

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**PRIVZEM KOVIN V SOJO (*Glycine max* (L.) Merrill) IN
OLJNO OGRŠČICO (*Brassica napus* L. var. *napus*)**

KATJA BOBIK

VELENJE, 2018



DIPLOMSKO DELO

**PRIVZEM KOVIN V SOJO (*Glycine max* (L.) Merrill) IN
OLJNO OGRŠČICO (*Brassica napus* L. var. *napus*)**

KATJA BOBIK

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: doc. dr. Cvetka Ribarič Lasnik

Somentorica: dr. Nadja Romih

VELENJE, 2018

Številka: 726-21/2016-2
Datum: 13. 9. 2016

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Katja Bobik** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*).

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Uptake of metals in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and rapeseed (*Brassica napus* L. var. *napus*).

Mentorica: **doc. dr. Cvetka Ribarič Lasnik.**

Somentorica: **dr. Nadja Romih.**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom VŠVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Izr. prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Visoka šola za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si

www.vsvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **Katja Bobik**, vpisna številka **34130076**, študentka visokošolskega strokovnega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom **Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*)**, ki sem ga izdelala pod mentorstvom **doc. dr. Cvetke Ribarič Lasnik** in somentorstvom **dr. Nadje Romih**.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Simona Fridl, profesorica slovenščine;
- dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: _____

Katja Bobik

ZAHVALA

Za strokovno usmerjanje, profesionalen odnos, nasvete in pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Cvetki Ribarič Lasnik.

Zahvala gre tudi somentorici dr. Nadji Romih, ki mi je pomagala pri izbiri teme, mi bila vedno pripravljena pomagati pri vsakem meni nerešljivem problemu in me med izdelavo diplomskega dela vseskozi vodila ter spodbujala.

Zahvalila bi se tudi Nacionalnem laboratoriju za zdravje, okolje in hrano v Celju, ki nam je omogočil potrebne priprave vzorcev.

Iskrena hvala moji družini, ki mi je omogočila študij, me ves čas podpirala in mi stala ob strani.

Iz srca hvala tudi tebi, Niko, za vsako spodbudno besedo, pomoč in voljo, ki si mi jo vlival.

IZVLEČEK

Dosedanje raziskave so pokazale, da so tla zaradi dolgoročnih aktivnosti človeka v okolju onesnažena s kovinami, ki so potencialno toksične tako za rastline in živali kakor tudi za ljudi. Kovine se akumulirajo v tleh in njihova vsebnost se zmanjšuje z izpiranjem v nižje plasti tal ter s privzemom v rastline.

V naši raziskavi smo opazovali privzem kovin (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl) in polkovine As v rastlinske dele soje (*Glycine max* (L.) Merrill) s sortami Es Dominator, Naya, Es Mentor in Ema v letih 2015 in 2016 ter oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*) s hibridoma PR45 D01 in PR46 W31 v letih 2008/2009 na območju Medloga, Bukovžlaka in Mežice. Vsebnosti kovin v rastlinah so odvisne od vsebnosti kovin v tleh in pH vrednosti tal. V Medlogu so bile vsebnosti kovin v tleh za Cd 1,4 mg/kg, Pb 38 mg/kg, Zn 139 mg/kg, Ni 33,1 mg/kg, Mo 0,4 mg/kg, As 30,4 mg/kg, Ti 40 mg/kg in Tl 0,3 mg/kg. V Bukovžlaku so bile vsebnosti kovin v tleh za Cd 11,68 mg/kg, Pb 181,37 mg/kg, Zn 1445,8 mg/kg, Ni 20,5 mg/kg, Mo 0,74 mg/kg, As 14,4 mg/kg, Ni 40 mg/kg in Ti 0,67 mg/kg. V Mežici so bile vsebnosti kovin v tleh za Cd 37,5 mg/kg, Pb 2153 mg/kg, Zn 5094 mg/kg, Ni 23,6 mg/kg, Mo 0,9 mg/kg, As 17,7 mg/kg, Ti 240 mg/kg in Tl 1,1 mg/kg. pH vrednosti tal so bile med 6,38 in 7,28. V Medlogu je oljna ogrščica bolje privzemala Pb, As, Ti in Tl v nadzemne dele (stebela + semena) in celokupno (korenine + stebela + semena). Translokacijski faktor (TF) med nadzemnim delom in korenino za sojo za Cd je bil od 1,16 do 2,60, za Pb od 0,03 do 0,22, za Zn od 0,76 do 2,24, za Ni od 1,00 do 2,83, za Mo od 34,58 do 98,58, za As od 0,00 do 0,13, za Ti od 0,85 do 1,13 in za Tl od 0,00 do 1,33. TF med nadzemnim delom in korenino za oljno ogrščico je bil za Cd od 0,68 do 1,35, za Pb od 0,06 do 2,58, za Zn od 0,52 do 2,14, za Ni od 0,42 do 1,37, za Mo od 1,42 do 4,57, za As od 0,09 do 0,54, za Ti od 1,42 do 1,96 in za Tl od 2,91 do 5,69. Bioakumulacijski faktor (BAF) za sojo je bil za Cd med 0,33 in 1,59, za Pb med 0,06 in 0,19, za Zn med 0,14 in 0,88, za Ni med 0,15 in 0,25, za Mo med 27,84 in 89,15, za As med 0,03 in 0,1, za Ti med 0,91 do 1,23 in za Tl med 0,00 in 0,20. BAF za oljno ogrščico je bil za Cd med 0,19 in 1,16, za Pb med 0,06 in 0,3, za Zn med 0,14 in 0,84, za Ni med 0,12 in 0,17, za Mo med 5,70 in 62,88, za As med 0,06 in 0,11, za Ti med 0,40 do 2,07 in za Tl med 2,10 in 9,04. TF(Mo) in BAF(Mo) > 1 za sojo in oljno ogrščico na obravnavanih območjih kažeta, da je Mo zelo mobilni element.

KLJUČNE BESEDE: onesnaženost tal, kadmij (Cd), svinec (Pb), cink (Zn), nikelj (Ni), molibden (Mo), arzen (As), titan (Ti), talij (Tl), privzem kovin, *Glycine max* (L.) Merrill, *Brassica napus* L. var. *napus*, translokacijski faktor (TF), bioakumulacijski faktor (BAF)

ABSTRACT

The research so far has shown that due to long-term human activities in the environment, pollution of the soil is caused by metals, which are potentially toxic to both plants and animals, as well as humans. The metals accumulate in the soil and their content is reduced by irrigation to the bottom soil layers and by the uptake of the plants.

The study observes the uptake of metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti and Tl) and metalloid As in the soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) with species Es Dominator, Naya, Es Mentor and Ema in the years 2015 and 2016; and the oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*) with the hybrids PR45 D01 and PR46 W31 in the years 2008 and 2009 in the Medlog, Bukovžlak and Mežica regions. The content of metals in plants depends on the content of metals in the soil and the pH value of the soil. In Medlog, the content of metals in the soil was for 1.4 mg/kg of Cd, 38 mg/kg of Pb, 139 mg/kg of Zn, 33.1 mg/kg of Ni, 0.4 mg/kg of Mo, 30.4 mg/kg of As, 40 mg/kg of Ti and 0.3 mg/kg of Tl. In Bukovžlak, the content of metals in the soil was 11.68 mg/kg of Cd, 181.37 mg/kg of Pb, 1445.8 mg/kg of Zn, 20.5 mg/kg of Ni, 0.74 mg/kg of Mo, 14.4 mg/kg of As, 40 mg/kg of Ni and 0.67 mg/kg of Ti. In the Mežica region, the content of metals in the soil was for 37.5 mg/kg of Cd, 2153 mg/kg of Pb, 5094 mg/kg of Zn, 23.6 mg/kg of Ni, 0.9 mg/kg of Mo, 17.7 mg/kg of As, 240 mg/kg of Ti and 1.1 mg/kg of Tl. The pH value of the soil was between 6.38 and 7.28. In Medlog, the oilseed rape is better in uptake of Pb, As, Ti and Tl into the above-ground parts (stems + seeds) and whole plant (roots + stems + seeds). The translocation factor (TF) between the above-ground part and roots of the soya was from 1.16 to 2.60 for Cd, from 0.03 to 0.22 for Pb, from 0.76 to 2.24 for Zn, from 1.00 to 2.83 for Ni, from 34.58 to 98.58 for Mo, from 0.00 to 0.13 for As, from 0.85 to 1.13 for Ti and from 0.00 to 1, 33 for Tl. The TF between the above-ground part and the roots of the oilseed rape was from 0.68 to 1.35 for Cd, from 0.06 to 2.58 for Pb, from 0.52 to 2.14 for Zn, from 0.42 to 1.37 for Ni, from 1.42 to 4.57 for Mo, from 0.09 to 0.54 for As, from 1.42 to 1.96 for Ti, and from 2.91 to 5.69 for Tl. The bioaccumulation factor (BAF) for soya was between 0.33 and 1.59 for Cd, between 0.06 and 0.19 for Pb, between 0.14 and 0.88 for Zn, between 0.15 and 0.25 for Ni, between 27.84 and 89.15 for Mo, between 0.03 and 0.1 for As, between 0.91 to 1.23 for Ti, and between 0.00 and 0.20 for Tl. The BAF for oilseed rape was between 0.19 and 1.16 for Cd, between 0.06 and 0.3 for Pb, between 0.14 and 0.84 for Zn, between 0.12 and 0.17 for Ni, between 5.70 and 62.88 for Mo, between 0.06 and 0.11 for As, between 0.40 to 2.07 for Ti and between 2.10 and 9.04 for Tl. The TF (Mo) and BAF (Mo) > 1 for soybeans and oilseed rape of the areas under consideration indicate that Mo is a very mobile element.

