrednost<sup>3</sup>.

Na povišano vsebnost težkih kovin na poplavnem območju Drave pričakujemo zaradi podatkov o onesnaženosti reke Drave in podatkov o poplavih, ki so se na tem območju pripetile v zadnjih dvajsetih letih (Vodnogospodarski biro Maribor, 2016).

Hipoteza 2: Vsebnost težkih kovin v zemlji in rastlinah se z oddaljenostjo od struge reke Drave zmanjšuje.

Predpostavljamo, da Drava poplavlja vsakič z drugačno razsežnostjo. Večkrat kot je neko območje poplavljeno, več težkih kovin se tam odloži. Ker v neposredni bližini Drave reka večkrat prestopi bregove, predpostavljamo, da je v ožjem pasu **ob reki** teh kovin največ.

---

<sup>3</sup> Mejne vrednosti so za merjene težke kovine navedene pod točko 2.9.

Hipoteza 3: Sistem induktivno sklopljene plazme z masnim spektrometrom (ICP-MS) bo učinkovita metoda za določanje vsebnosti težkih kovin v vzorcih.

Za to metodo smo se odločili, ker jo uporablja zavod NLZOH, kjer smo merjenja opravljali. Prav tako so za določanje vsebnosti težkih kovin že v dosedanjih raziskavah vsebnosti težkih kovin na poplavnem območju Meže uporabili prav to metodo (Fux & Gosar, 2007).

Hipoteza 4: Z oddaljenostjo vzorcev od struge Drave se bodo koncentracije težkih kovin v vzorcih zemlje in izbranih rastlinskih vrstah spustile pod mejno vrednost nevarne snovi.

Sklepamo, da se z oddaljenostjo od struge Drave vsebnost merjenih težkih kovin zmanjšuje v vzorcih zemlje in v vzorcih izbranih rastlinskih vrst. Ker so v zemlji, ki ni na poplavnem območju Drave in zaradi nje ni kontaminirana, težke kovine prisotne pod mejno vrednostjo, sklepamo, da vpliva Drave z oddaljenostjo ne bo več (ERICo, 1998).

### **1.3 METODE DELA**

---

V nalogi bodo uporabljene naslednje metode dela, ki so podrobneje opisane pod točko 2.3.2 - Metoda ICP-MS in 3 - Praktični del.

Vzorci zemlje:

- 1) Vzorčenje zemlje na izbranih lokacijah.
- 2) Sušenje vzorcev v sušilniku 48h na 90°C, sejanje skozi plastično sito, tehtanje vzorcev, priprava vzorcev za razklop.
- 3) Kislinski razklop in meritev kovin z uporabo ICP-MS spektrometrije.

Vzorci rastlin:

- 1) Nabiranje vzorcev rastlin na izbranih lokacijah.
- 2) Sušenje vzorcev, drobljenje s terilnico, tehtanje vzorcev, priprava vzorcev za razklop.
- 3) Kislinski razklop in meritev kovin z uporabo ICP-MS spektrometrije.

## **2 PREGLED LITERATURE**

---

### **2.1 TEŽKE KOVINE**

---

Med težke kovine uvrščamo kemijske elemente, ki imajo relativno visoko gostoto in so toksične že v majhnih koncentracijah. To so na primer živo srebro, kadmij, arzen, krom, svinec. Težke kovine so v naravi vsebovane v zemeljski skorji. V majhnih količinah vstopijo v telo s hrano, pijačo in zrakom. V sledovih so nekatere težke kovine (Cu, Se, Zn) esencialne za človeški metabolizem, v velikih količinah pa lahko vodijo k zastrupitvi. Zastrupitev s težkimi kovinami je lahko posledica pitja onesnažene pitne vode, visoke vsebnosti težkih kovin v zraku blizu virov emisij, ali vnos preko prehranjevalne verige (Lenntech, 2020).

Težke kovine so nevarne, ker se bioakumulirajo. Bioakumulacija pomeni večanje vsebnosti kemikalije v biološkem organizmu s časom. Spojine se akumulirajo v živih organizmih kadarkoli se v organizmih nabirajo hitreje kot se razgradijo ali izločijo (Lenntech, 2020).

Vir odvečnih težkih kovin v zemlji so nepravilno shranjevanje industrijskih odpadkov, uporaba pesticidov in gnojil, atmosfersko nanašanje in namakanje z odplakami. V atmosferi pa so glavni viri težkih kovin plin in prah, proizveden z metalurgijo in proizvodnjo gradbenih materialov (Chao & LiQin, 2014).

### **2.2 TEŽKE KOVINE V SVETU IN V SLOVENIJI**

---

V Sloveniji so izpusti svinca leta 2015 znašali 7,8 t, kar je 99% manj kot v letu 1990, najbolj zaradi vpeljave neosvinčenega bencina. Največji upad so zabeležili leta 1995, ko je začela veljati Direktiva o kakovosti motornega bencina in dizelskega goriva v zvezi z vsebnostjo žvepla, svinca in benzena. Glavni viri izpustov svinca so 2015 bili cestni promet, industrijski procesi in raba topil (ARSO, 2015).

Izpusti svinca so se v EU v letih 1990-2015 zmanjšali za 92 %. Največji upad je v tem obdobju zabeležila Latvija, izpusti so se v tem obdobju povečali le na Malti. Leta 2015 je najvišje izpuste svinca v EU beležila Poljska, najmanj pa Luksemburg. Grčija ni poročala o izpustih Pb (ARSO, 2015).

V letih 1990-2015 so se izpusti kadmija zmanjšali za 55% zaradi uporabe boljših tehnologij pri čiščenju odpadnih voda in zaradi zaprtja starejših in neekonomičnih industrijskih objektov. V EU so se izpusti v

letih 1990-2015 zmanjšali za 67%, največje izpuste kadmija v letu 2015 je imela Poljska, najmanj pa Malte, ki je dosegla največje zmanjšanje. Največji porast pa je imela Litva (ARSO, 2015). Glavni antropogeni viri kadmija so fosfatna gnojila in blato iz čistilnih naprav. Naravno se nahaja v zemeljski skorji (IVZ, 2013).

Antropogeni vir cinka v tleh so motorna olja, avtomobilске gume in protikorozijska zaščita vozil, viri kadmija pa dizelsko gorivo, obraba gum in zavornih oblog (Markelc, 2008).

Arzen se naravno nahaja v zemeljski skorji. Antropogeni viri As so pesticidi, industrijske odplake in podtalnica (Lenntech, 2019).

Baker se naravno pojavlja v okolju, antropogeni viri pa so fosfatna gnojila, produkcija lesa in kovin. V rekah se odlaga zaradi odplak, kontaminiranih z bakrom (Lenntech, 2019).

V svetu pa ima najmanjšo onesnaženost kmetijskih površin s težkimi kovinami Južna Koreja, najbolj onesnaženo pa je območje Kitajske in Malezije (Chao & LiQin, 2014).

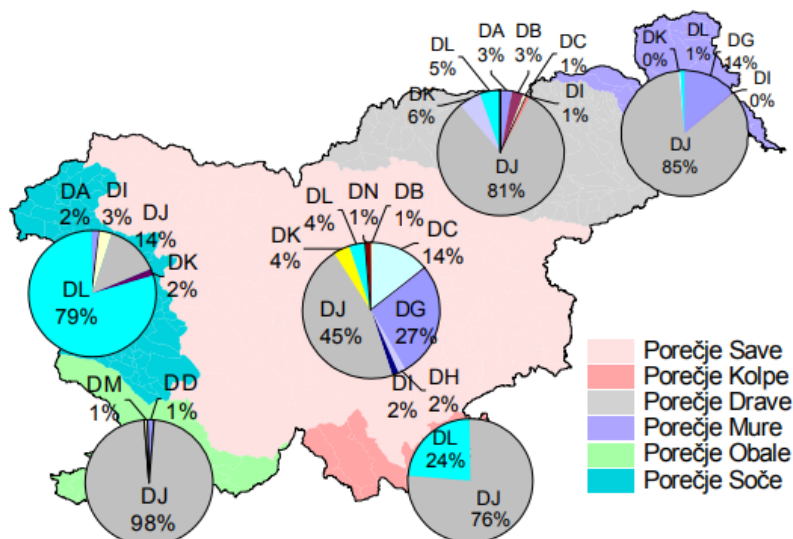
### **2.3 ONESNAŽENOST REKE DRAVE**

---

Težke kovine lahko vstopijo v vodne objekte z industrijskimi ali potrošniškimi odpadki, ali zaradi kislega dežja, ki razgrajuje zemljo in s tem sprosti težke kovine v potoke, reke, jezera ali v podtalnico (Lenntech, 2020). Reko Dravo s težkimi kovinami onesnažujejo predvsem industrijske odplake. V največji meri so to proizvodnja kovin in kovinskih izdelkov, sledijo obrati za proizvodnjo kemikalij in kemičnih izdelkov, umetnih vlaken, usnja, obutve in usnjenih izdelkov. Količina odpadnih kovin je leta 2000 v Dravskem porečju znašala okrog 1,5 tone. Od tega gre na račun kovinske industrije 81% (DJ), proizvodnja strojev in naprav 6% (DK), proizvodnja električne in optične opreme 5% (DL), proizvodnja hrane, pijač in krmil



(DA) in tekstilij (DB) 3% ter proizvodnja usnja, obutve in usnjenih izdelkov (DC) ter drugih nekovinskih mineralnih izdelkov (DI) 1% (ARSO, 2019).



SLIKA 1: IZPUSTI TEŽKIH KOVIN PO POREČJIH GLEDE NA POSAMEZNE INDUSTRIJSKE PANOGE (ARSO, 2019)

## 2.4 PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV

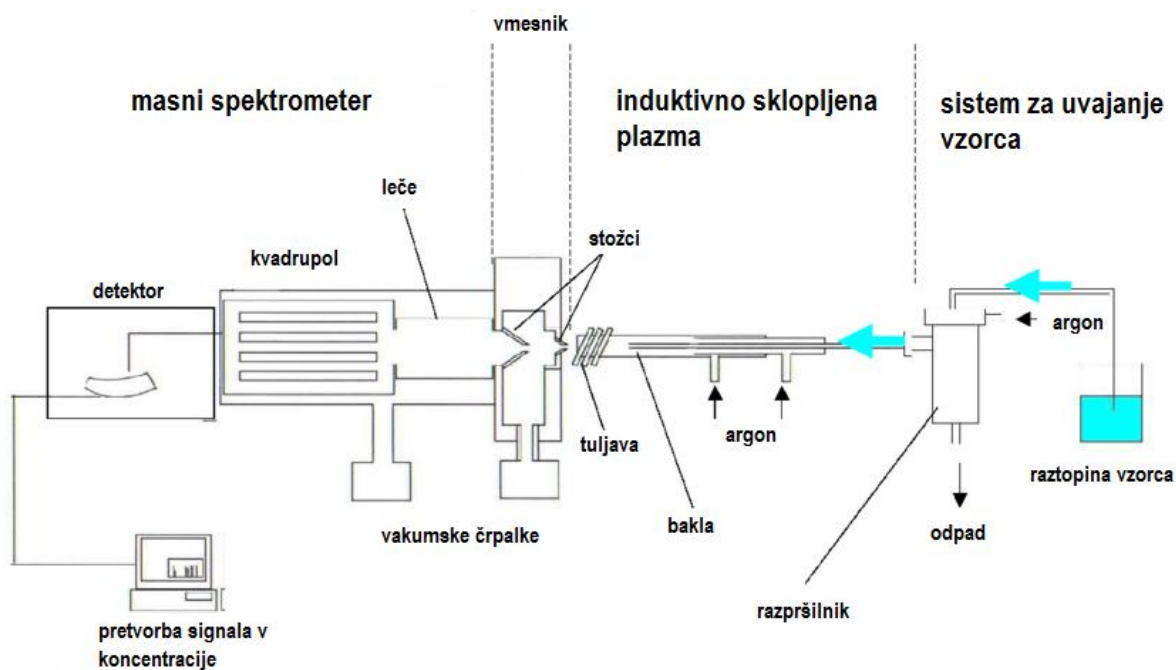
Na območju Drave v Zgornjem Dupleku še ni bila opravljena raziskava o vsebnosti težkih kovin v zemlji in rastlinah. Raziskava pa je bila opravljena na enem izmed pritokov Drave, in sicer na Meži. Ugotovili so, da se v primerjavi z območjem pred izlivom Meže v Dravo na območju izliva reke Meže, v reko Dravo vsebnost težkih kovin, ki smo jih opazovali tudi mi (Cd, Cu, Pb, Zn, As), poveča (Fux & Gosar, 2007).