KEYWORDS: soil contamination, cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), nickel (Ni), molybdenum (Mo), arsenic (As), titanium (Ti), thallium (Tl), metal uptake, *Glycine max* (L.) Merrill, *Brassica napus* L. var. *napus*, translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF)

KAZALO VSEBINE

1. UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 NAMEN IN CILJI NALOGE.....	2
1.3 HIPOTEZE.....	2
2. PREGLED OBJAV.....	3
2.1 KOVINE	3
2.2 PRIVZEM KOVIN V RASTLINE	5
2.3 PREDSTAVITEV OBRAVNAVANIH KOVIN IN As	9
2.4 SOJA (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill).....	11
2.5 OLJNA OGRŠČICA (<i>Brassica napus</i> L. var. <i>napus</i>).....	12
2.6 PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH OBMOČIJ.....	13
3. MATERIALI IN METODE	15
3.1 PRIPRAVA POVRŠINE.....	15
3.2 SEJANJE.....	15
3.3 VZORČENJE SOJE	16
3.4 MLETJE SOJE	18
3.5 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV.....	20
3.6 IZRAČUN TRANSLOKACIJE (TF) IN BIOAKUMULACIJSKEGA FAKTORJA (BAF)	20
4. REZULTATI IN RAZPRAVA	21
4.1 VSEBNOSTI KOVIN V TLEH	21
4.2 DISTRIBUCIJA IN VSEBNOST KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH SOJE IN OLJNE OGRŠČICE.....	22
4.2.1 Distribucija in vsebnost Cd v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice	22
4.2.2 Distribucija in vsebnost Pb v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice	23
4.2.3 Distribucija in vsebnost Zn v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice	25
4.2.4 Distribucija in vsebnost Ni v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice	26
4.2.5 Distribucija in vsebnost Mo v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice.....	27
4.2.6 Distribucija in vsebnost As v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice	28
4.2.7 Distribucija in vsebnost Ti v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice.....	29
4.2.8 Distribucija in vsebnost Tl v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice.....	30

4.3 TRANSLOKACIJA IN BIOAKUMULACIJA KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH SOJE IN OLJNE OGRŠČICE	32
4.3.1 Translokacija in bioakumulacija Cd	32
4.3.2 Translokacija in bioakumulacija Pb	33
4.3.3 Translokacija in bioakumulacija Zn	34
4.3.4 Translokacija in bioakumulacija Ni	35
4.3.5 Translokacija in bioakumulacija Mo	36
4.3.6 Translokacija in bioakumulacija As	37
4.3.7 Translokacija in bioakumulacija Ti	38
4.3.8 Translokacija in bioakumulacija Tl	39
5. SKLEPI	41
6. POVZETEK	42
7. SUMMARY	43
8. VIRI IN LITERATURA	45
9. PRILOGE	51

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Antropogeni viri kovin	4
Preglednica 2: Približne vsebnosti elementov v listih odraslih rastlin različnih vrst	6
Preglednica 3: Pregled nekaterih značilnosti kovin in As.....	9
Preglednica 4: Vsebnost kovin v vzorcih tal (v mg/kg suhe snovi vzorca)	21
Preglednica 5: Mejne vrednosti privzema kovin v mg/kg suhe snovi v nadzemne dele rastlin v normalnem območju, območju akumulatorjev in hiperakumulatorjev	31
Preglednica 6: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Cd soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	32
Preglednica 7: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Pb soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	33
Preglednica 8: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Zn soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	34
Preglednica 9: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ni soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh.....	35
Preglednica 10: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Mo soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	36
Preglednica 11: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) As soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	37
Preglednica 12: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ti soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	38
Preglednica 13: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Tl soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh.....	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz mobilnosti kovin glede na pH vrednost	5
Slika 2: Privzem kovin v rastlino glede na vsebnost kovin v tleh	6
Slika 3: Interakcije med elementi v rastlinah in v okolici rastline v tleh	7
Slika 4: Rastline z različnimi sposobnostmi kopičenja kovin.....	8
Slika 5: Nasad soje (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill)	11
Slika 6: Oljna ogrščica (<i>Brassica napus</i> L. var. <i>napus</i>)	12
Slika 7: Raziskovalna območja	13
Slika 8: "Stara Cinkarna" – stari degradiran del cinkarne	14
Slika 9: Soja pred vzorčenjem	16
Slika 10: Vzorčne rastline	17
Slika 11: Vzorčne rastline razdeljene po rastlinskih delih (korenine, stebila in zrnja)	17
Slika 12: Retsch Ultracentrifugalni mlin ZM200	18
Slika 13: Mlevna orodja	19
Slika 14: Zmleti vzorci v označenih epruveh	19
Slika 15: Vsebnost Cd v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	22
Slika 16: Vsebnost Pb v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	24
Slika 17: Vsebnost Zn v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	25
Slika 18: Vsebnost Ni v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	26
Slika 19: Vsebnost Mo v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	27
Slika 20: Vsebnost As v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	28
Slika 21: Vsebnost Ti v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	29
Slika 22: Vsebnost Tl v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh	30

KAZALO PRILOG

PRILOGA 1: Distribucija kovin in As v rastlinskih delih

PRILOGA 2: Privzem povprečnih vsebnosti kovin in As v rastlinske dele (korenine, stebila in semena/zrnje) v padajočem zaporedju

PRILOGA 3: Linearna regresija – tla/rastlinski deli

UPORABLJENI SIMBOLI IN OKRAJŠAVE

Cd – kadmij

Pb – svinec

Zn – cink

Ni – nikelj

Mo – molibden

As – arzen

Ti – titan

Tl – talij

TF – translokacijski faktor

BAF – bioakumulacijski faktor

1. UVOD

Človek s svojo aktivnostjo nenehno vnaša v okolje snovi, ki onesnažujejo zrak, vodo in tla. V tleh se nalagajo tako organske kakor tudi anorganske snovi, ki tam ostajajo tudi po prenehanju onesnaževanja, saj se v njih zadržujejo, vežejo na talne delce ali pa se iz tal izločajo in vključujejo v kroženje snovi ter s tem negativno vplivajo na organizme (Jamnik s sod., 2009; Zupan s sod., 2008).

Kovine so naravno prisotne povsod v okolju, saj nastajajo s preperevanjem matične podlage. Izraz kovine se največkrat uporablja za elemente periodnega sistema z visoko relativno gostoto oz. imajo atomsko število nad 20 (Adriano, 2001; Barcelo in Poschenrieder, 1900). Kovine so v tleh zastopane v zelo majhnih količinah in nekatere so potrebne za rast in razvoj rastlin, zato spadajo med esencialne mikroelemente. Stritar A. (1991) navaja naslednje mikroelemente: bor, mangan, baker, cink, nikelj, molibden, kobalt itd. Prevelike vsebnosti nekaterih kovin imajo toksične učinke tako za rastline kakor tudi za ljudi in živali (Alloway, 2013; Kabata-Pendias in Pendias, 2001).

V diplomski nalogi smo opazovali privzem kovin (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl ter polkovine As) v sojo in oljno ogrščico, pri čemer literatura (Majer s sod., 2015) navaja, da je privzem kovin v oljno ogrščico večji. Zaradi vse pogostejšega onesnaženja tal s kovinami narašča zanimanje za rastline, ki so primerne za fitoremediacijo na malo do srednje onesnaženih tleh - ena od potencialnih rastlin je oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*) (Grispen s sod., 2006; Grabner s sod., 2010).

Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) je stročnica toplejših do zmerno toplih območij, ki so jo na Kitajskem pridelovali že pred 5000 leti. Zaradi velike vsebnosti beljakovin jo lahko uporabljamo v prehrani ljudi in za krmo domačih živali, vse bolj pa tudi kot energetski vir (toplota, električna energija) (Kocjan Ačko, 2015).

Oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*) je pomembna industrijska in prehranska rastlina, ki je za sojo in palmami tretji najpomembnejši vir rastlinskih olj na svetu ter drugi najpomembnejši vir beljakovin (Čeh in Čeh, 2009). Rastlina je primerna za snovno in energetsko izrabo, in sicer za pridobivanje medu, obnovljivih virov energije (npr. biodizel), olja in za prehrano živali kot bogat beljakovinski dodatek h krmi (npr. pogača) (Romih, 2013; Kocjan Ačko, 1999).

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Posledica onesnaženosti tal s toksičnimi kovinami je lahko povečana vsebnost le-teh v rastlinah in predstavlja potencialno nevarnost za živali in ljudi. Z analizo rezultatov vzorcev tal in rastlinskih delov soje ter oljne ogrščice smo preučili, v kolikšni meri privzemata kovine v korenine, stebela in semena/zrnje ter primerjali z Uredbo o mejnih vrednostih v živilih (Ur. l. RS št. 27/07, 38/10 in 57/11).

1.2 NAMEN IN CILJI NALOGE

Diplomska naloga je del Ciljnih raziskovalnih programov (CRP), z naslovoma Determiniranje uporabnega potenciala kmetijske biomase in definiranje okolju prijaznih tehnologij za njeno izrabo, ki je potekal v obdobju 1. 9. 2008 – 31. 8. 2010 in Soja, ki je potekal v obdobju 1. 7. 2014 – 30. 6. 2017. Poudarek je na privzemu kovin v rastlinske dele soje (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*). Namen projektov je bil vzgojiti sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*) na različno onesnaženih tleh *in situ*, in sicer na industrijsko razvitem območju (Mežiška dolina in Celjska kotlina) s točkovnim virom emisij kovin in območju (Medlog), kjer ni poznanih točkovnih izvorov onesnaženja s kovinami. Cilji moje diplomske naloge so bili:

Cilj 1: Primerjati privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*).

Cilj 2: Raziskati, v katere rastlinske dele (korenine, stebila, semena/zrnje) soja (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*) privzemata največ kovin.

Cilj 3: Ugotoviti, ali je soja (*Glycine max* (L.) Merrill) primerna fitoremediacijska rastlina na tleh, ki so onesnažene s kovinami.

1.3 HIPOTEZE

V okviru diplomskega dela predpostavljam naslednje hipoteze:

Hipoteza 1: Vsebnosti kovin v rastlinskih delih (korenine, stebila in semena/zrnje) soje (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*) bodo večje na območjih, kjer je večja vsebnost kovin v tleh.

Hipoteza 2: Večji privzem kovin bo v koreninskem sistemu soje (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*).

Hipoteza 3: Oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*) ima večji privzem kovin kot soja (*Glycine max* (L.) Merrill) in jo lahko uporabljamo kot fitoremediacijsko rastlino za zmanjševanje onesnaženosti tal s kovinami.

2. PREGLED OBJAV

2.1 KOVINE

V strokovni in znanstveni literaturi se srečujemo s pojmi težke kovine, elementi v sledovih, toksične kovine in mikroelementi, ki jih bom v diplomski nalogi poenostavljeno obravnavala kot kovine.

Izraz "težka kovina" se nanaša na skupino kovin in polkovin z atomsko maso ($> 5 \text{ g/cm}^3$) in atomskim številom večjim od 20 (Alloway, 2013). Mednje prištevamo prehodne kovine, kot so: svinec (Pb), kadmij (Cd) in živo srebro (Hg).

Izraz "elementi v sledovih" se nanaša na elemente, ki se pojavljajo v zemeljski skorji v vsebnostih $< 0,1 \%$, v rastlinah in tkivih živali v vsebnosti $< 0,01 \%$ (Adriano, 2001; Kabata – Pendias, Pendias, 2001).

Najbolj obširno raziskovanje pa so posvetili elementom, ki so bistvenega pomena za prehrano višjih rastlin, in jih poznamo pod izrazom "mikroelementi". Mednje prištevamo: bor (B), baker (Cu), železo (Fe), mangan (Mg), molibden (Mo), nikelj (Ni) in cink (Zn) (Adriano, 2001).

Primarni vir kovin v tleh je matična podlaga. Naslednjih deset elementov, in sicer: kisik (O), silicij (Si), aluminij (Al), železo (Fe), kalcij (Ca), natrij (Na), kalij (K), magnezij (Mg), fosfor (P) in titan (Ti), predstavlja več kot 99 % celotne vsebnosti elementov v zemeljski skorji (Alloway, 2013). Preostanek elementov v periodnem sistemu, imenovanih tudi "elementi v sledovih", skupno obsegajo le 1 % glede na maso zemeljske skorje.

Zaradi vse večje industrijske dejavnosti naraščajo vsebnosti kovin v okolju (preglednica 1) (Adriano, 2001).

Preglednica 1: Antropogeni viri kovin

1. Rudarjenje in taljenje rude

Jalovina in žlindra: As, Cd, Hg, Pb

Rečni sedimenti in poplave: As, Cd, Hg, Pb

Izgube pri transportu rude in njenih separatov: As, Cd, Hg, Pb

Taljenje rude: As, Cd, Hg, Pb, Sb, Se

Železarne in jeklarne: Cu, Ni, Pb

Brušenje kovin: Zn, Cu, Ni, Cr, Cd

2. Industrija

Plastike: Co, Cr, Cd, Hg

Tekstilna: Zn, Al, Ti, Sn

Mikroelektronika: Cu, Ni, Cd, Zn, Sb

Zaščita lesa: Cu, Cr, As

Rafinerije: Pb, Ni, Cr

3. Atmosferski depozit

Urbana in industrijska središča skupaj s sežigalnici: Cd, Cu, Pb, Sn, Hg, V

Pirometalurška industrija: As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, Zn

Avtomobilski izpusti: Mo, Pb, V

Izgorevanje fosilnih goriv in termoelektrarne: As, Pb, Sb, Se, U, V, Zn, Cd

4. Kmetijstvo

Mineralna gnojila: As, Cd, Mn, U, V, Zn

Organska gnojila: As, Cu, Mn, Zn

Apno: As, Pb

Fitofarmaceutvska sredstva: Cu, Mn, Zn, As, Pb

Namakalne vode: Cd, Pb, Se

5. Odlaganje odpadkov

Blata čistilnih naprav: Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn

Vode, ki odtekajo iz deponij: As, Cd, Fe, Pb

Odlagališča kovin: Cd, Cr, Cu, Pb, Zn

Požari in pepel: Cu, Pb

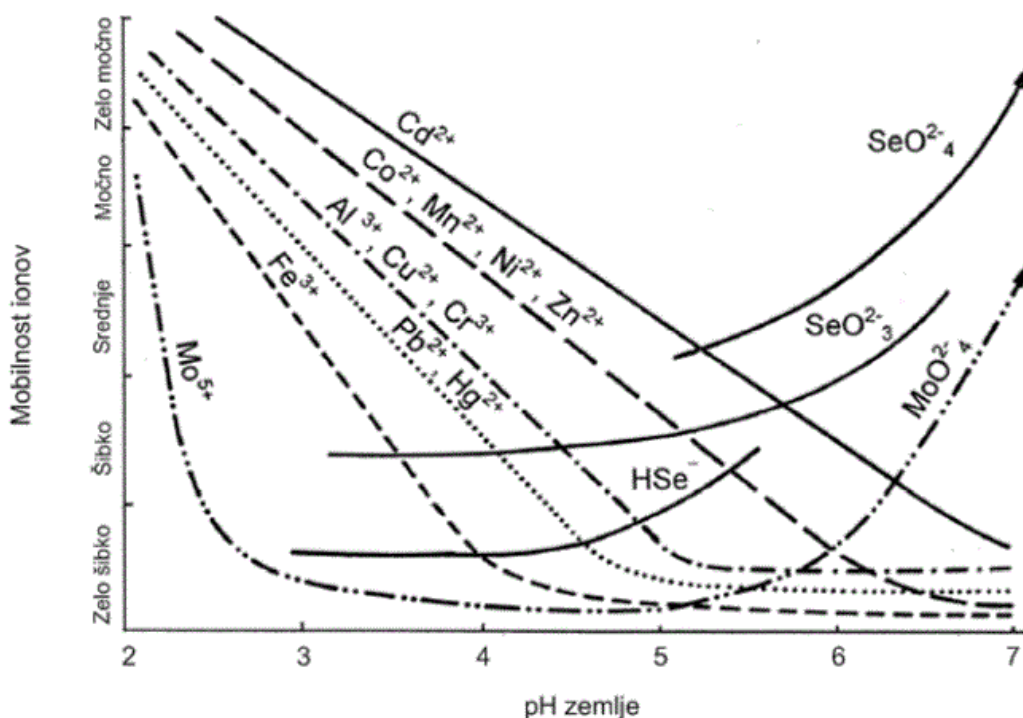
Vir: Ross (1994)

2.2 PRIVZEM KOVIN V RASTLINE

Kovine prehajajo preko tal v rastlino s pomočjo difuzijskih procesov (Alloway, 2013). Prehod snovi je odvisen od procesov v tleh (adsorbcija, desorbcija, ionska izmenjava, itd.). Na te procese pa vplivajo različne kemične, biološke in fizikalne lastnosti tal (Kabata-Pendias in Pendias, 2001), in sicer:

- i. pH vrednost,
- ii. kationska izmenjalna kapaciteta (KIK),
- iii. količina in kakovost organske snovi,
- iv. celotna vsebnost kovin v tleh,
- v. temperatura,
- vi. teksture tal,
- vii. vpliv ostalih elementov v tleh in
- viii. organizmov v tleh.

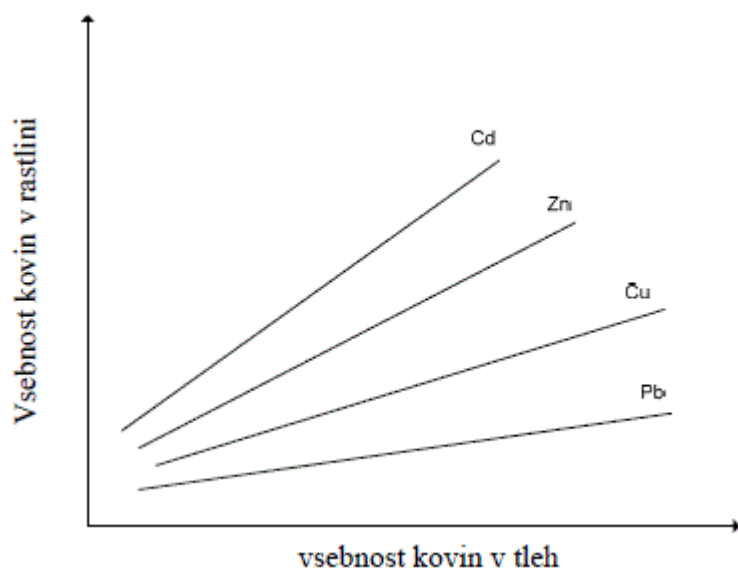
Na prehajanje kovin v rastline v največji meri vplivata pH in vsebnost ostalih kovin v tleh. Kislost talne raztopine v večini primerov (izjema je molibden) poveča topnost, mobilnost in dostopnost kovin v rastline. Dostopnost elementov za sprejem v rastline glede na pH prikazuje slika 1.



Slika 1: Prikaz mobilnosti kovin glede na pH vrednost
Vir: Kabata-Pendias in Pendias (2001)

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomska naloga. Velenje, 2018.

Iz literature lahko razberemo, da je vsebnost kovin v rastlinah povezana z vsebnostjo kovin v tleh (Kabata-Pendias in Pendias, 2001; Alloway, 2013). Več kot je Cd v tleh, tem večja je vsebnost Cd v rastlini (slika 2).