- Arzen (As) – v sedimentu Drave so našli več As kot v sedimentu Meže. Vsebnost As je v vzorcih sedimenta Drave presegala zakonsko določeno mejno vrednost (27 mg/kg v prvem vzorcu in 23 mg/kg v drugem)
- Svinec (Pb) – primerjali so vzorce reke Drave pred izlivom Meže in za njim. Opazili so, da je vsebnost svineca v vzorcu za izlivom Meže povišana glede na vzorec, odvzet pred izlivom Meže (v prvem vzorcu z 81 na 221 mg/kg, v drugem pa z 76 na 111 mg/kg), torej je povišana vsebnost svineca v drugem vzorcu lahko posledica izliva reke Meže, ki vsebuje težke kovine zaradi rudarnjenja v rudniku svineca
- Cink (Zn) – vsebnost cinka se je glede po izlivu Meže tudi opazno povečala (v prvem vzorcu z 554 na 1568 mg/kg, v drugem z 604 na 1056 mg/kg)
- Kadmij (Cd) - v sedimentu Drave se vsebnost Cd po pritoku Meže tudi nekoliko poveča

- Baker (Cu) – v vzorcih sedimenta niso opazili bistvenih razlik v vsebnosti bakra pred in po izlivu Meže v Dravo (Fux & Gosar, 2007)

## 2.5 ICP-MS METODA

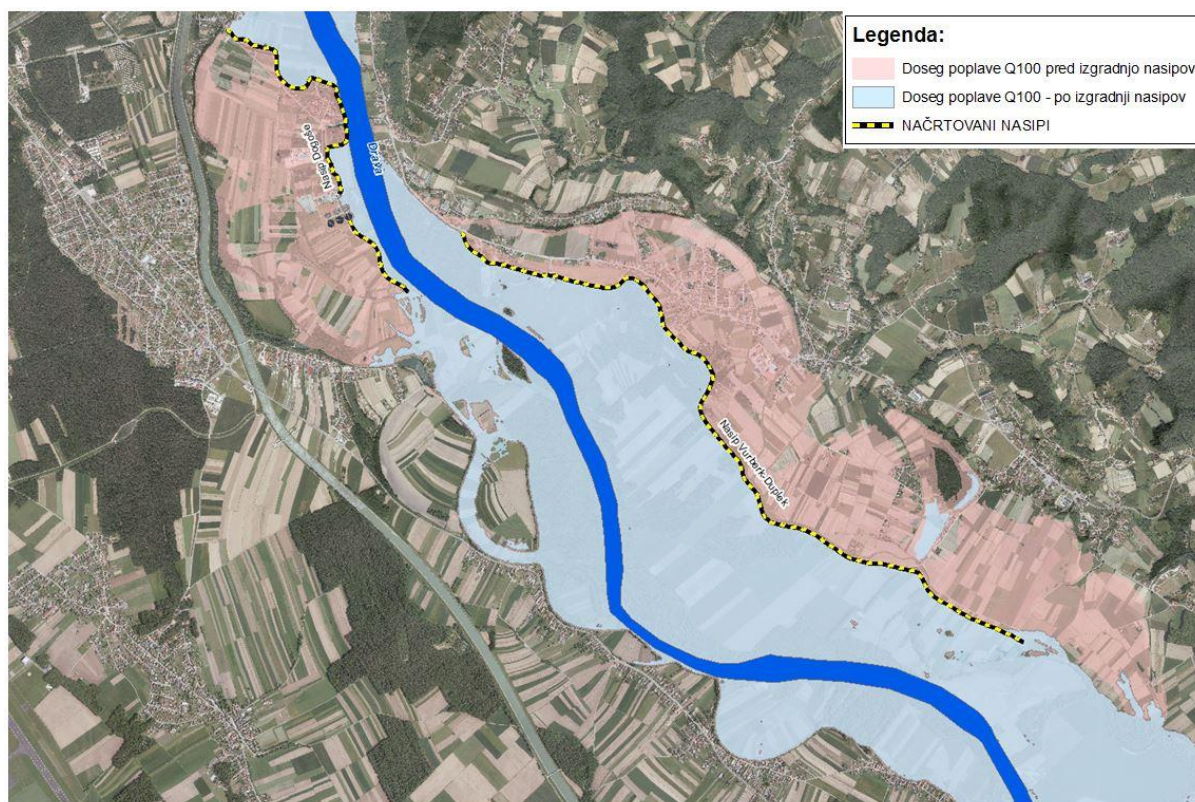
Masna spektrometrija se uporablja za določanje neznanih kemijskih spojin na podlagi lastnosti ionov. Ioni se v plinski fazi ločijo glede na razmerje masa/naboj iona (Petek, 2014). Pri metodi ICP-MS gre za kombinacijo induktivno sklopljene plazme in masne spektrometrije. To je analizna metoda, ki jo uporabljamo za določitev različnih elementov v vzorcih. Vzorci so vpeljani v plazmo argona v obliki aerosola. Plazma (6000 - 10000 K) aerosol osuši, disociira molekule, iz komponent odstrani elektron ter tako ustvari ion z enojnim nabojem. Ioni so nato preko sistema stožcev in leč usmerjeni v masni spektrometer, kjer se ločijo glede na razmerje masa/naboj. Po izstopu iz masnega spektrometra trčijo v elektronsko pomnoževalko, ki služi kot detektor. Programska oprema nato primerja intenziteto pulza vzorca z intenzitetami standardnih raztopin z umeritveno krivuljo. Tako se določi koncentracija elementa (PerkinElmer, Inc., 2011).



SLIKA 2: PRIKAZ OSNOVNIH KOMONENT INŠTRUMENTA ICP-MS (GILSTRAP, 2009)

## 2.6 POPLAVNO OBMOČJE REKE DRAVE

Vzorci zemlje in rastlin so bili odvzeti v poplavnem območju Drave pri Dupleku, kjer reka Drava poplavlja vsako leto. Pogosto prekorači pretoke s 5 do 10 – letno povratno dobo. Pretok s povratno dobo 10 let pomeni oceno količine pretoka vode, ki se statistično pojavi vsakih 10 let. To pomeni, da lahko pričakujemo, da se bo dogodek ponovil desetkrat na sto let, kar pa ne pomeni, da bo dogodek točno na deset let (ARSO, 2013). Takšni pretoki za območje Dupleka pomenijo večjo poplavljenost. Večje poplave v takšni razsežnosti so se v Dupleku zgodile v letih 1965 (UJMA, 2013), 1998 in 2012. Da bi omejili površino poplavljenega območja, so leta 2015 zgradili nasipe. Na spodnji sliki je prikazano poplavno območje 5 do 10 – letih voda pred izgradnjo nasipa (roza barva) in po njej (svetlo modra barva) (Vodnogospodarski biro Maribor, 2016).



SLIKA 3: POPLAVNO OBMOČJE DRAVE NA OBMOČJU DUPELEKA PRED IN PO IZGRADNJI NASIPOV (VODNOGOSPODARSKI BIRO MARIBOR, 2016)

## 2.7 VPLIV TEŽKIH KOVIN NA RASTLINE

Rastline črpajo težke kovine, ki so prisotne v zemlji, v kateri rastejo. Čeprav so za njihovo rast in vzdrževanje potrebne nekatere težke kovine, so za rastline prekomerne količine teh kovin toksične. Težke

kovine, kot so As, Pb in Cd, pa nimajo pozitivne vloge v rasti rastlin. Ker rastline težkih kovin ne morejo razgraditi, se njihova koncentracija neprestano veča in ko je presežena optimalna meja, kovine negativno vplivajo na rastlino. Med drugim rastlinam povzročajo oksidativni stres, onemogočajo delovanje metabolnih encimov in razvoj semen. Ti toksični efekti vodijo do zmanjšane rasti rastline in lahko povzročijo celo odmrtnje (Chibuike, 2014).

## **2.8 VPLIV TEŽKIH KOVIN NA ZDRAVJE**

---

Nekatere težke kovine so prisotne v naravi, vendar jih telo ne potrebuje in so za zdravje škodljive. Nalaganje težkih kovin v telesu lahko povzroči resne poškodbe prebavnega trakta, centralnega in perifernega živčnega sistema, srčno-žilnega sistema ter reprodukcijskih organov. Težke kovine vstopijo v telo z zaužitjem hrane, vode in vdihavanjem. S spojinami v telesu, ki vsebujejo žveplo, kisik ali dušik, se povežejo in deaktivirajo encimske sisteme ali spreminjajo strukturo beljakovin, kar vodi do napačnega delovanja celic in tudi odmrtnja (Sharma, Singh, & Siddiqi, 2014).

### a) CINK (Zn):

Cink je za človeško telo esencialna kovina in je ob železu drugi najbolj prisoten mineral. Potrebujemo ga za normalno delovanje imunskega sistema. Med drugim ima pomembno vlogo tudi pri delitvi in rasti celic, celjenju ran in razpadu ogljikovih hidratov. Vendar je prevelika vsebnost cinka za ljudi škodljiva, saj vodi do nevroloških problemov in anemije. Lahko se akumulira v ledvicah, kar jih akutno poškoduje. Prevelika vsebnost cinka povzroča tudi diarejo, slabost, zaspanost in povečano tveganje za raka prostate (BMJ, 2015).

### b) SVINEC (Pb):

Svinec v telesu nima koristne funkcije in lahko škoduje zdravju že v najnižjih koncentracijah. Povečana količina svinca vodi do slabokrvnosti, prizadetosti ledvic, duševnih motenj (na primer motnje vedenja in hiperaktivnost) in visokega krvnega tlaka. Pri ženskah lahko povzroči splav in poškoduje plod, pri moških pa lahko vodi do impotentnosti in zmanjšanja plodnosti (Obretan, 2016).

### c) ARZEN (As):

Arzen v človeškem telesu vpliva na zgradbo arterij, uravnavanje krvnega obtoka, živčni sistem, pljuča, jetra, ledvice in mehur. Kronična izpostavljenost pa povečuje tveganje za nastanek kožnega raka in lahko

vodi do kožnih bolezni. Izpostavljenost visokim koncentracijam arzena lahko povzroči stisk pljuč in smrt (Forstnerič, 2018).

d) KADMIJ (Cd):

Kadmij je toksičen predvsem za ledvice, saj se tam najbolj akumulira. Velika količina kadmija v človeškem telesu povzroča demineralizacijo kosti, kar je lahko posledica slabega delovanja ledvic ali zaradi neposredne poškodbe kosti (Bernard, 2008). Poveča tudi tveganje za razvoj raka na materničnem vratu, raka pljuč in raka dojke. Ob izpostavljenosti kadmiju pa je višje tudi tveganje za srčno-žilne bolezni (Forstnerič, 2018).

e) BAKER (Cu):

Baker je za naše zdravje esencialna kovina, vendar je prevelika izpostavljenost škodljiva. Dolgoročna izpostavljenost lahko povzroča glavobole, diarejo, omotico in iritacijo nosu in ust. Prekomerne količine bakra v telesu povzročajo poškodbe jeter in ledvic, lahko pa vodi tudi do smrti (ATSDR, 2004).

## **2.9 MEJNE IN KRITIČNE IMISIJSKE VREDNOSTI TEŽKIH KOVIN V TLEH**

Merjene koncentracije bomo primerjali z Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, 1996).

TABELA 1: MEJNE IN KRITIČNE IMISIJSKE VREDNOSTI TEŽKIH KOVIN V TLEH (URADNI LIST RS, 1996)

Nevarna snov	Mejna vrednost (mg/kg suhih tal)	Opozorilna vrednost(mg /kg suhih tal)	Kritična vrednost (mg/kg s uhih tal)
kadmij in njegove spojine, izražene kot Cd	1	2	12
baker in njegove spojine, izražene kot Cu	60	100	300
svinec in njegove spojine, izražene kot Pb	85	100	530
cink in njegove spojine, izražene kot Zn	200	300	720
arzen in njegove spojine, izražene kot As	20	30	55

**Mejna imisijska vrednost:** pove vsebnost določene nevarne snovi v tleh in pomeni obremenitev tal, ki zagotavljuje življenjske razmere za rastline in živali. Do mejne vrednosti se ne poslabšuje kakovost podzemne vode in rodovitnost tal. Pod to vrednostjo pa so vplivi na zdravje ljudi ali okolje še sprejemljivi.

**Opozorilna imisijska vrednost:** pove vsebnost določene nevarne snovi v tleh, pri kateri obstaja, ob določenih vrstah rabe tal, verjetnost škodljivih vplivov na zdravje človeka ali okolje.

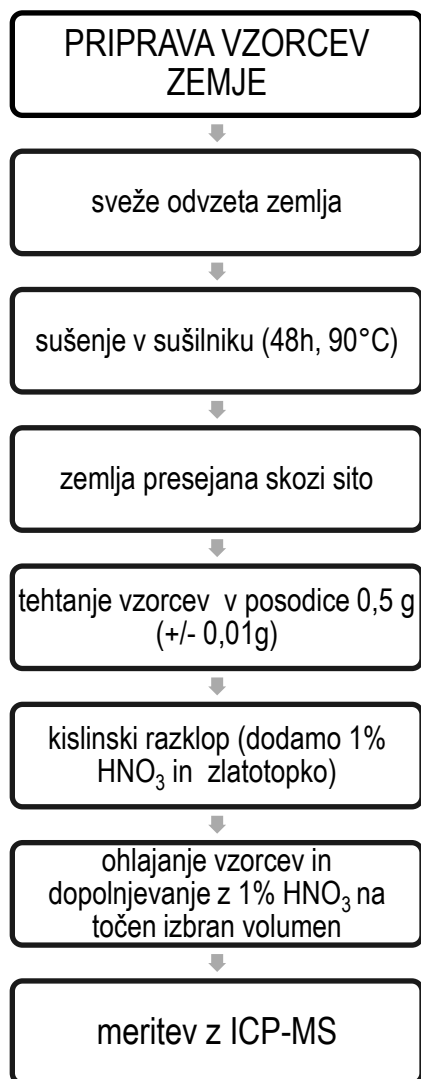
**Kritična imisijska vrednost:** pove vsebnost določene nevarne snovi v tleh, pri kateri zaradi škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi ali živali, ter za zadrževanje ali filtriranje vode.

(PIS, 1996)

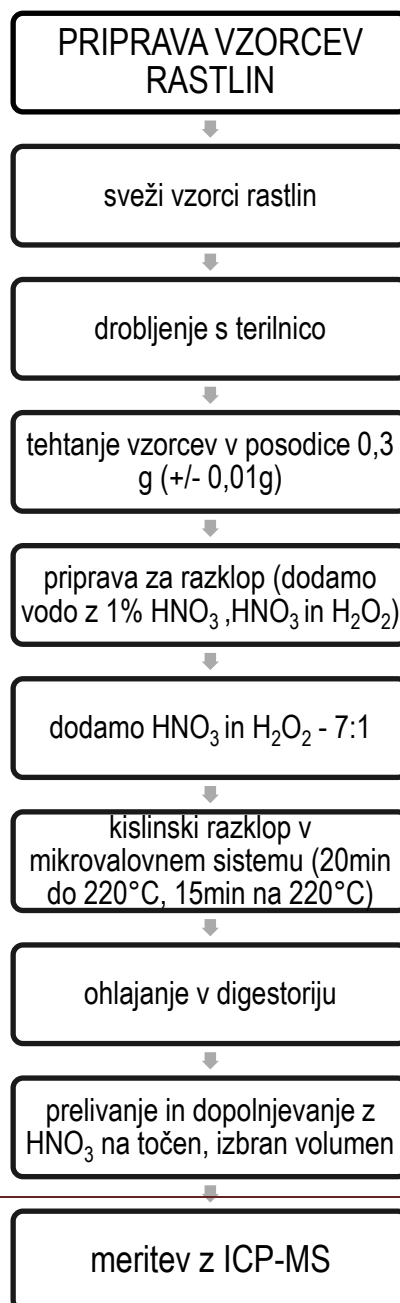
### 3 PRAKTIČNI DEL

---

HEMA 2: PRIPRAVA VZORCEV ZEMLJE ZA MERITEV Z ICP-MS



HEMA 1: PRIPRAVA VZORCEV RASTLIN ZA MERITEV Z ICP-MS



### 3.1 MATERIALI IN KEMIKALIJE

---

- ✓ Vzorci zemlje in rastlin odvzeti v kraju Duplek (2019)
- ✓ Destilirana voda z 1% HNO<sub>3</sub>
- ✓ Dušikova (V) kislina - 69,0-70,0% HNO<sub>3</sub>
- ✓ Klorovodikova kislina – 30,0% HCl
- ✓ Vodikov peroksid – 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

### 3.2 VARNOST PRI DELU

---

Pri rokovanju s kemikalijami smo upoštevali pravila varnosti pri delu. Uporabljali smo laboratorijski plašč, zaščitne rokavice in očala. Nevarni odpadki (HCl) smo odvrgli v določeno posodo za nevarne odpadke.

### 3.3 APARATURE

---

- ✓ Mikrovalovni sistem (Milestone ETHOS touch control)
- ✓ Tehnica (Mettler Toledo AX205)
- ✓ Razklopna enota (LabTech DigiBlock ED36S)
- ✓ inštrument ICP-MS (Perkin Elmer ELAN DRC-e)
- ✓ Sušilec (Instrumentaria)
- ✓ Sušilnik za lase (Phillips)
- ✓ Pipeta (Brand Transferpette)



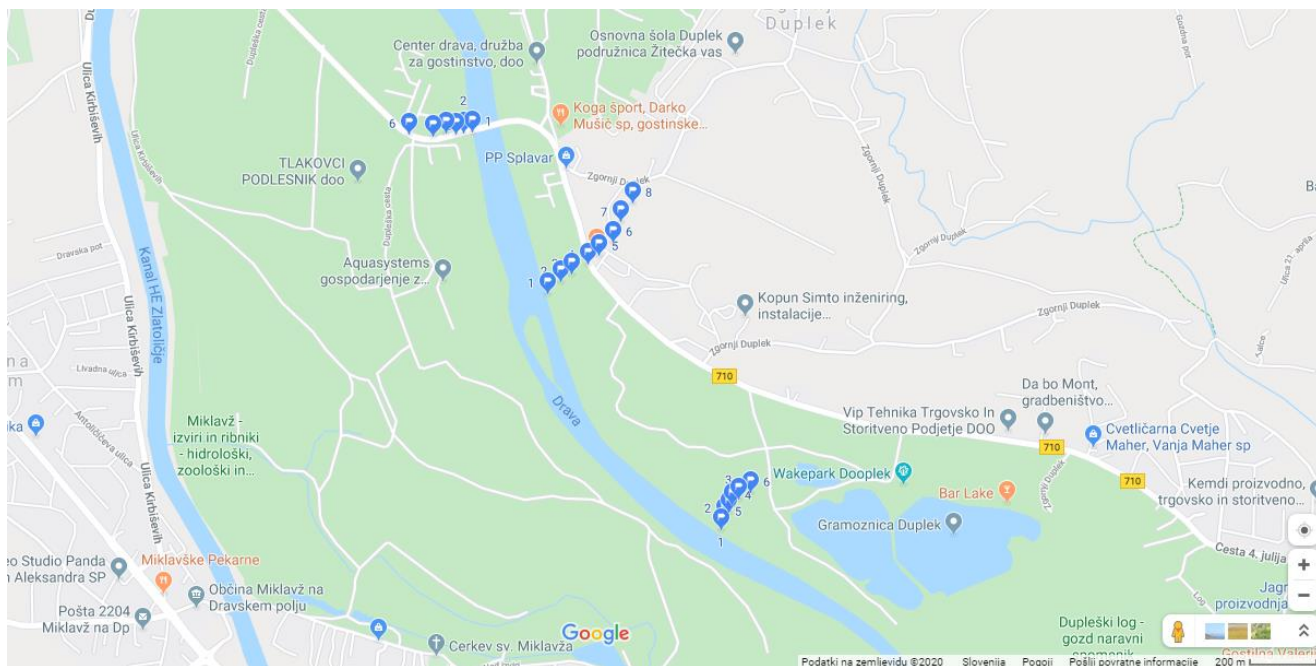


SLIKA 4: TEHTNICA METTLER TOLEDO AX205 (OSEBNI ARHIV)

### **3.4 LOKACIJE ODVZEMA VZORCEV ZEMLJE IN RASTLIN**

---

Za lokacijo odvzema vzorcev smo izbrali strugo reke Drave v Dupleku, saj literatura potrjuje, da je bilo na tem območju že več večjih poplav. Prav tako smo lokacije izbrali glede na dostopnost in poraščenost. Pri domačinih smo se tudi dodatno pozanimali o obsegu poplav. Vzorce rastlin in zemlje smo jemali iz treh lokacij z metodo linijskega transekta. Na vsaki lokaciji smo začeli pri strugi Drave in nato na več različnih točkah na približno enaki oddaljenosti med točkami jemali vzorce v določeni liniji. Prvo lokacijo smo vzorčili 15. oktobra 2019, drugo lokacijo 18. oktobra 2019 in tretjo 9. novembra 2019.



SLIKA 5: LOKACIJE 1,2 IN 3 (GOOGLEMAPS, 2019)

Lokacija 1 (gozd): Lokacija se nahaja v Zgornjem Dupleku približno 250 metrov od Gramoznice Duplek. Točka 1 se nahaja tik ob stari strugi Drave, na zelo poraščenem mestu. Lokacije 2 do 5 se nahajajo na območju gozda Dupleški log – gozd. Zadnja lokacija (6) je že na shojeni poti na obrobju gozda.



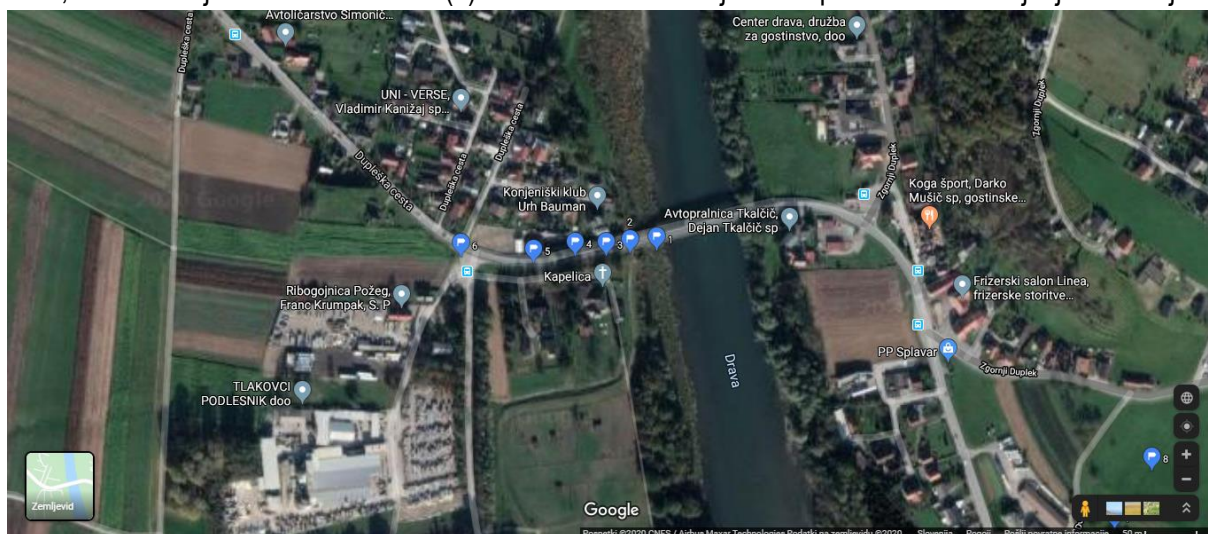
SLIKA 6: LOKACIJA 1 - GOZD (GOOGLEMAPS, 2019)

Lokacija 2 (hrib): lokacija 2 se nahaja bolj severno (po strugi Drave navzgor) kot lokacija 1 – za približno 900 metrov. Točka 1 se nahaja tik ob reki, točki 2 in 3 se nahajata na mejnem območju med tamkajšnjo njivo in gozdom. Točka 4 leži tik ob regionalni cesti 710 (Zgornji Duplek). Točke 5 do 8 pa se nadaljujejo v s travnatimi rastlinami poraščen hrib.



SLIKA 7: LOKACIJA 2 - HRIB (GOOGLEMAPS, 2019)

Lokacija 3 (cesta): Lokacija 3 se nahaja v Zgornjem Dupleku, severneje od lokacij 1 in 2 (navzgor po stari strugi Drave). Celotno območje se nahaja ob regionalni cesti 710 (Zgornji Duplek). Vse točke ležijo ob cesti, zadnja točka (6) se nahaja pred tamkajšnjo njivo.



SLIKA 8: LOKACIJA 3 - CESTA (GOOGLEMAPS, 2019)

### 3.5 IZBIRA RASTLIN ZA VZORČENJE

---

Pred izbiro vrst rastlin, ki smo jih uporabili za vzorčenje, smo najprej teren pregledali in ugotavljali, katere rastline so na posamezni lokaciji vzorčenja voljo in katere se pojavljajo vzdolž celotnega transeкта, na katerem smo opravljali vzorčenje. Vrste, ki smo jih vzorčili, so:

1. lokacija: Japonski dresnik (*Fallopia japonica*)  
Žlezava nedotika (*Impatiens glandulifera*)
2. lokacija: Navadna robida (*Rubus fruticosus*)
3. lokacija: Navadni regrat (*Taraxacum officinale*)  
Ozkolistni trpotec (*Plantago lanceolata*)

### 3.6 PRIPRAVA VZORCEV

---

Vzorke smo nabrali s pomočjo plastičnih pripomočkov, tako da z njimi nismo dodatno kontaminirali vzorcev s kovinami. Vzorce zemlje smo glede na lokacijo odvzema shranjevali v plastičnih posodicah s plastičnim pokrovčkom in jih ustrezno označili. Iz vsake lokacije smo na določeni točki odvzeli vzorec zemlje iz površine 10cm x 10cm in globine do okoli 5cm. Vzorce smo 48 ur sušili v sušilniku pri 90°C. Vsak posušen vzorec smo presejali skozi plastično sito, da so vsi imeli isto granulacijo. Po vsakem sejanju smo sito umili z vodo in ga posušili s pomočjo sušilnika z lase. Nato smo na tehtnici odtehtali 0,5 g (+/- 0,01g) vzorca za kemijsko analizo.