Slika 2: Privzem kovin v rastlino glede na vsebnost kovin v tleh
Vir: Kabata-Pendias in Pendias (2001)

Glede na razporeditev kovin v rastlinske dele jih Adriano (2001) razvršča v tri skupine:

1. približno enaka vsebnost kovin v koreninah in nadzemnih delih (Zn, Mn, Ni),
2. večja vsebnost v koreninah kot v nadzemnih delih (Cu, Cd, Co, Mo) in
3. zelo velika vsebnost v koreninah in majhna v nadzemnih delih (Pb, Sn, Ti, Ag, Cr).

Vsebnost kovin in njihova mobilnost v rastlinskih delih ni sorazmerna z vsebnostjo kovin v talni raztopini, zato Kabata-Pendias in Pendias (2001) delita kovine v tri glavne skupine; glede na količine, ki so potrebne za rast rastlin, in sicer: (i) nezadostne), (ii) zadostne oz. normalne in (iii) prekomerne oz. strupene (preglednica 2).

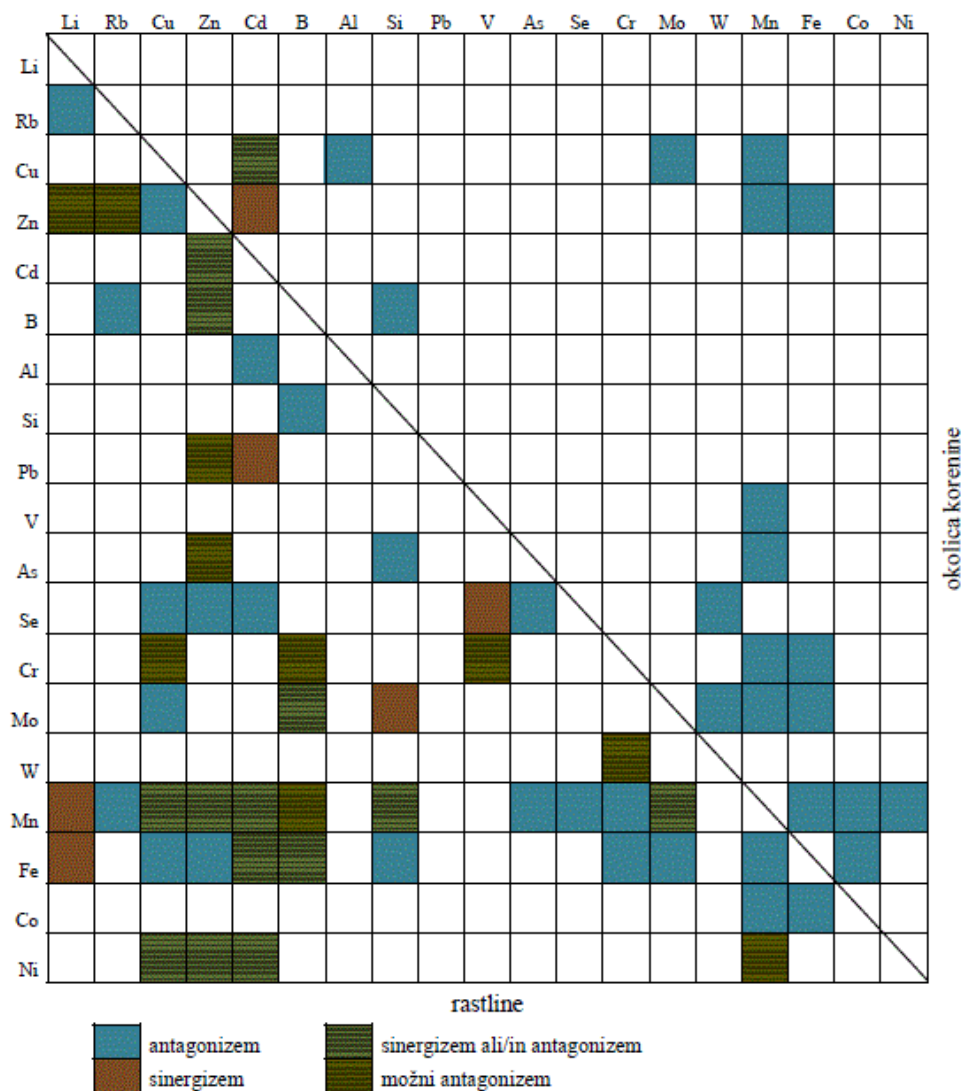
Preglednica 2: Približne vsebnosti elementov v listih odraslih rastlin različnih vrst

PRIBLIŽNE VSEBNOSTI (mg/kg suhe snovi)			
KOVINA	NEZADOSTNE	ZADOSTNE (normalne)	PREKOMERNE (strupene)
As		1 – 1,7	5 - 20
Cd		0,05 – 0,2	5 - 30
Mo	0,1 – 0,3	0,2 - 5	10 – 50
Ni		0,1 - 5	10 - 100
Pb		5 - 10	30 - 300
Ti			50 - 200
TI			20
Zn	10 - 20	27 - 150	100 - 400

Vir: Kabata-Pendias in Pendias (2001)

Posamezne kovine so lahko nujno potrebne za rast in razvoj rastlin (Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Ni, V, Na in Rb), koristne (Al, Sn, Cr, Sr) ali pa povsem nepotrebne (As, Cd, Pb in Hg) in so v okolju prisotne kot rezultat dejavnosti človeka. Negativen vpliv na rastlino imajo prenizke ali previsoke vsebnosti esencialnih elementov in previsoke vsebnosti neesencialnih elementov, saj lahko pride celo do zastrupitve rastlin (Adriano, 2001 in Alloway, 2013). Raziskave kažejo, da so rastlinam bolj dostopne kovine antropogenega izvora v primerjavi z elementi pedogeogenega izvora (Kabata-Pendias in Pendias, 2001).

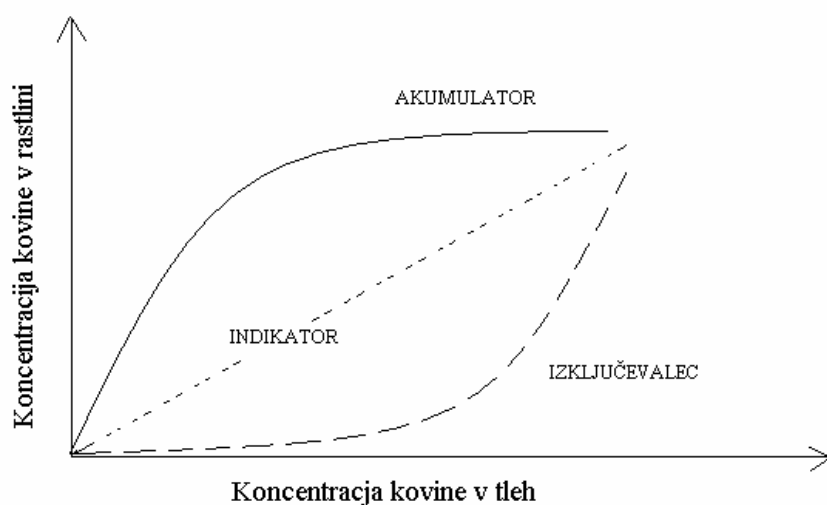
Med posameznimi elementi se lahko pojavijo interakcije, ki vplivajo na privzem in transport. Lahko so antagonistične in/ali sinergistične. Za Zn in Cd je interakcija med njima v tleh in v rastlini pričakovana zaradi značilne biokemijske podobnosti (Kabata-Pendias, 2011; Adriano, 2001). Te interakcije se lahko nanašajo na sposobnost elementa, da pride do zmanjšane adsorpcije zaradi kompeticije za vezavna mesta (antagonistično delovanje) ali pa do hkratnega višanja vsebnosti obeh elementov v ravnem mediju (sinergizem). V večini primerov Zn zmanjša privzem Cd v korenine in liste (Kabata-Pendias, 2011).



Slika 3: Interakcije med elementi v rastlinah in v okolici rastline v tleh
Vir: Kabata-Pendias in Pendias, 2001

Glede na sposobnost privzema kovin v rastline poznamo tri osnovne strategije privzema (Adriano, 2001; Kabata-Pendias in Pendias, 2001), in sicer:

- i. **akumulacija:** rastline privzemajo kovine v svoje nadzemne dele tudi do vsebnosti, ki so bistveno večje od vsebnosti kovin v tleh. Med akumulatorske vrste prištevamo tudi t.i. hiperakumulatorje, ki lahko vsebujejo tudi več kot 1000 $\mu\text{g/g}$ posamezne kovine v svojem tkivu,
- ii. **indikacija:** rastline z vsebnostjo kovin v rastlinskem tkivu (korenine in nadzemni deli) odražajo vsebnosti kovin v okolju,
- iii. **izključevanje:** rastline preprečujejo vstop neesencialnih kovin v korenine ali njihove nadzemne dele.



Slika 4: Rastline z različnimi sposobnostmi kopičenja kovin
Vir: Baker, 1981

Adriano (2001) navaja, da je občutljivost ali toleranca rastlin na presežek kovin odvisna od rastlinske vrste in genotipa rastline. Kot najbolj tolerantna glede akumulacije je družina *Brassicaceae*. Baker (1981) navaja, da rastline akumulirajo velike količine kovin v poganjke in liste, medtem ko v koreninah kopičijo nižje vsebnosti, tako da je po navadi razmerje vsebnosti kovin nadzemni del : korenine > 1 (Macnair, 2003). To razmerje definiramo kot translokacijski faktor (TF).