Vzorke rastlin smo najprej oprali z vodo, da smo odstranili zemljo, ki bi vzorce lahko dodatno kontaminirala. Nato smo vzorce dva tedna sušili na belih papirnatih brisačah, s katerimi so vzorci bili tudi prekriti, da smo preprečili, kontaminacijo vzorcev s prahom. Posušene vzorce smo razporedili v plastične vrečke, jih ustrezno označili in jih s pomočjo kamnitega terila zdrobili na enako velike delce. Nato smo v teflonske posodice odtehtali 0,3 g (+/- 0,01g) vzorca za kemijsko analizo.

Suhe vzorce navlažimo z 1% HNO<sub>3</sub>, saj so kovine stabilne v kislem okolju.

Dodali smo HNO<sub>3</sub> in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v razmerju 7:1. Teflonske posodice smo namestili v večje kolute, ki so namenjeni obdelavi z mikrovalovnim sistemom in teflon zavarujemo pred visokim tlakom in temperaturo. Kolute smo namestili v mikrovalovni sistem in vzorce obdelamo po programu (graf programa viden na Sliki 10:

- 20 minut postopnega segrevanja do 220°C
- 15 minut segrevanje na stalni temperaturi 220°C

- ohlajanje do sobne temperature v digestoriju in dopolnjevanje na točen izbran volumen z  $\text{HNO}_3$



SLIKA 9: NAMEŠČENI KOLUTI V MIKROVALOVNEM SISTEMU (OSEBNI ARHIV)

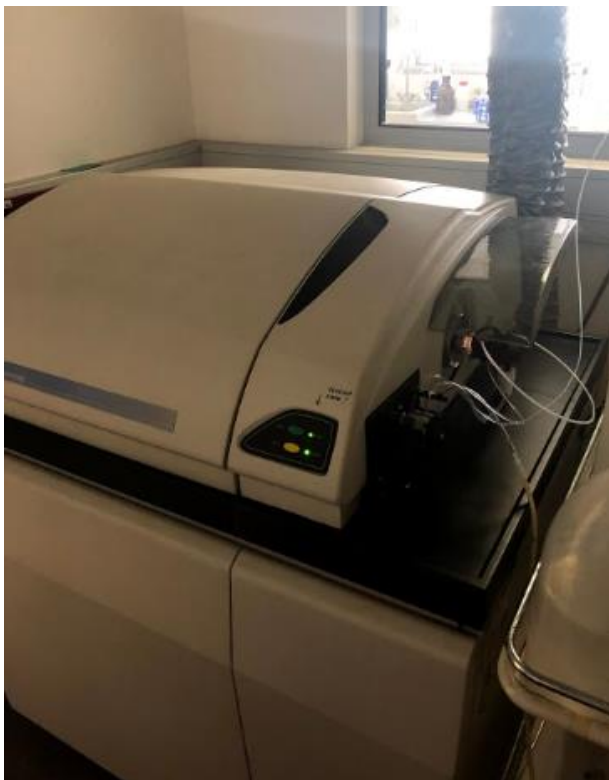


SLIKA 10: GRAF POTEKA PROGRAMA SEGREVANJA (OSEBNI ARHIV)

Po obdelavi z mikrovalovnim sistemom smo vzorcem dodali dušikovo (V) kislino  $\text{HNO}_3$  na točen izbran volumen. S tem smo razgradili organsko snov. Vzorce smo namestili v aparaturo ICP-MS, kjer smo izmerili koncentracije kovin v vzorcih. Tako smo dobili količino posamezne težke kovine v vsakem vzorcu.



SLIKA 11: PRIPRAVA VZORCEV ZA VNOS V ICP-MS (OSEBNI ARHIV)



SLIKA 12: NAPRAVA ICP-MS (OSEBNI ARHIV)



SLIKA 13: AVTOMATSKI VZORČEVALNIK (AUTOSAMPLER) (OSEBNI ARHIV)

## 4 REZULTATI

---

V grafih so prikazani rezultati naših meritev, preračunani v odstotkih glede na mejno vrednost za posamezno kovino. V tabelah so prikazane dejanske vrednosti vsake kovine v enoti mg/kg. Za vsako opazovano kovino so pri vsaki lokaciji prikazani tudi grafi dejanske vrednosti vsake merjene kovine posebej.

## 4.1 REZULTATI - ZEMLJA

### 4.1.1 REZULTATI LOKACIJA 1 - GOZD:

GRAF 1: PRIKAZ VSEBNOSTI MERJENIH TEŽKIH KOVIN V VZORCIH ZEMLJE (LOKACIJA 1 – GOZD) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V ODSOTKIH GLEDE NA MEJNO VREDNOST VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN

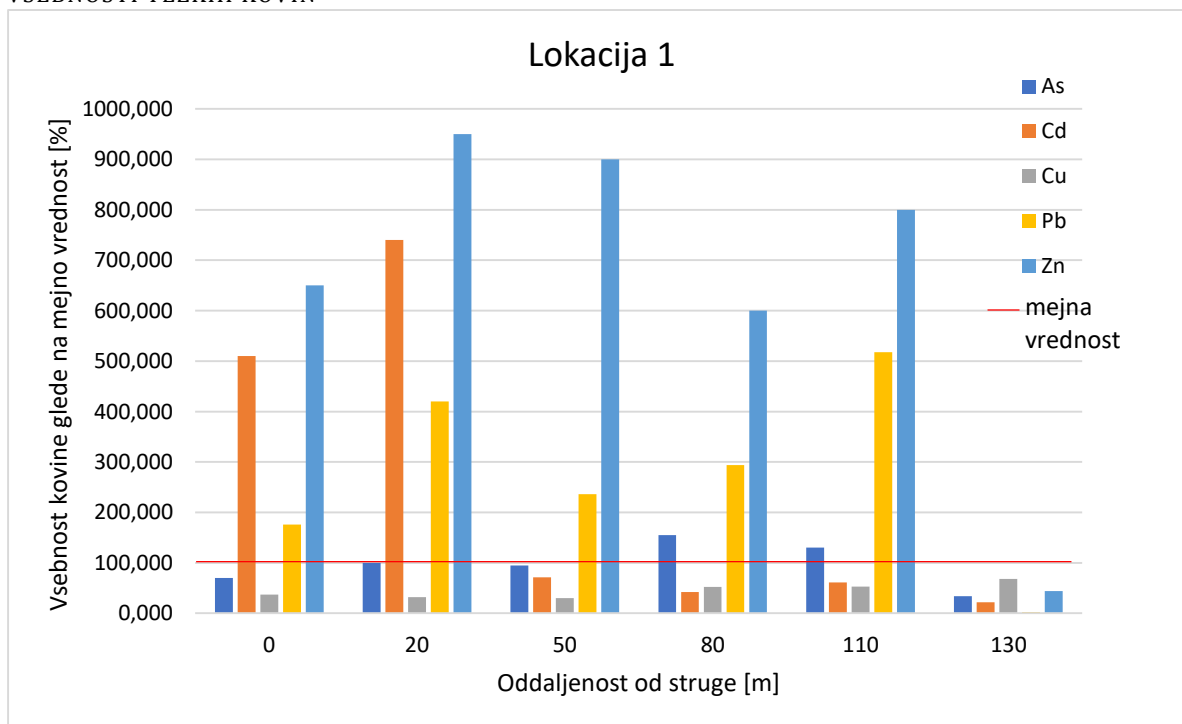
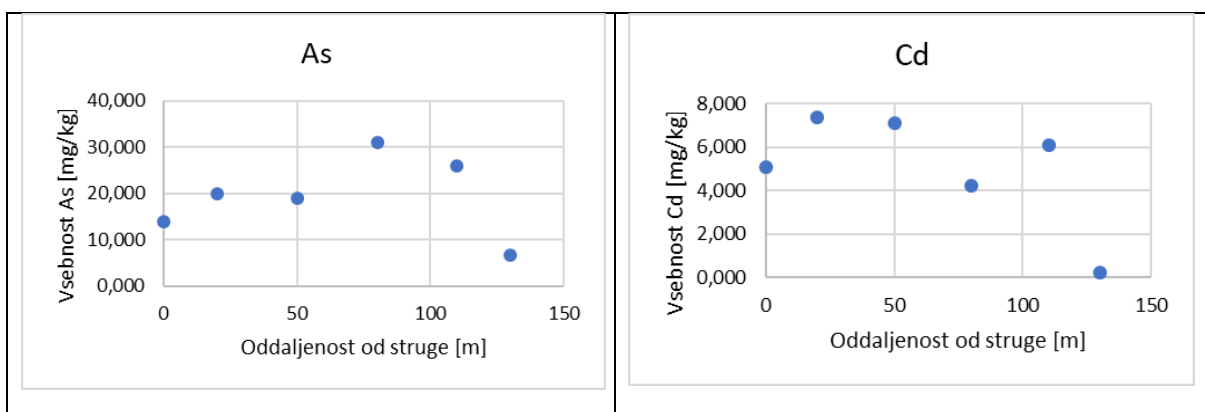


TABELA 2: GRAFIČNI PRIKAZ VSEBNOSTI POSAMEZNIH MERJENIH TEŽKIH KOVIN VZORCEV ZEMLJE (LOKACIJA 1 – GOZD) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V MG/KG





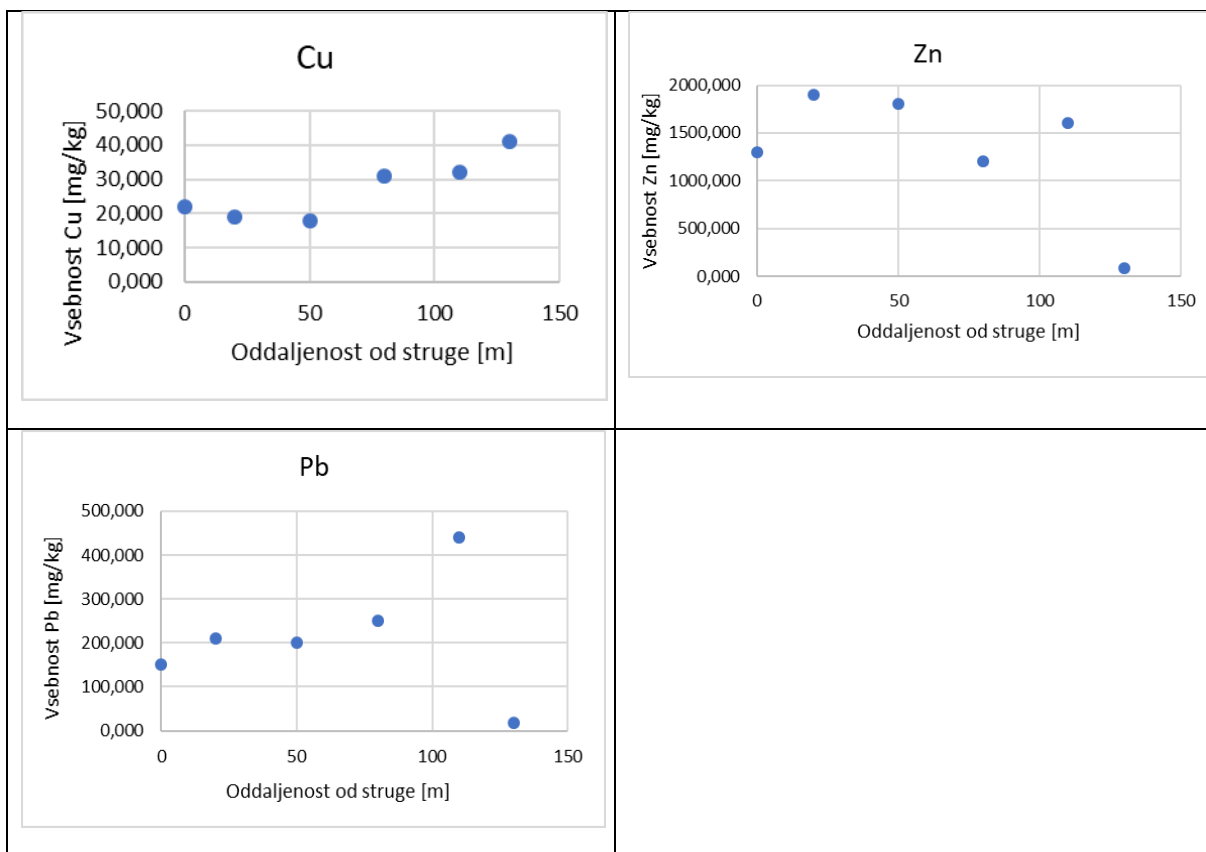


TABELA 3: PRIKAZ VSEBNOSTI POSAMEZNIH MERJENIH TEŽKIH KOVIN VZORCEV ZEMLJE (LOKACIJA 1 - GOZD) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V MG/KG