2.3 PREDSTAVITEV OBRAVNAVANIH KOVIN IN AS

Preglednica 3: Pregled nekaterih značilnosti kovin in As

	SVINEC (Pb)	KADMIJ (Cd)	CINK(Zn)	NIKELJ (Ni)
ESENCIALNOST	neesencialen	neesencialen	esencialen	esencialen za nekatere rastline in mikroorganizme
VSEBNOSTI V ZEMELJSKI SKORJI	13 - 16 mg/kg	0,15 – 0,20 mg/kg	70 mg/kg	80 mg/kg
POTENCIALNA TOKSIČNOST	Toksičen za rastline, živali in ljudi.	Toksičen za rastline, živali in ljudi.		Toksičen za rastline, živali in ljudi.
ANTROPOGENI VIRI	promet, rudarstvo, topilnice, fosilna goriva, naftna, kovinska industrija, pesticidi	barvna metalurgija, industrija (baterije, plastika), fosilna goriva, promet, pesticidi, gnojila, sežigalnice odpadkov, cigareti	avtomobilska (antikorozijsko sredstvo), farmacevtska in kemična industrija, mineralna gnojila	Železarne, jeklarne, rafinerije, metalurgija in čistilne naprave z odlaganjem blata
NAJPOGOSTEJŠE OBLIKE V TLEH	kisla: Pb ²⁺ , Pb-org, PbSO ₄ bazicna: PbCO ₃ , PbHCO ₃ ⁺ , Pb-org, Pb(CO ₃) ₂ ²⁻ , PbOH ⁺	kisla: Cd ²⁺ , CdSO ₄ , CdCl ⁺ bazicna: Cd ²⁺ , CdCl ⁺ , CdSO ₄ , CdHCO ³⁺	Najpogosteje se pojavlja kot cinkova svetlica ali cinkov sulfid (ZnS), cinkovi ioni Zn ²⁺ .	V naravi je največkrat v obliki sulfidov, arzenidov in arzenatov, zelo redki so nikljevi silikati.
BIODOSTOPNOST	Večajo jo anaerobni pogoji in nizek pH. Nizke vsebnosti organski snovi in fosfati.	Velika, če je pH<6; majhna, če je pH>7, zmanjša jo organska snov in glina, največja na sedimentnih kamninah.	Odvisen od vrste rastline, pH in prisotnosti drugih ionov (Ca, Fe, Cu, P in Ni); najbolj mobilni v kisljih mineralnih tleh s pH=4-5.	Lažje se absorbira v rastline v ionski obliki, v topni fazi se hitro absorbira v korenine, pri višjem pH se zmanjša privzem.
VNOS V RASTLINE	Pasiven, transport iz korenin v ostale dele rastlin, zelo majhen, zračna depozicija in vnos, preko listov višajo vsebnost.	Pasiven ali aktiven, zelo mobilni v rastlini, zračna depozicija in daljinski transport, privzem iz tal omejujejo mikorizne povezave.	Največ Zn je v koreninah in starejših listih, najmanj v plodovih; srednja do visoka mobilnost.	Zelo mobilni v rastlini, najbolj se kopiči v semenih.
VNOS V LJUDI	Hrana, vdihavanje, pitje; absorbira se 10-50 % inhaliranega Pb in 2-20 % zaužitega, otroci absorbirajo več kot odrasli, znaten prenos preko placent, večina se ga izloči z urinom in iztrebljanjem.	Hrana (absorbira se <5 % zaužitega), pitje, z inhalacijo do 50-krat manj vnosa, večina se izloči z urinom, prenos na plod preko placent je majhen.	Izloča se preko blata.	Preko pljuč, prebavnega trakta in kože; absorbira se približno 20 – 35 % inhaliranega Ni, izloča se z urinom, v manjši meri pa preko potenja in z maternim mlekom.
STRUPENOST ZA LJUDI	Poškodbe ledvic, vpliv na centralni živčni sistem, poškodbe srca in oživlja, poškodbe prebavnega trakta, anemija, kancerogenost.	Toksičnost pri vdihavanju približno 60-krat večja kot pri zaužitju, poškodbe ledvic in jeter, zmanjšana rast, anemija, kancerogenost.	Pomanjkanje Zn povzroči anemijo, zaustavitev rasti, neodpornost. Prevelike količine (vdihavanje delcev) lahko povzročijo motnje v reprodukciji in počasnejši razvoj zarodka.	Kontaktni dermatitis (najbolj razširjena alergija pri ženskah); slabost, vrtoglavica, glavobol, bolečine v prsih; zaužite velike količine pri otrocih lahko vodijo v srčni zastoj; potencialno kancerogen (Ni(CO) ₄).
AKUMULACIJSKI ORGAN	kosti (90 %) > ledvice > jetra	ledvice > jetra	mišice in kosti	pljuča, ledvica, jetra
MEJNE, OPOZORILNE IN KRITIČNE IMISIJSKE VREDNOSTI V TLEH (Uradni list RS, št. 68/96)	85 100 530	1 2 12	200 300 720	50 70 210
MEJNE VREDNOSTI V ŽIVILIH (Ur. l. RS št. 27/07, 38/10 in 57/11)	0,20 mg/kg mokre teže	0,20 mg/kg mokre teže	/	/
PROBLEMATIČNOST PO ATSDR* (2015)	2.	7.	75.	57.

*ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomska naloga. Velenje, 2018.

	ARZEN (As)	MOLIBDEN (Mo)	TALIJ (Tl)	TITAN (Ti)
ESENCIALNOST	neesencialen	esencialen za vse aerobne organizme	neesencialen	možno, da je esencialen za rastline in živali
VSEBNOSTI V ZEMELJSKI SKORJI	1,5 – 2 mg/kg	1,5 – 2,5 mg/kg	0,5 – 1,0 mg/kg	0,4 – 0,57 mg/kg
POTENCIALNA TOKSIČNOST	Toksičen za rastline, živali in ljudi.	> 20 mg/kg možna toksičnost za živali.	Toksičen za rastline, živali in ljudi.	/
ANTROPOGENI VIRI	Barvna metalurgija, rudarstvo, topilnice, pesticidi, kemična industrija, fosilna goriva, kemično orožje.	Rudarstvo, topilnice, pri izdelavi keramike, gnojila, z odlaganjem blata.	Električna in elektronska industrija, medicina, industrija barvil ter impregnacija lesa in usnja.	Za izdelavo industrijske kemijske opreme, v medicini (inštrumenti), kot konstrukcijski material v letalstvu in ladjarstvu.
NAJPOGOSTEJŠE OBLIKE V TLEH	As ³⁺ in As ⁵⁺ soli	V naravi se ne pojavlja v elementni obliki, ampak kot molibatni(VI) ion (MoO ₄ ²⁻).	V naravi se ne pojavlja v prostem stanju, ampak v mineralih: TlAsS ₂ in Tl ₂ O ₃ .	Pojavlja se predvsem v mineralni obliki, in sicer: TiO ₂ .
BIODOSTOPNOST	Najvišja pri nevtralnem pH in slabo alkalnem pH ter pri nizki vsebnosti fosfatov, zmanjša jo organska snov, mobilne zlasti As ³⁺ oblike.	Odvisna od pH, v območju nevtralnega je adsorbpcija slaba, vendar raste s padajočim pH; slabša na kislih tleh.	Odvisna od vremenskih razmer (ko je suša, lahko rastlina kopičenje Tl bistveno zmanjša), pH tal (privzem do 50 % večji pri pH=5,6 kot pri pH=6,2) in od rastlinske vrste.	Zelo majhna
VNOS V RASTLINE	Pasiven, v obliki Al in Fe oksidov, večina As v rastlinah je v koreninah in starih listih	V rastlino prehaja s privzemom preko korenin in difuzije, v rastlini pomemben za presnovo N	Zelo mobilni v rastlinah, fitotoksičen.	Razmeroma nedosegljiv za rastline in težko mobilni v njih; obstaja nekaj poročil o njegovih pozitivnih učinkih na pridelek.
VNOS V LJUDI	Absorbpcija 40 - 100 %, predvsem s hrano in pjačo, z dihanjem se ne vnaša, prenos preko placente je majhen, v telesu je v organski obliki (arzenobetain), z urinom se ga izloči 75 %.	Zaužijemo skoraj v celoti (90 – 99 %) s hrano; glavni organ za izločanje so ledvice, nekoliko manj se izloči z blatom, skoraj zanemarljivo pa je izločanje s potenjem.	V nizkih vsebnostih prisotna v človeškem tkivu s povprečnim vnosom manj kot 5 µg/dan (večinoma pridobljen iz zelenjave).	V medicini ga uporabljajo kot biokompatibilni implantati.
STRUPENOST ZA LJUDI	Potencialno kancerogen, teratogen, mutagen; povzroča bruhanje in diarejo, obolenja kože, motnje v centralnem živčnem sistemu, poškodbe jeter, paraliziranost, pljučni edem.	Zanesljivih podatkov o toksičnosti pri ljudeh je malo in so v glavnem omejene na delavce v rudnikih, ki so izpostavljeni prašnim delcem → pri dolgotrajnem vdihovanju se pojavijo težave s dihanjem.	KRONIČNA ZASTRUPITEV: utrujenost, glavobol, nespečnost, slabost in bruhanje, bolečine v mišicah in sklepih, odrevenelost prstov na rokah in nogah, izpadanje las lahko sledi po preteku nekaj tednov.	Predlog o razvrstitvi titanovega dioksida v skupino kancerogenih snovi 2A po IACR (možnost povzročitve raka pri inhalaciji).
AKUMULACIJSKI ORGAN	možgani, mišičnina, ledvice, jetra, vranica	jetra in ledvice		
MEJNE, OPOZORILNE IN KRITIČNE IMISIJSKE VREDNOSTI V TLEH (Uradni list RS, št. 68/96)	20 30 55	10 40 200	/	/
MEJNE VREDNOSTI V ŽIVILIH (Ur. l. RS št. 27/07, 38/10 in 57/11)	/	/	/	/
PROBLEMATIČNOST PO ATSDR* (2015)	1.	/	275.	/

Vir: Alloway, 2013; Adriano, 2001; Kabata-Pendias in Pendias, 2001; Kabata-Pendias, 2011; Jamšek in Šarc, 2009; Černe, 2009; Gosar in Šajn, 2005; Košak in Obreza, 2012; Obreza, 2008; Dart s sod., 2004; Likar, 1998

2.4 SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)

Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) je enoletna zeljnata rastlina grmičaste oblike, ki uspeva na toplejših do zmerno toplih območjih in je ena najstarejših kulturnih rastlin. Na Kitajskem so jo gojili že vsaj pred pet tisoč leti, nato pa se je v 18. stoletju razširila naprej v ZDA, šele v 19. stoletju se je začela širiti v topla območja južne Evrope in na Balkan (Kocjan Ačko, 2015; Čeh in Čeh, 2009). S 110 milijoni hektarov svetovne pridelave v letu 2013 zavzema med poljščinami četrto mesto za pšenico, koruzo za zrnje in rižem. Po podatkih razbranih iz statistične zbirke Združenih narodov FAOSTAT (medmrežje 1) je znašala svetovna proizvodnja soje v letu 2014 nekaj čez 308 milijonov ton. Največje svetovne pridelovalke soje so ZDA, Brazilija, Argentina, Kitajska in Indija.