št. točke	1. 1	1. 2	1. 3	1. 4	1. 5	1. 6
oddaljenost od struge [m]	0	20	50	80	110	130
As [mg/kg]	14	20	19	31	26	6,7
Cd [mg/kg]	5,1	7,4	7,1	4,2	6,1	0,22
Cu [mg/kg]	22	19	18	31	32	41
Pb [mg/kg]	150	210	200	250	440	19
Zn [mg/kg]	1300	1900	1800	1200	1600	87

Mejno vrednost najbolj presega Zn, ki ima na petih lokacijah vsebnost nad kritično vrednostjo, ki znaša 720 mg/kg. Na zadnji točki vsebnost Zn in Pb drastično pade, tako je vsebnost vseh opazovanih kovin pod mejno vrednostjo. Svinec na prvih petih lokacijah presega mejno vrednost, vendar ne v takšni meri kot cink. Svinec je na prvih štirih lokacijah nad opozorilno vrednostjo, ki znaša 100 mg/kg. Vrednosti kadmija v prvih dveh točkah močno presegata mejno vrednost, nato pa vsebnost pade pod mejno vrednost v naslednjih štirih lokacijah. Vrednosti bakra so na vseh lokacijah pod mejno vrednostjo, vrednost bakra se giblje od 30 do 68% mejne vrednosti. Arzen na dveh točkah preseže mejno vrednost za največ 55%, vendar se na oddaljenosti 130m od struge spet spusti pod mejno vrednost.

#### 4.1.2 REZULTATI LOKACIJA 2 - HRIB:

GRAF 2: PRIKAZ VSEBNOSTI MERJENIH TEŽKIH KOVIN V VZORCIH ZEMLJE (LOKACIJA 2 - HRIB) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V ODSOTOKIH GLEDE NA MEJNO VREDNOST VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN

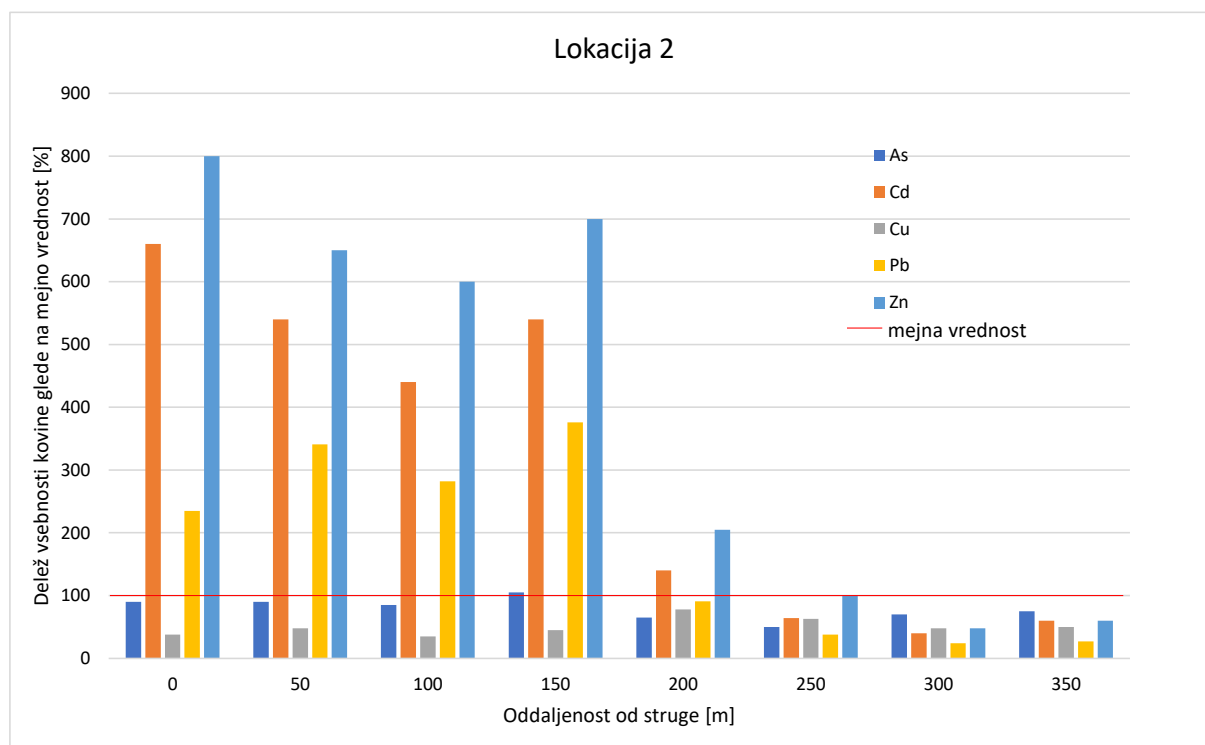


TABELA 4: GRAFIČNI PRIKAZ VSEBNOSTI POSAMEZNIH MERJENIH TEŽKIH KOVIN VZORCEV ZEMLJE (LOKACIJA 2 - HRIB) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V MG/KG

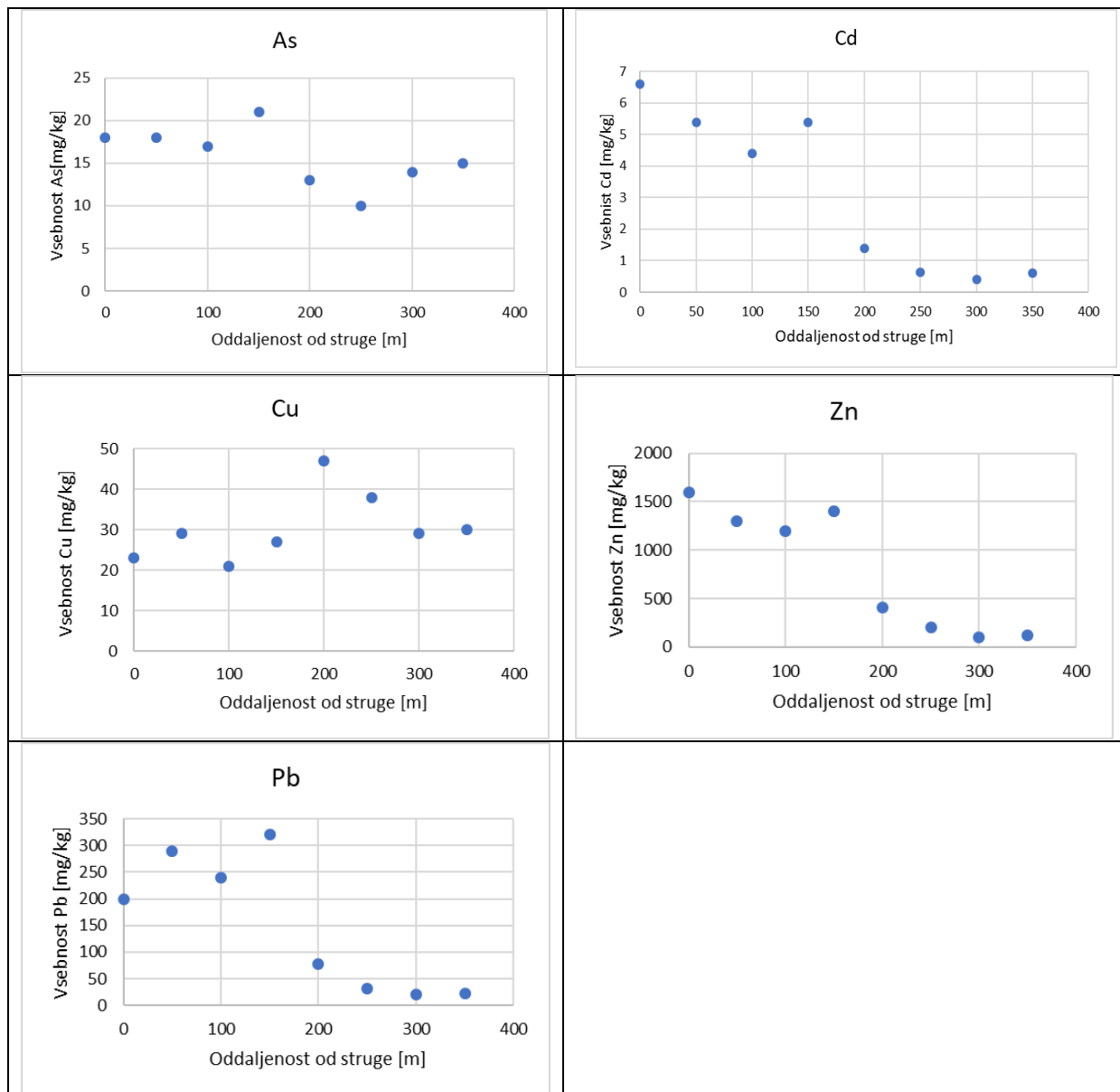


TABELA 5: PRIKAZ VSEBNOSTI POSAMEZNIH MERJENIH TEŽKIH KOVIN VZORCEV ZEMLJE (LOKACIJA 2 – HRIB) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V MG/KG

št. točke	2, 1	2, 2	2, 3	2, 4	2, 5	2, 6	2, 7	2, 8
Oddaljenost od struge [m]	0	50	100	150	200	250	300	350
As [mg/kg]	18	18	17	21	13	10	14	15
Cd [mg/kg]	6,6	5,4	4,4	5,4	1,4	0,64	0,4	0,6
Cu [mg/kg]	23	29	21	27	47	38	29	30
Pb [mg/kg]	200	290	240	320	77	32	20	23
Zn [mg/kg]	1600	1300	1200	1400	410	200	96	120

Kot vidimo iz Grafa 2, večina opazovanih težkih kovin tik ob strugi presega mejno vrednost. Vsebnost kovin drastično pade na oddaljenosti 200m od struge Drave. Najbolj izstopa Zn, saj na prvih štirih lokacijah (torej do 150m) presega celo kritično vrednost, ki je 720 mg/kg. Na peti točki presega opozorilno vrednost, ki je 300 mg/kg, od 250m dalje pa je vsebnost cinka pod mejno vrednostjo, ki znaša 200 mg/kg. Kadmij nikoli ne presega kritične meje (12 mg/kg), vendar na prvih štirih lokacijah – do 150m, presega opozorilno mejo (2 mg/kg), nad mejno vrednostjo pa se nahaja na prvih petih lokacijah – do 200m, nato se spusti pod mejno vrednost. Svinec do vključno 150m presega opozorilno vrednost (100 mg/kg), na 200m do 350m pa se spusti pod mejno vrednost (85 mg/kg). Ostali kovini, torej arzen in baker sta na vsaki točki pod mejno vrednostjo, z izjemo arzena na razdalji 150m od struge, ko pride 5% nad mejno vrednost.

### 4.1.3 REZULTATI LOKACIJA 3 - CESTA:

GRAF 3: PRIKAZ VSEBNOSTI MERJENIH TEŽKIH KOVIN V VZORCIH ZEMLJE (LOKACIJA 3 - CESTA) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V ODSOTOKIH GLEDE NA MEJNO VREDNOST VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN

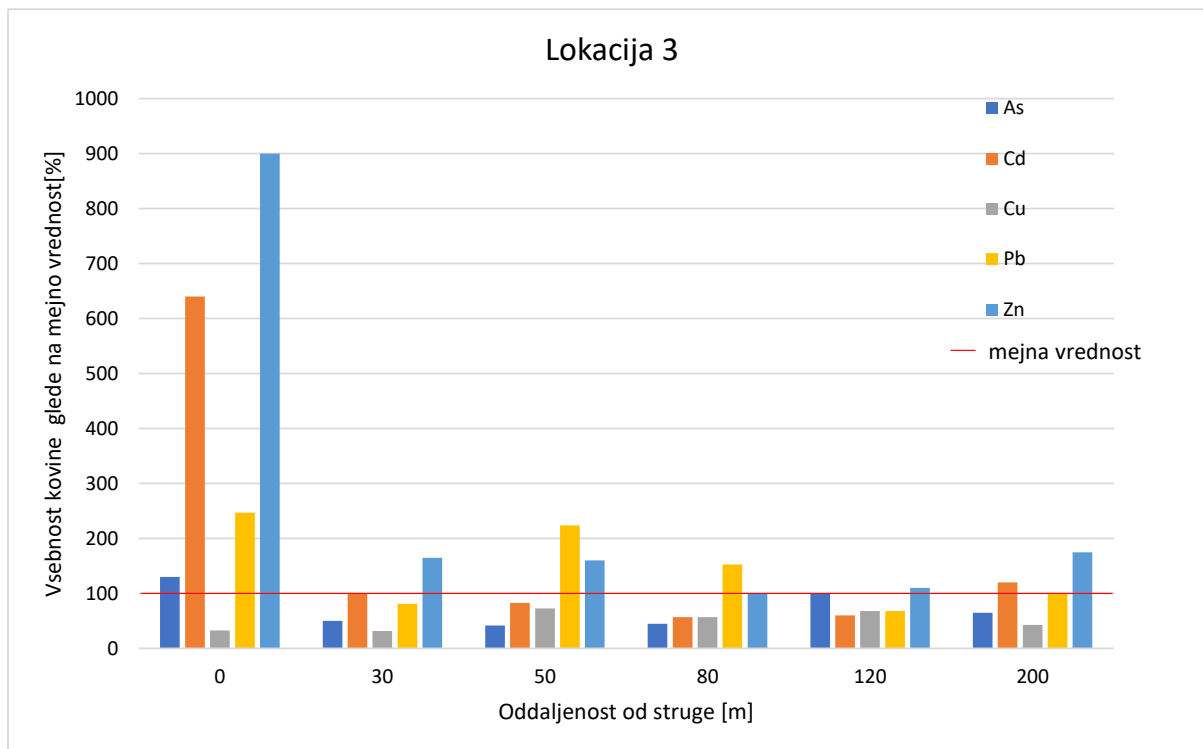
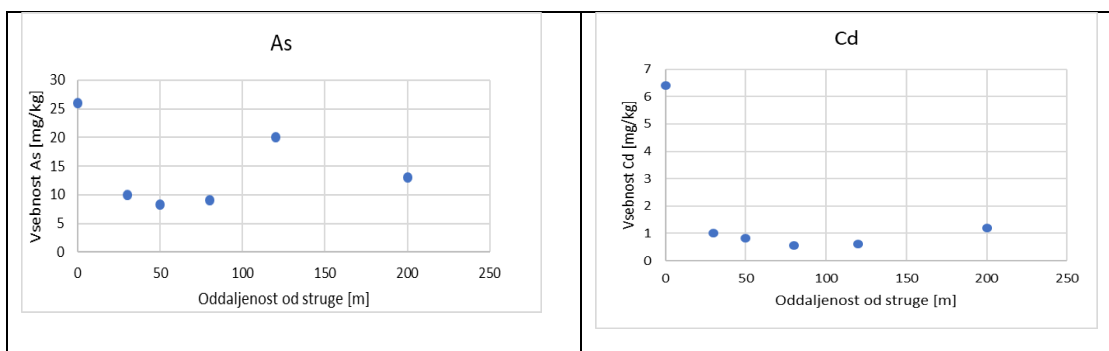


TABELA 6: GRAFIČNI PRIKAZ VSEBNOSTI POSAMEZNIH MERJENIH TEŽKIH KOVIN VZORCEV ZEMLJE (LOKACIJA 3 - CESTA) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V MG/KG



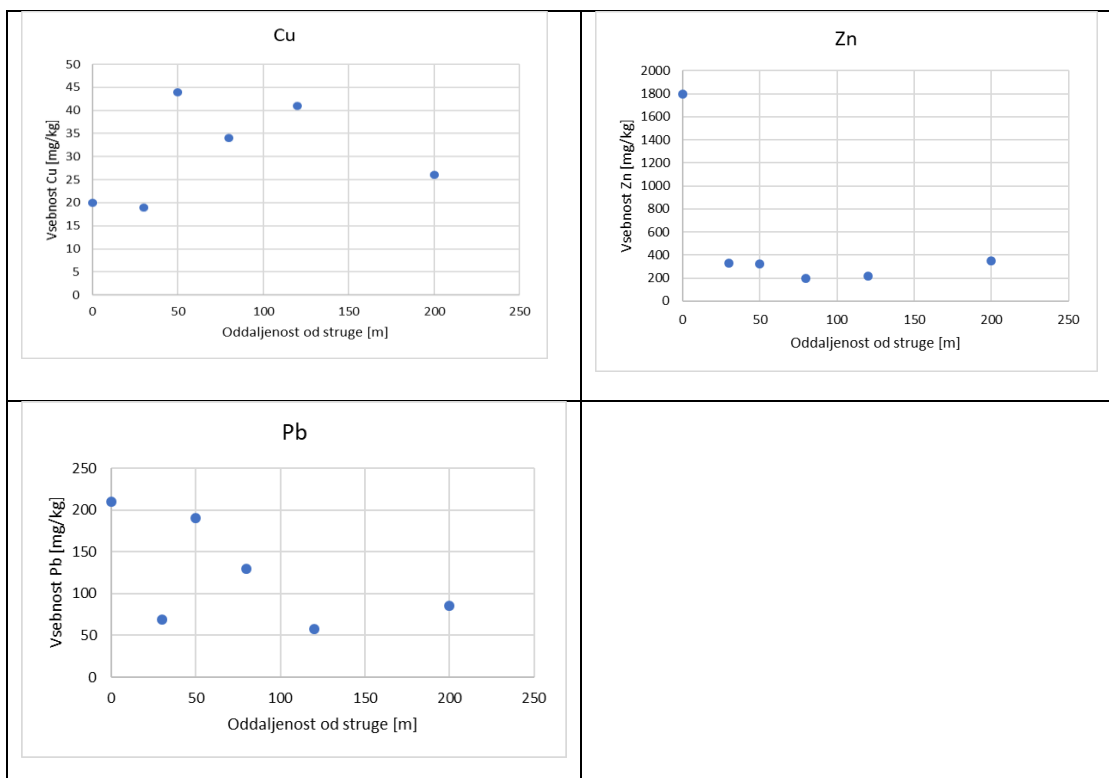


TABELA 7: PRIKAZ VSEBNOSTI POSAMEZNIH MERJENIH TEŽKIH KOVIN VZORCEV ZEMLJE (LOKACIJA 3 - CESTA) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V MG/KG

Št. točke	3, 1	3, 2	3, 3	3, 4	3, 5	3, 6
Oddaljenost od struge [m]	0	30	50	80	120	200
As [mg/kg]	26	10	8,3	9	20	13
Cd [mg/kg]	6,4	1	0,83	0,57	0,6	1,2
Cu [mg/kg]	20	19	44	34	41	26
Pb [mg/kg]	210	69	190	130	58	85
Zn [mg/kg]	1800	330	320	200	220	350

Kot vidimo iz Grafa 3 je vsebnost Zn v primerjavi z drugimi kovinami tudi pri tej lokaciji najbolj povečana. Na prvi točki presega celo kritično vrednost, ki znaša 720 mg/kg. Cink na vseh lokacijah presega mejno vrednost, razen na četrti lokaciji, kjer je njegova vsebnost enaka mejni vrednosti, ki znaša 200 mg/kg. Svinec je povečan v prvi, tretji in četrti lokaciji, kjer tudi presega opozorilno vrednost (100 mg/kg). Vsebnost kadmija je najbolj povečana v prvi lokaciji, kjer tudi presega opozorilno vrednost (2mg/kg). Nad mejno vrednost se njegova vrednosti povzpne tudi na zadnji točki (200m od struge). Arzen mejno vrednost presega le v prvi točki, kjer je njegova vrednost 30% nad mejno, v ostalih lokacijah je ne presega. Vsebnost bakra se v vseh točkah nahaja pod mejno vrednostjo.

## 4.2 REZULTATI - RASTLINE

GRAF 4: PRIKAZ VSEBNOSTI MERJENIH TEŽKIH KOVIN REGRATA (LOKACIJA 3 – CESTA) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V ODSOTKIH GLEDE NA VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN V KONTROLNEM VZORCU

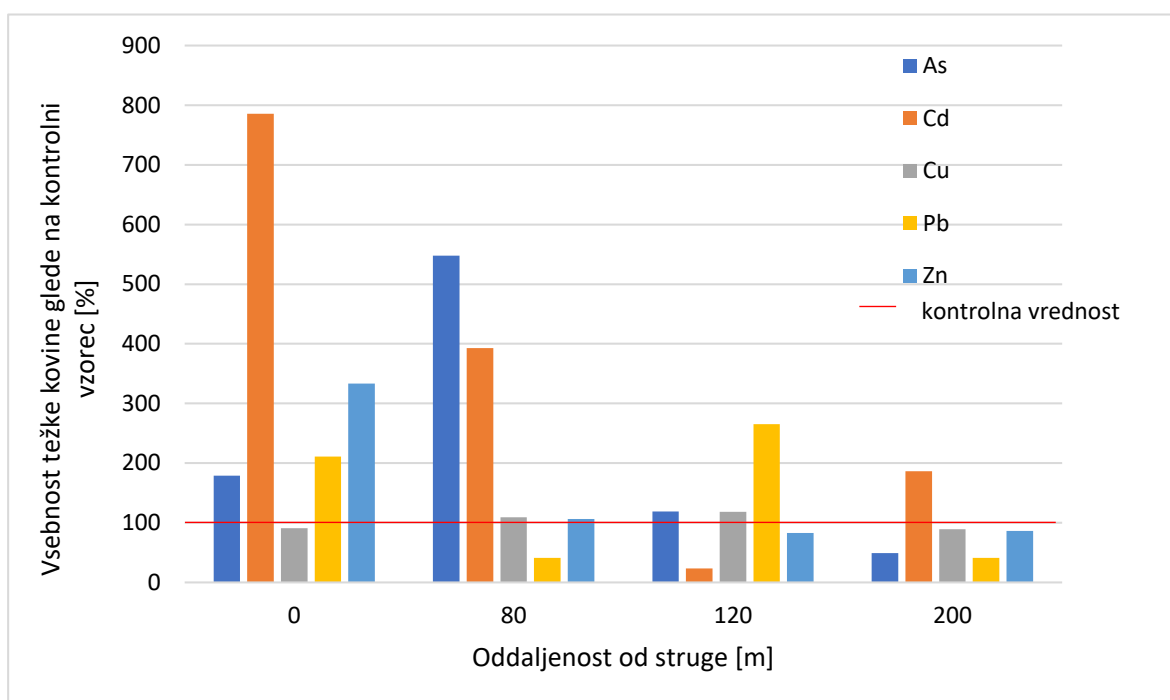


TABELA 8: PRIKAZ VSEBNOSTI POSAMEZNIH MERJENIH TEŽKIH KOVIN VZORCEV REGRATA (LOKACIJA 3 – CESTA) V ODVISNOSTI OD ODDALJENOSTI OD STRUGE DRAVE V MG/KG

Št. točke	3.1	3.4	3.5	3.6	Kontrolni vzorec
Oddaljenost od truge [m]	0	80	120	200	/

Cd [mg/kg]	1,1	0,55	0,032	0,26	0,14
Cu [mg/kg]	10	12	13	9,8	11
Pb [mg/kg]	0,78	0,15	0,98	0,15	0,37
Zn [mg/kg]	120	38	30	31	36
As [mg/kg]	0,15	0,46	0,1	0,041	0,084

Kot vidimo iz Grafa 4, je v prvi točki, torej na oddaljenosti 0m od struge Drave, v vzorcu regrata največ kadmija, sledi cink, nato svinec in arzen. Rezultate iz lokacije 3 (cesta) smo primerjali z kontrolnim vzorcem, torej regratom, ki smo ga 9. 11. 2019 nabrali na območju, ki ni pod vplivom Drave ali drugega kontaminanta. Nabran je bil na privatnem dvorišču, kjer ni bilo gnojenja ali uporabe pesticidov. Za lažjo primerjavo smo rezultate preračunali v odstotke. V tabeli so točke vrednosti podatkov v mg/kg. V primerjavi z najbolj oddaljeno točko (200m) se vse vrednosti kovin spustijo pod kontrolno vrednost, z izjemo Cd.