Soja spada v družino *Fabaceae* in rod *Glycine*. Korenine so vretenaste z dobro razvito glavno korenino. Stranske koreninice, ki so dobro razvite, rasejo horizontalno 40 do 70 cm, nato pa se obrnejo v globino. Korenine imajo veliko črpalno moč za hranila in vodo, zato rastlina lažje prenaša sušne razmere. Steblo rastline je gosto obraslo z dlačicami in zraste od 20 do 100 cm visoko (odvisno od sorte, dolžine rastne dobe in pridelovalnih razmer). Listi so sestavljeni iz treh lističev (tripernati), razen prvega para, ki ima na listnem peclju samo en list. Posamezni lističi so dolgi od 6 do 12 cm, široki 3 do 9 cm in so različnih oblik (srčasti, trikotni, jajčasti, ovalni, itd.). Cvetovi so beli, blede vijolični ali svetlo rumeni in brez vonja. Zgrajeni so iz petih čašnih listov, treh venčnih listov, desetih prašnikov in enega pestiča. Plod pri stročnicah je strok in je dolgi od 3 do 5 cm ter ima približno 1 do 5 semen (Čeh in Čeh, 2009).



Slika 5: Nasad soje (*Glycine max* (L.) Merrill)
Vir: lasten

Sodi med najpomembnejše poljščine, saj se uporablja tako v prehrani ljudi (juhe, solate, kruh, mleko in mlečni izdelki, itd.) in živali (kot kakovostna beljakovinska krma) kakor tudi v industrijski pridelavi zaradi kemijske sestave semena (za izdelavo sveč, barv, zdravil, plastičnih mas, papirja, lepil, itn.). Je pomembna rastlina za pridelavo beljakovin, saj ima v semenu več kot 30 % beljakovin (pri gensko spremenjenih sortah pa tudi do 55 %). Seme vsebuje 20 % olja, ki ga izkoriščamo za industrijsko predelavo. S svojim močno razvejanim in globokim koreninskim sistemom ugodno vpliva na vzdrževanje in izboljšanje strukture tal, poleg tega pa veže dušik iz zraka (Čeh in Čeh, 2009).

2.5 OLJNA OGRŠČICA (*Brassica napus* L. var. *napus*)

Oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*) je ena izmed najpomembnejših oljnic, ki spada v družino križnic (*Brassicaceae*) (Kocjan Ačko, 2015). Med križnice prištevamo pomembne poljščine in vrtnine, kot so: kavla, repa, zelje, ohrovt, cvetača, brokoli, itd. Oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*) je pomembna oljnica hladnejših območij, čeprav njeni predniki izvirajo iz toplejšega Sredozemlja in jugovzhodne Azije (Kocjan Ačko, 1999).

Ima vretenaste korenine, tanjše steblo, visoko do 120 cm in tujeprašen cvet, ki je sestavljen iz štirih časnih listov, štirih zlatorumenih venčnih listov, enega pestiča in šestih prašnikov (Kocjan Ačko, 1999). Plod pri križnicah je lusk, ki je ob dozorevanju postavljen pravokotno na steblo. Dolgi so od 5 do 10 cm in v njih je od 20 do 30 semen (Čeh in Čeh, 2009).

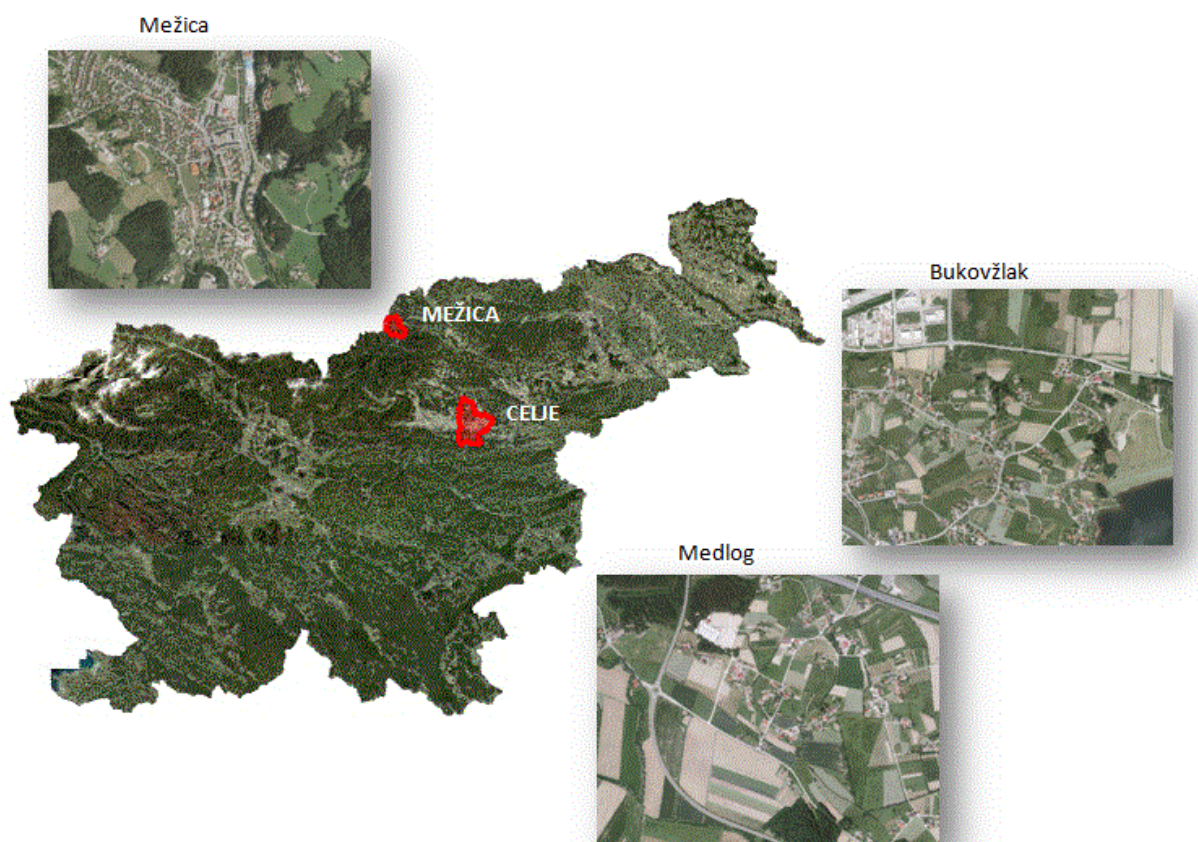


Slika 6: Oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*)
Vir: Romih, 2013

Oljna ogrščica (*Brassica napus* L. var. *napus*) je za sojo in palmami tretji najpomembnejši vir rastlinskih olj na svetu. Glavni gospodarski pomen je velika pridelava zrnja, z visoko vsebnostjo olja do 50 %. Poleg olja seme vsebuje od 15 do 25 % beljakovin, minerale, vitamine ter omega 3 maščobne kisline (Romih, 2013). Uporabna je kot vir olja za človeško prehrano, surovina za kemično industrijo, vir obnovljive energije, okolju prijaznega maziva za stroje, beljakovinske in energetske krme za živali (pogače in tropine), paša za čebele ter posevek za podor in zeleno krmo (Čeh in Čeh, 2009).

2.6 PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH OBMOČIJ

V okviru diplomske naloge smo primerjali rezultate distribucije kovin v rastlinske dele soje (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*) na različno onesnaženih tleh. Vključili smo dve industrijsko razviti območji, in sicer Celjsko kotlino (Bukovžlak) in Mežiško dolino (Mežica) s točkovnim virom emisij kovin (Cinkarna Celje in topilnica Žerjav) in območje Medloga. Raziskave oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*) so potekale v obdobjih 2006/2007, 2008/2009 in 2009/2010. Raziskave soje (*Glycinemax* (L.) Merrill) pa v obdobjih 2015/2016 in 2016/2017.



Slika 7: Raziskovalna območja

Zgornja Mežiška dolina je dolina z ozkim ravninskim dnom, obdana s hribovitim in goratim svetom, med Črno na Koroškem in Žerjavom do Mežice. Nahaja se v severnem delu Slovenije in jo umeščamo v mezoregijo Vzhodnih Karavank, le to pa v makroregijo Alpskega sveta (Romih, 2013). Nadmorska višina doline je relativno velika, saj najvišji vrh Peca meri 2125 m. Značilna je izrazita alpska klima s povprečno letno temperaturo od 4 do 8 °C in letno količino padavin med 1300 in 1600 mm (Romih, 2013).

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomska naloga. Velenje, 2018.

Prvo večje onesnaževanje okolja se je v zgornji Mežiški dolini pričelo v začetku 20. stoletja s topilnico v Žerjavu. Z izboljšanjem čistilnih naprav in kasnejšim zaprtjem rudnika ter topilnice svica in cinka se je stanje v okolju izboljšalo (Švab, 2010).