---

## 5 RAZPRAVA

---

### 5.1 ZEMLJA

---

#### 5.1.1 LOKACIJA 1 (GOZD)

---

Po obdelavi in preračunu rezultatov meritev smo ugotovili vsebnost posamezne težke kovine v zemlji vzorcev. Po obdelavi dobljenih rezultatov smo ugotovili, da se pri večini kovin vsebnost kovin z oddaljenostjo zmanjšuje, kar smo tudi pričakovali, vendar se v nasprotju z našimi pričakovanji ne zmanjšuje konstantno. Zmanjševanje vsebnosti je z oddaljenostjo od struge Drave pri vsaki merjeni kovini drugačno. Ugotovili smo, da vsebnost kovin sicer iz točke v točko po oddaljenosti od struge ne pada, če pa primerjamo točke bližje strugi in najbolj oddaljeno točko, pa opazimo, da se je vsebnost vsake izmed kovin drastično zmanjšala, saj so vse kovine pod mejno vrednostjo (Graf 1) Menimo, da se takšna velika sprememba v vrednosti vseh merjenih kovin pojavi zato, ker je zadnja točka na tej lokaciji edina, ki se nahaja izven gozda in je na shojeni poti, torej ni pokrita s krošnjami, ki bi zmanjšale količino padavin, ki pade na tla. Zato je zemlja bolj sprana in je vsebnost težkih kovin v zgornji plasti zemlje manjša. Lahko pa je bila na pot navožena druga zemlja. Lokacija 1 je bila v času večjih poplav leta 2012 v celoti poplavljen, tudi zdaj se nasip nahaja za njo.

#### 5.1.2 LOKACIJA 2 (HRIB)

---

Ugotovili smo, da na prvih štirih točkah, ki se vse nahajajo pred cesto, vsebnost kovin cinka, svineca in kadmija presega mejno vrednost. Kadmij mejno vrednost presega na največ 660% mejne vrednosti, cink 800% in svinec 235%. Po cesti, torej od pete točke naprej, se vsebnost kovin zmanjšuje. Menimo, da je eden izmed možnih razlogov za to zmanjšanje dvignjenost ceste, ki torej deluje kot nasip. Največja vsebnost kadmija je nato 140% mejne vrednosti in najmanj 40%, svineca največ 91% in najmanj 24%, cinka pa največ 205%, najmanj 48%. Menimo, da je vzrok za to vedno večja strmina terena, saj smo se povzpeli na hrib, kjer reka Drava s poplavljanjem ni imela več vpliva. To tudi dokazuje, da je Drava poglaviten vzrok za kontaminacijo tamkajšnje zemlje s težkimi kovinami. Opazili smo, da v četrti točki – tik ob cesti, vsebnost vseh merjenih težkih kovin naenkrat naraste. Možen razlog za to je ravno bližina ceste. Kot že omenjeno, je vsebnost cinka in kadmija ogromna, kar tudi razlaga dejavnik bližine ceste: velik vir cinka v tleh so motorna olja, avtomobilske gume in protikorozijska zaščita vozil, viri kadmija pa dizelsko gorivo, obraba gum in zavornih oblog (Markelc, 2008). Iz tega torej sklepamo, da je za skok vrednosti

kovin lahko kriva tudi bližina ceste. Če ne upoštevamo četrte točke (skoka vrednosti), v tej lokaciji vsebnost Pb, Zn, Cd in As z izjemo manjših odstopanj eksponentno pada.

---

### **5.1.3 LOKACIJA 3 (CESTA)**

---

Pri lokaciji 3 je vsebnost kovin v prvi točki daleč največja, saj vsebnost kadmija, cinka, svinca in arzena presega mejno vrednost (Graf 3), po tem so vsebnosti kovin na vseh naslednjih točkah dosti manjše. Točki 1 in 2 ločuje nasip, kar tudi pojasni padec vsebnosti kovin v drugi in sledečih točkah. Pred izgradnjo nasipa leta 2015 so bila poplavljeni vse točke na lokaciji 3, kar je vzrok za povečano vsebnost nekaterih kovin tudi za nasipom, saj je bila zadnja večja poplava leta 2012 (pred izgradnjo nasipa) (Vodnogospodarski biro Maribor, 2016). V točki 1 Drava večkrat poplavlja, saj se v času obilnejših padavin dvigne njena struga in tako kontaminira območje točke 1, ki leži tik ob strugi. Ker je lokacija 3 blizu ceste, se kažejo vplivi njene bližine, in sicer v povečanih vrednostih težkih kovin tudi za nasipom, ker je kot že omenjeno, promet pomemben vir Zn, Pb, Cd (Nazarpour, Watts, Madhani, & Elahi, 2019).

---

### **5.1.4 PRIMERJAVA LOKACIJ/ VZORČIH MEST**

---

V vseh treh lokacijah smo hipotezo 1 potrdili, saj je bila vsebnost kovin v poplavnem območju Drave v zemlji povišana nad mejno vrednost. Ugotovili smo, da ni prišla le nad mejno vrednost, ampak pri nekaterih kovinah celo nad opozorilno. Cink se povzpne na vseh treh lokacijah celo nad kritično vrednost.

Hipotezo 2 lahko potrdimo, ker se vsebnost kovin z oddaljenostjo od struge praviloma zmanjšuje. To je najbolj vidno pri lokaciji 2, z izjemo četrte točke, ki je pod vplivom bližine prometa.

Hipotezo 3 smo tudi potrdili, saj je bila ICP-MS učinkovita metoda za določanje vsebnosti kovin v vzorcih zemlje. Točnost metode smo preverili tudi tako, da smo izmerili vsebnost težkih kovin v določenih vzorcih z že vnaprej znanimi koncentracijami kovin, ki jih v laboratoriju NLZOH uporabljajo za preverjanje točnosti in pravilnosti metode in aparatur. Metoda za določitev kovin v tleh je akreditirana metoda po ISO 17025 pri Slovenski akreditaciji in tako zagotavlja najvišje standarde kakovosti.

Tudi hipoteze 4 ne moremo potrditi, saj se z oddaljenostjo vzorcev od struge niso vse koncentracije kovin spustile pod mejno vrednost. Najverjetnejša razlaga za to je prisotnost že prej omenjenih različnih dejavnikov okolja (npr. bližina ceste, nasip, bližina obdelovalnih površin - pesticidi in gnojila).

## 5.2 RASTLINE

---

Za obdelavo smo izbrali navadni regrat (*Taraxacum officinale*), saj je izmed merjenih rastlin edina z užitnimi listi in je zato tudi najbolj relevantna, ker bi lahko z zaužitjem potencialno ogrožala ljudi. Odločili smo se, da se bomo osredotočili le na to vrsto, saj se na vseh lokacijah ni ponavljala nobena rastlinska vrsta. Idealno bi bilo, da bi vzorčili isto vrsto na vseh lokacij, kar pa zaradi različnih ekosistemov, ki so se pojavljali vzdolž transeкта, ni bilo možno. Vsebnost vsake kovine smo primerjali s kontrolnim vzorcem, nabranim na nekontaminiranem območju, saj zgornje mejne vrednosti za vse težke kovine ni za nobeno vzorčeno rastlino. Zakonsko so določene Pb in Cd, vendar za široko območje listnate zelenjave. Za ostale težke kovine vir navaja le povprečen vnos človeka, ne pa tudi mejne vrednosti vsebnosti v zelenja

Vsebnost arzena se kljub temu, da na oddaljenosti 80m močno naraste, na koncu spusti pod kontrolno vrednost, torej vsebnosti merjenih kovin v vzorcu regrata, ki je bil nabran na privatnem dvorišču, kjer Drava nima vpliva. Možni viri As so izgorevanje fosilnih goriv in uporaba pesticidov (Teršič, Miler, Gaberšek, & Gosar, 2018). Lokacija 2 (cesta) se nahaja v celoti ob cesti in je v bližini njiv, torej lahko sklepamo, da je na tej lokaciji možen vpliv pesticidov in izgorevanja fosilnih goriv. Ugotovili smo, da najbolj izstopa vrednost Cd – povečan na več kot 700% kontrolne vrednosti, ki je tudi v zadnji točki nad kontrolno vrednostjo, kljub temu da se v predzadnji točki nahaja pod njo. Vrednosti Cd z oddaljenostjo od struge padajo, razen na zadnji točki, kjer se spet poviša nad kontrolno vrednost. Na zadnjo točko močno vpliva cesta, ker leži na tik ob križišču ceste in je tako pod močnejšim vplivom prometa, ki je, kot že prej omenjeno, velik vir odlaganja Cd (Nazarpour, Watts, Madhani, & Elahi, 2019). Tudi vsebnost Cu ne pada z oddaljenostjo, vendar v primerjavi s tesno vrednostjo ne niha močno, torej odstopa od nje za največ 3 mg/kg, zato sklepamo, da so vsebnosti Cu v mejah normale. Pb od kontrolne vrednosti odstopa za več kot 200% od kontrolne vrednosti. Razlog za to je najverjetneje bližina prometa. Glavni viri Pb (kot tudi Zn, Cu) so namreč izpusti motornih vozil in industrijske emisije (Nazarpour, Watts, Madhani, & Elahi, 2019). Vsebnost Zn pa z oddaljenostjo pada in se na razdalji 120m spusti pod kontrolno vrednost in je tudi na razdalji 200m, torej v zadnji točki, pod njo. Tudi vir Zn so avtomobilski izpusti in promet (Nazarpour, Watts, Madhani, & Elahi, 2019), zato je padanje vrednosti Zn nepričakovano.

Hipotezo 1 lahko potrdimo tudi v primeru regrata. Za mejno vrednost smo tukaj upoštevali vsebnosti merjenih težkih kovin glede na kontrolni vzorec (t.i. kontrolna vrednost). Nad kontrolno vrednostjo so bile vse kovine, vendar na različnih oddaljenostih od struge Drave.

Hipotezo 2 lahko potrdimo, saj če primerjamo prvo in zadnjo točko lokacije 3 (cesta), se vsebnost vseh merjenih težkih kovin zmanjša, čeprav vsebnost vseh kovin ne pada iz toke v točko.

Hipotezo 3 smo tudi potrdili, saj je bila ICP-MS učinkovita metoda za določanje vsebnosti kovin v vzorcih zemlje. Točnost metode smo preverili tudi tako, da smo izmerili vsebnost težkih kovin v določenih vzorcih z že v naprej znanimi koncentracijami kovin, ki jih v laboratoriju NLZOH uporabljajo za preverjanje točnosti in pravilnosti metode in aparatur. Metoda za določitev kovin v tleh je akreditirana metoda po ISO 17025 pri Slovenski akreditaciji in tako zagotavlja najvišje standarde kakovosti.

Hipotezo 4 lahko potrdimo za vse merjene kovine. Čisto vse merjene kovine, razen Cd, so v najbolj oddaljeni točki pod kontrolno vrednostjo, Cd pa se pod njo spusti na oddaljenosti 120m, ko ga je samo 23% kontrolne vrednosti.

Če primerjamo raziskavo, narejeno v Mežiški dolini, kjer so ugotovili vsebnost As v sedimentu v Dravi nad mejno vrednostjo, ugotovimo, da se je tudi v naši raziskavi vsebnost As gibala okoli mejne vrednosti in jo v nekaterih primerih tudi preseгла. Tudi vsebnosti Pb so v obeh raziskavah nad opozorilno vrednostjo, v raziskavi v Mežiški dolini so ugotovili višjo vsebnost v sedimentu Drave po pritoku Meže. Rezultati vsebnosti Zn so med seboj primerljivi, saj je v obeh primerih ta močno nad mejno vrednostjo. V obeh raziskavah je vsebnost Cd nad opozorilno vrednostjo. Pri vsebnosti Cu v obeh raziskavah ni opaznih večjih nihanj (Fux & Gosar, 2007).

Nalogo bi lahko izboljšali s tem, da bi na vseh treh lokacijah nabirali isto vrsto rastline in bi s tem lahko bolje primerjali vpliv Drave na vsebnost težkih kovin in tudi druge antropogene vire, kot so bližina prometa in gnojil. Lahko bi tudi vzorčili na več različnih lokacijah, ampak v laboratoriju ni bila možna tolikšna kapaciteta vzorcev.

Uporabljena metoda se nam zdi pravilno izbrana, saj je metoda ICP-MS primerna za natančno določanje vsebnosti težkih kovin v vzorcih in so tudi zakonsko določene vsebnosti težkih kovin določene s to metodo. Tako smo lahko upravičeno primerjali naše rezultate z uradnimi vrednostmi. Kot že omenjeno, smo tudi sproti preverjali pravilnost delovanja naprave ICP-MS, da lahko zagotovimo točnost metode in posledično rezultatov.

## 6 ZAKLJUČKI

---

V raziskovalni nalogi smo poskušali odgovoriti na vprašanja:

1. Kolikšna je vsebnost arzena, kadmija, bakra, svinca in cinka v določeni rastlinski vrsti - navadni regrat (*Taraxacum officinale*), in v vzorcih zemlje na izbranih lokacijah poplavnega območja Dupleka in okolice.

S pomočjo ICP-MS metode smo izmerili vsebnost kovin v vzorcih zemlje in regrata. Ugotovili smo, da je vsebnost kovin v vzorcih zemlje bližje strugi Drave nad mejno vrednostjo, v nekaterih primerih pa presega tudi opozorilno in kritično vrednost (Zn). Tudi za vzorce regrata smo z metodo ICP-MS določili vsebnost kovin in jih primerjali s kontrolnim vzorcem. Ugotovili smo, da so nad kontrolno vrednostjo bile vse kovine, vendar na različnih oddaljenostih od struge Drave.

2. Kako oddaljenost od stare struge reke Drave na območju Dupleka vpliva na kontaminiranost le teh.

Ugotovili smo, da Drava vpliva na vsebnost težkih kovin v vzorcih zemlje in regrata, saj je bila vsebnost kovin v točkah bližje strugi večja kot v najbolj oddaljeni točki. Prav tako smo ugotovili, da na vsebnost težkih kovin vplivajo tudi drugi antropogeni dejavniki, kot so bližina ceste, sprememba nadmorske višine in bližina obdelovalnih površin.

Naše nadaljnje raziskave bi lahko bile v smeri bioremediacije. V vzorčeno zemljo bi lahko posadili hiperakumulacijske rastlinske vrste, ki v svojih nadzemnih delih kopičijo izjemno visoke koncentracije kovin. V Sloveniji je zelo razširjen in najbolj raziskan rani mošnjak (*Thlaspi praecox*), ki v svojih poganjkih kopiči do 15.000 miligramov cinka na gram suhe mase rastline, 5.900 miligramov kadmija na gram suhe mase in 3.500 miligramov svinca na gram suhe mase (Vogel - Mikuš, 2009). Rastlino bi lahko posadili v vzorce zemlje in opravili meritve pred nasaditvijo in po odstranitvi rastline in s tem preverili, ali je rastlina res možna za bioremediacijo. Če bi ugotovili, da je in ker rastlina na območju Slovenije dobro uspeva, bi jo lahko načrtno nasadili ob strugi Drave in jo čez čas odstranili kot nevarni odpadke. Tako bi jo uporabili za bioremediacijo onesnaženega območja. Lahko bi tudi opazovali več vrst rastlin na različnih delih struge Drave in ugotovili, kako onesnaženost zemlje vpliva na različne vrste rastlin. Mogoče bi odkrili kakšno rastlino, ki na tem območju že uspeva in ima večje akumulacijske zmožnosti ter bi jo zato lahko uporabili

za bioremediacijo. Lahko bi pa tudi ugotovili, ali katere vrtno rastlinske vrste bolj akumulirajo težke kovine in jih zato na poplavnem območju Drave ne bi bilo priporočljivo pridelovati.

Raziskovalna naloga lahko deluje kot smernica za nadaljnje raziskave. Menimo, da bi to področje lahko raziskali strokovnjaki, saj so naši rezultati pokazali tudi nevarne vsebnosti nekaterih kovin. Ker je na tem območju naselje hiš z vrtovi in veliko obdelovalnih kmetijskih površin, je zato še bolj potrebno nadzorovanje tamkajšnje zemlje in pridelkov, da so vsebnosti težkih kovin v varnih mejah in ne ogrožajo ljudi. Raziskovali bi lahko nadaljnje še na drugih poplavnih območjih Drave, saj na podlagi meritev ožjega območja rezultatov ne moremo posplošiti na celotno strugo. Lahko bi pa raziskali tudi več drugih rek v Sloveniji in ugotovili, ali je še katera druga s svojimi poplavami nevaren vir težkih kovin, vendar smo se za Dravo odločili, saj živimo na območju Dravske doline.

## **7 DRUŽBENA ODGOVORNOST**

---

Tema naše raziskovalne naloge se skupaj z rezultati nanaša na osnovna načela družbene odgovornosti. Preučevali smo vsebnost težkih kovin v rastlinah in zemlji na poplavnem območju Drave v Dupleku ter povezavo med oddaljenostjo od struge Drave in spreminjanjem vsebnosti težkih kovin v vzorcih. Rezultate smo pojasnili ne le z oddaljenostjo od struge, ampak tudi z različnimi drugimi vplivi, ki bi lahko kontaminirali opazovano območje. Naši dobljeni podatki so potrdili tezo, da je na poplavnem območju Drave v zemlji in rastlinah močno povišana koncentracija težkih kovin, tako da lahko najina naloga opozarja tamkajšnje prebivalce in pridelovalce, saj je na tamkajšnjem območju veliko njiv in vrtov, naj preverijo, ali njihova zemlja in pridelki ogrožajo njihovo zdravje. Ena izmed možnosti, da bi iz obdelovalnih površin odstranili težke kovine, je, kot že omenjeno, bioremediacija. Ker sta promet in gnojenje najbolj vplivna antropogena vira težkih kovin, opozarja raziskovalna naloga tudi na to, da bi se ta vpliva lahko omejila. To bi storili z zmanjšano uporabo predvsem fosfatnih gnojil in z zmanjšanjem prometa na območju predvsem, kjer se pridelujejo užitne kulture.

## 8 BIBLIOGRAFIJA

---

- ERICo. (1998). *zagorje.si*. Pridobljeno iz Posnetek tal in rastlin na območju Zagorja:  
<http://www.zagorje.si/dokument.aspx?id=2319>
- ARSO. (november 2013). *arso.gov.si*. Pridobljeno iz Povratne dobe velikih in malih pretokov za merlina mesta državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda:  
<https://www.arso.gov.si/vode/podatki/Povratne%20dobe%20Qvk%2CQnp.pdf>
- ARSO. (2015). Pridobljeno iz Izpusti težkih kovin: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-tezkoh-kovin-3>
- ARSO. (3. december 2019). *arso.gov.si*. Pridobljeno iz 2.1 Vode:  
<https://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/vode.pdf>
- ATSDR. (september 2004). *Agency for Toxic Substances & Disease Registry*. Pridobljeno iz Public Health Statement for Copper: <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=204&tid=37>
- ATSDR. (september 2004). *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Pridobljeno iz Public Health Statement for Copper: <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=204&tid=37>
- Bernard, A. (oktober 2008). *PublMed*. Pridobljeno iz Cadmium & its adverse effects on human health:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19106447>
- BMJ. (19. junij 2015). *ScienceDaily*. Pridobljeno iz Doctors often misdiagnose zinc deficiency, unaware of impact of excess zinc:  
<https://www.sciencedaily.com/releases/2015/06/150619085536.htm>
- Bole, M. (2009). Pridobljeno iz Ranljivost vodnih virov na vplivnih območjih pehotnih strelišč:  
<https://www.postojna.si/files/other/news/105/146687Ranljivost%20vodnih%20virov%2019.8.2009%20KONCNA.pdf>
- Chao, S., & LiQin, J. (2014). *ResearchGate*. Pridobljeno iz A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques:  
[https://www.researchgate.net/publication/285634155\\_A\\_review\\_on\\_heavy\\_metal\\_contamination\\_in\\_the\\_soil\\_worldwide\\_Situation\\_impact\\_and\\_remediation\\_techniques](https://www.researchgate.net/publication/285634155_A_review_on_heavy_metal_contamination_in_the_soil_worldwide_Situation_impact_and_remediation_techniques)
- Chibuike, G. U. (2014). *Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods*. Pridobljeno iz <https://www.hindawi.com/journals/aess/2014/752708/>
- Forstnerič, L. (15. marec 2018). Pridobljeno iz Težke kovine v okolju in njihov vpliv na zdravje ljudi:  
<https://liveforheartwarming.com/wp-content/uploads/2018/03/Tezke-kovine-v-okolju-in-njihov-vpliv-na-zdravje.pdf>

- Fux, J., & Gosar, M. (2007). Vsebnost svinca in drugih težkih kovin v sedimentih na območju Mežiške doline. *Geologija, letnik 50, št. 2*, 347-360. Pridobljeno iz Vsebnosti svinca in drugih težkih kovin v sedimentih na območju Mežiške doline:  
<https://mail.google.com/mail/u/1/#search/zorec/KtbxLwGkLfGVwbWHWcmDrZfjxDQRtTHnwL?projector=1&messagePartId=0.2>
- Gill, S. S. (21. november 2016). *Frontiers in Environmental Science*. Pridobljeno iz Influence of High and Low Levels of Plant-Beneficial Heavy Metal Ions on Plant Growth and Development:  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2016.00069/full>
- Gilstrap, R. (2009). *ResearchGate*. Pridobljeno iz Figure 3.
- IVZ. (2013). *nijz.si*. Pridobljeno iz Onesnaženost vzorcev solate in rdeče pese z območja Celjske kotline s potencialno strupenimi elementi :  
[https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/datoteke/splet\\_priponka\\_celjska\\_kotlina\\_presoja\\_varnosti\\_solata\\_rdeca\\_pesa\\_0.pdf](https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/datoteke/splet_priponka_celjska_kotlina_presoja_varnosti_solata_rdeca_pesa_0.pdf)
- Kovačević, J., & Selan, T. (2015). Pridobljeno iz Bioakumulacija težkih kovin v račji zeli in vpliv težkih kovin na človeka: [https://zpm-mb.si/wp-content/uploads/2015/06/S%C5%A0\\_INTER\\_BIO\\_KE\\_Bioakumulacija\\_te%C5%BEkih\\_kovin\\_v.pdf](https://zpm-mb.si/wp-content/uploads/2015/06/S%C5%A0_INTER_BIO_KE_Bioakumulacija_te%C5%BEkih_kovin_v.pdf)
- Lenntech. (2019). Pridobljeno iz Arsenic in groundwater:  
<https://www.lenntech.com/groundwater/arsenic.htm>
- Lenntech. (2019). Pridobljeno iz Copper - Cu: <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>
- Lenntech. (2020). *Lenntech*. Pridobljeno iz Heavy metals:  
<https://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>
- Markelc, I. (2008). Pridobljeno iz Vsebnost težkih kovin v vrtninah, pridelanih na vrtilčkih občine Ljubljana: [http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn\\_markelc\\_ines.pdf](http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_markelc_ines.pdf)
- Mikuš, K. V. (2009). Hiperakumulacijske rastline, zbiralke kovin. *Proteus, Letnik 72, Št. 2*, 65-73.
- Nazarpour, A., Watts, M., Madhani, A., & Elahi, S. (2019). *nature.com*. Pridobljeno iz Source, Spatial Distribution and Pollution Assessment of Pb, Zn, Cu, and Pb, Isotopes in urban soils of Ahvaz City, a semi-arid metropolis in southwest Iran: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41787-w>
- Obretan, T. (september 2016). *dk.um.si*. Pridobljeno iz Vpliv dejavnosti pridobivanja in predelave svinca na okolje in prebivalstvo zgornje Mežiške doline:  
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=104056>
- PerkinElmer, Inc. (2011). *perkinelmer.com*. Pridobljeno iz The 30-Minute Guide to ICP-MS:  
[https://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74849tch\\_icpmsthirtyminuteguide.pdf](https://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74849tch_icpmsthirtyminuteguide.pdf)



- Petek, G. (september 2014). *dk.um.si*. Pridobljeno iz Določanje izbranih elementov v aluminiju in aluminijastih zlitinah z ICP-MS metodo: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=67595>
- PIS. (29. november 1996). *Pravno-informacijski sistem*. Pridobljeno iz Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED114#>
- Rojec, P. (2016). *dk.um.si*. Pridobljeno iz Vsebnost nekaterih esencialnih mikrohranil in težkih kovin v rastnih substratih: <https://dk.um.si/DOKUMENT.php?id=105177>
- Sharma, B., Singh, S., & Siddiqi, N. J. (12. avgust 2014). *Hindawi*. Pridobljeno iz Biomedical Implications of Heavy Metals Induced Imbalances in Redox Systems: <https://new.hindawi.com/journals/bmri/2014/640754/>
- Teršič, T., Miler, M., Gaberšek, M., & Gosar, M. (2018). *geologija-revija.si*. Pridobljeno iz Vsebnosti arzena in nekaterih drugih prvin v potočnih sedimentih in vodah porečja Medije, osrednja Slovenija: <http://www.geologija-revija.si/dokument.aspx?id=1328>
- UJMA. (2013). *sos112.si*. Pridobljeno iz Poplave 5. novembra 2012 v porečju Drave: <http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2013/052.pdf>
- Uradni list RS. (29. november 1996). *Uradni list Republike Slovenije Številka 68*. Pridobljeno iz 3722. Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh, stran 5773.: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina?urlurid=19963722>
- Vodnogospodarski biro Maribor. (november 2016). *vgb.si*. Pridobljeno iz Načrtovanje in izvedba protipoplavnih nasipov v Dupleku in Dogošah: <http://www.vgb.si/p/posts/nacrtovanje-in-izvedba-protipoplavnih-nasipov-v-dupleku-in-dogosah-1.php>
- Vogel - Mikuš, K. (2009). Hiperakumulacijske rastline, zbiralke kovin . *Proteus*, 65-73.
- Wang, W.-X. (2016). *ScienceDirect*. Pridobljeno iz Bioaccumulation: <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/bioaccumulation>