Mežica leži na severu Slovenije, na Koroškem ob meji z Avstrijo in je središče Mežiške doline.

Celjska kotlina leži na vzhodnem robu slovenskega alpskega sveta in je z vseh strani obdana s hribovji. Dolga je približno 35 km in široka med 6 in 12 km. Nadmorska višina variira od 240 do 320 m. Za Celjsko kotlino je značilno alpsko podnebje, ki je prepleteno s celinskim podnebjem in s povprečno letno temperaturo okoli 10,2 °C in letno količino padavin med 1092 in 1133 mm. Tla so pretežno prodnata, le na obrobju so ilovnati nanosi (Romih, 2013).

Celjska kotlina je ena izmed najstarejših in najintenzivnejših industrijskih območij v Sloveniji, saj ima z rudninami in premogom bogato naravno zaledje, dobro prometno povezanost in bližino velikih tržišč. Dosedanje raziskave so pokazale, da je zaradi dolgoročne aktivnosti metalurško – kemične industrije območje, ki ga sedaj imenujemo "Stara Cinkarna", ostalo izjemno onesnaženo območje (Grilc, 2013) z nekaterimi potencialno toksičnimi kovinami.



Slika 8: "Stara Cinkarna" – stari degradiran del cinkarne
Vir: Romih, 2013

Bukovžlak je naselje ob vzhodnem robu Celja. Raziskave stopnje onesnaženosti tal s kovinami so pokazale visoke vsebnosti, ki presegajo opozorilno in kritično imisijsko vrednost nevarnih snovi v tleh glede na veljavno zakonodajo (Grabner s sod., 2010).

Medlog je naselje ob zahodnem robu Celja ob meji z občino Žalec.

3. MATERIALI IN METODE

Pri izdelavi diplomske naloge smo uporabili opisno oz. deskriptivno metodo, kjer smo s študijem literature kategorizirali, analizirali in primerjali podatke. Zastavljene hipoteze smo s pomočjo analize metode potrdili ali ovrgli. Obdelavo podatkov smo izvedli s statistično metodo s pomočjo računalniškega programa Microsoft Excel 2007. Za primerjavo med rastlinama (soja in oljna ogrščica) smo uporabili primerjalno metodo. Del naloge je temeljil na eksperimentalnem delu, kjer smo pri projektu Soja sodelovali pri poskusu (žetev soje, vzorčenje in priprava vzorcev za analizo). Na projektu so sodelovali tudi drugi študentje: Nuša Pavlinc, Mitja Laznik in Žan Jankovič. Zaradi prepletanja diplomskih nalog lahko prihaja do podobnih ugotovitev pri interpretaciji rezultatov.

3.1 PRIPRAVA POVRŠINE

Glede na prejšnje raziskave smo izbrali v Celju območje (Bukovžlak), ki je obremenjeno s kovinami. Za primerjavo smo izbrali območje v Medlogu pri Celju, kjer so predhodne analize pokazale, da vsebnosti kovin v tleh ne presegajo kritične vrednosti glede na veljavno zakonodajo. Površine za sejanje soje so raziskovalci Inštituta za okolje in prostor (IOP) pripravili v skladu z navodili Agrosat-a. V letu 2015 so za raziskavo na obeh območjih posejali dve različni sorti soje, in sicer Es Dominator in Naya.

3.2 SEJANJE

V letu 2016 so posejali sorto Es Mentor in Ema. Pri sejanju so uporabili naslednji material:

- zrnje,
- gnojilo (NKP: 15/15/15),
- motiko in grablje,
- meter,
- fotoaparata za slikovno gradivo in
- terenski zvezek ter pisalo.

Sejali so 5. 7. 2016 v vrste, med katerimi je bilo 25 cm razmika. Zrna soje so si v vrsti sledila na razdalji 5 cm. Sejali so približno od 60 do 70 zrn na m². Od setve do pridelka loči od 80 do 170 dni (odvisno od sorte). V času večje suše so sojo zalivali. V začetku rasti so sojo okopali, da so preprečili, da bi plevel prerasel posevek. Pozneje okopavanje ni več potrebno.

3.3 VZORČENJE SOJE

Vzorčenje soje v Bukovžlaku je potekalo 25. 10. 2016. Pri tem smo uporabili naslednje pripomočke:

- meter (za določanje dolžine stebel in korenin),
- vrečke za shranjevanje rastlinskih delov (korenine, stebela, stroki in zrnje),
- fotoaparati za slikovno gradivo in
- terenski zvezek ter pisalo.



Slika 9: Soja pred vzorčenjem
Vir: lasten

Vzorčenje smo izvedli v času zrelosti rastlin, in sicer po metodi naključnega izbora. Skupke rastlin smo naključno izbrali in jih združili v en skupen vzorec. Za vsako sorto (Es Mentor in Ema) smo pobrali 3 vzorce po 5 do 8 rastlin.

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomska naloga. Velenje, 2018.



Slika 10: Vzorčne rastline

Vir: lasten

Vzorčne rastline smo razdelili na posamezne dele, in sicer na korenine, stebila in zrnje. Rastlinske dele smo ločevali ročno in jih shranili v označene papirnate vrečke ter kasneje posušili na zraku. Korenine smo sprali s prekuhano vodo, da smo odstranili prst, in jih nato zračno posušili.



Slika 11: Vzorčne rastline razdeljene po rastlinskih delih (korenine, stebila in zrnja)

Vir: lasten

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomska naloga. Velenje, 2018.

3.4 MLETJE SOJE

Vzorci soje smo zmleli v kemijskem laboratoriju Nacionalnega laboratorija za zdravje, okolje in hrano enota Celje z mlinom Retsch Ultracentrifugalni mlin ZM200, in sicer od 12. 12. 2016 do 15. 12. 2016.



Slika 12: Retsch Ultracentrifugalni mlin ZM200

Vir: lasten, 2016

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomska naloga. Velenje, 2018.



Slika 13: Mlevna orodja

Vir: lasten, 2016

Zmleli smo 24 vzorcev. Začeli smo z mletjem zrn, nato pa nadaljevali s klasjem, stebli in na koncu še koreninami. Po vsakem mletju vzorca smo suho očistili mlevna orodja in mlina, da ne bi prišlo do kontaminacije vzorcev. Pred mletjem vzorcev različne sorte smo mlin očistili z vodo. Analize vzorcev soje smo opravili z multielementno analizo z ICP-MS v laboratoriju NLZOH enota Celje. Analiza vzorcev iz leta 2015 so opravili z multielementno analizo z ICP-MS v ACME-Lab (Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.), Vancouver, Canada.



Slika 14: Zmleti vzorci v označenih epruveh

Vir: lasten, 2016

3.5 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Statistične analize podatkov smo naredili s pomočjo programa MS Excel. Za slikovni prikaz podatkov smo uporabili škatlo z brki oz. okvir z ročaji (ang. boxplot), ki nam grafično ponazarja najmanjšo vrednost (minimum vzorca), prvi kvartil (Q1), mediano (Q2), tretji kvartil (Q3) in največjo vrednost (maksimum vzorca). Rdeče pike na grafih ponazarjajo povprečne vrednosti.

3.6 IZRAČUN TRANSLOKACIJE (TF) IN BIOAKUMULACIJSKEGA FAKTORJA (BAF)

Sposobnost transporta tarčnega elementa smo izračunali s translokacijskim faktorjem (TF), sposobnost akumuliranja tarčnega elementa pa z bioakumulacijskim faktorjem (BAF), in sicer po naslednjih formulah (Zhou s sod., 2013 in Ivanciuc s sod, 2006):

$$TF = \frac{\text{vsebnost kovin v nadzemnem delu}}{\text{vsebnost kovin v podzemnem delu}} \text{ in}$$

$$BAF = \frac{\text{vsebnost kovin v rastlini}}{\text{vsebnost kovin v tleh}} .$$

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 VSEBNOSTI KOVIN V TLEH

Analize tal so bile opravljene pred setvijo. Glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih v tleh (Ur. l. RS 68/96) so bile v Medlogu prekoračene mejne vrednosti za Cd in opozorilne vrednosti za As, v Bukovžlaku so bile prekoračene opozorilne vrednosti za Cd in Pb ter kritične vrednosti za Zn, v Mežici pa so bile prekoračene kritične vrednosti za Cd, Pb in Zn. Glede na priporočila Mailänder in Hämman (2005) je prekoračena vsebnost Tl v tleh v Bukovžlaku in Mežici (preglednica 4).

Preglednica 4: Vsebnost kovin v vzorcih tal (v mg/kg suhe snovi vzorca)

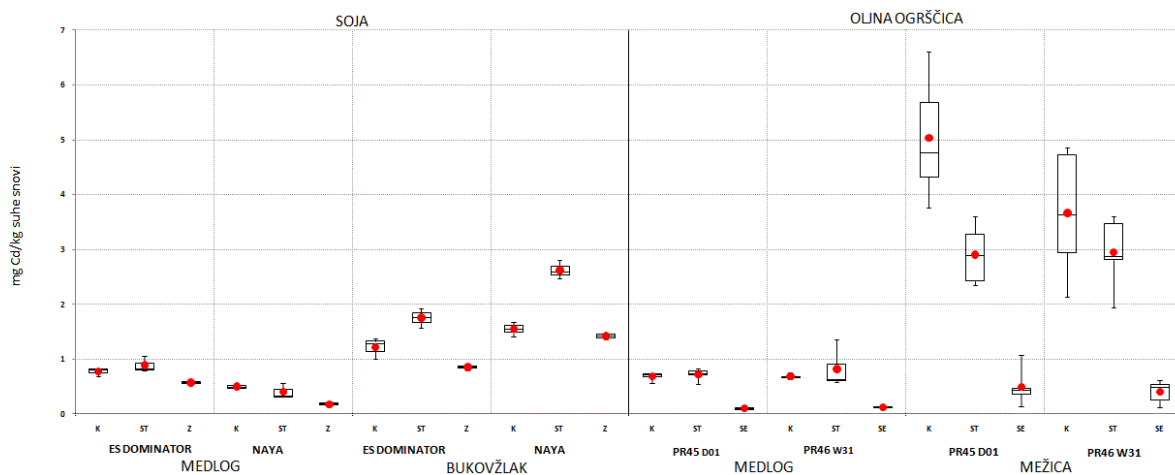
Vzorčno območje	pH	Cd	Pb	Zn	Ni	As	Mo	Tl	Ti
MEDLOG	7,28	1,4	38	139	33,1	30,4	0,4	0,3	40
BUKOVŽLAK	6,96	11,68	181,37	1445,8	20,5	14,4	0,74	0,67	40
MEŽICA	6,38	37,5	2153	5094	23,6	17,7	0,9	1,1	240
	mejna vrednost	1	85	200	50	20	10		
	opozorilna vrednost	2	100	300	70	30	40		
	kritična vrednost	12	530	720	210	55	200		
	priporočila po Mailänder R.A., Hämman M. (2005)							0,5	
	priporočila po H. J. M. Bowen (1966)								400-1500

4.2 DISTRIBUCIJA IN VSEBNOST KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH SOJE IN OLJNE OGRŠČICE

Opravili smo primerjavo distribucije in vsebnosti kovin (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl) in polkovine As v rastlinskih delih (korenine, stebila in semena/zrnje) soje (*Glycine max* (L.) Merrill) sort Es Dominator, Es Mentor, Naya in Ema ter oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*) hibridov PR45 D01 in PR46 W31 na različno onesnaženih tleh. Za sorti Es Dominator in Naya je bila opravljena obdelava podatkov za elemente Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti, Tl in polkovino As, medtem ko so bili za sorti Es Mentor in Ema obdelani podatki za elemente Ni, Mo, Tl in polkovino As.

4.2.1 Distribucija in vsebnost Cd v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Rezultati kažejo, da ima večja vsebnost Cd v tleh za posledico večjo vsebnost Cd v soji in oljni ogrščici (slika 15, priloga 1 in 3). V primerjavi s koreninami in stebli je vsebnost Cd najmanjša v semenih soje in oljne ogrščice (slika 15, priloga 1 in 2). Vsebnost Cd je največja v koreninah v Mežici pri hibridu oljne ogrščice PR45 D01. V Medlogu je pri soji zaporedje povprečnih vsebnosti Cd pri sorti Es Dominator stebila > korenine > zrnje, medtem ko je pri Naya korenine > stebila > zrnje. V Bukovžlaku je za obe sorti (Es Dominator in Naya) značilno zaporedje stebila > korenine > zrnje (priloga 2). V Medlogu je zaporedje povprečnih vsebnosti Cd pri oljni ogrščici stebila > korenine > semena. V Mežici privzema oljna ogrščica v oba hibrida (PR45 D01 in PR46 W31) v zaporedju korenine > stebila > semena.



Slika 15: Vsebnost Cd v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

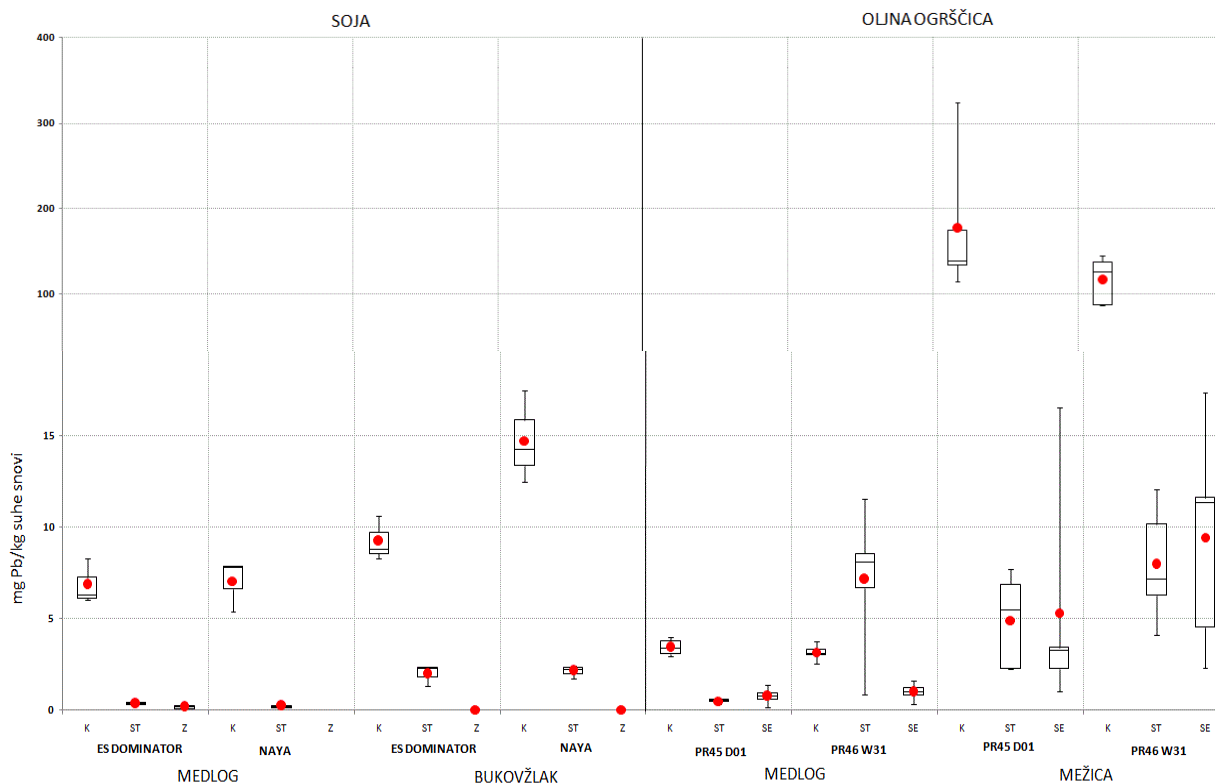
Arao (2003) navaja distribucijo Cd v rastlinske dele soje, kjer so vsebnosti Cd v koreninah in steblih večje in v zrnjih manjše. Tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku je značilno premeščanje mobilnega Cd v zaporedju stebela > korenine > zrnje, razen na območju Medloga pri sorti Naya, kjer si sledi zaporedje korenine > stebela > zrnje (priloga 2). Manjše vsebnosti Cd najdemo v zrnju kot rezultat kopičenja večjih vsebnosti v koreninah, s čimer se zmanjša translokacija Cd (Arac, 2003). Čeprav so najmanjše vsebnosti Cd v zrnju, pa le-ta še vedno presegajo mejne vrednosti v živilih (Ur. I. RS št. 27/07, 38/10 in 57/11). Murakumi (2007) navaja sojo kot potencialno fitoremediacijsko rastlino, kar kažejo tudi naši rezultati, saj je $TF(Cd)_{\text{nad.del/korenina}} > 1$ (preglednica 5).

Oljna ogrščica in soja, ki sta rasli v Bukovžlaku in Mežici, sta privzemali več Cd v rastlinske dele (slika 15). Angelova s sod. (2004) in Al-Shehbaz s sod. (2006) navajajo distribucijo Cd v rastlinske dele oljne ogrščice, kjer so vsebnosti Cd v koreninah in steblih manjše in v semenih večje. V Medlogu je vsebnost Cd večja v steblih oljne ogrščice v primerjavi s koreninami in semeni. Prav tako enako razporeditev je ugotovila Angelova s sod. (2004). V Mežici je vsebnost Cd večja v koreninah in steblih. Povprečne vsebnosti Cd v semenih v Mežici so večje za 3,9 x v primerjavi z vsebnostjo Cd v semenih v Medlogu. Vsebnost Cd v nadzemnem delu je večja od vsebnosti v koreninah na območju Medloga, kar potrjuje ugotovitve Marchiola (2004) in Grispena (2006) o primernosti uporabe oljne ogrščice kot fitoremediacijske rastline na malo do srednje onesnaženih tleh (preglednica 5). V Mežici je značilno premeščanje mobilnega Cd v zaporedju korenine > stebela > semena (priloga 2). Baker (1981) navaja, da tolerantne rastline izključujejo ali pa akumulirajo kovine v svojih tkivih. Tako oljna ogrščica v našem primeru na s Cd v Mežici izključuje prehajanja Cd v nadzemne dele in ga akumulira v koreninah, kjer z uporabo notranjih mehanizmov zmanjšuje njegove škodljive vplive (Baker, 1981). Primerjava podatkov z Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013) le-te ugotovitve potrjuje.

4.2.2 Distribucija in vsebnost Pb v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Rezultati kažejo, da ima večja vsebnost Pb v tleh za posledico večjo vsebnost Pb v soji in oljni ogrščici (slika 16, priloga 1 in 3). V Bukovžlaku in Mežici je privzem Pb v rastlinske dele večji v primerjavi z Medlogom (slika 16). Največji privzem Pb je v koreninah tako soje kakor tudi oljne ogrščice, najmanjši pa v semenih/zrnju (slika 16). Pri oljni ogrščici ima hibrid PR46 W31 višji sprejem Pb v nadzemne dele (stebela + semena) v primerjavi s hibridom PR45 D01 (priloga 1).

Pri soji si na vseh obravnavanih območjih povprečne vsebnosti Pb sledijo v zaporedju korenine > stebela > zrnje (priloga 2). Zaporedje povprečnih vsebnosti Pb pri oljni ogrščici je korenine > semena > stebela, razen pri hibridu PR46 W31 v Medlogu, kjer si zaporedje sledi stebela > korenine > semena (priloga 2).



Slika 16: Vsebnost Pb v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

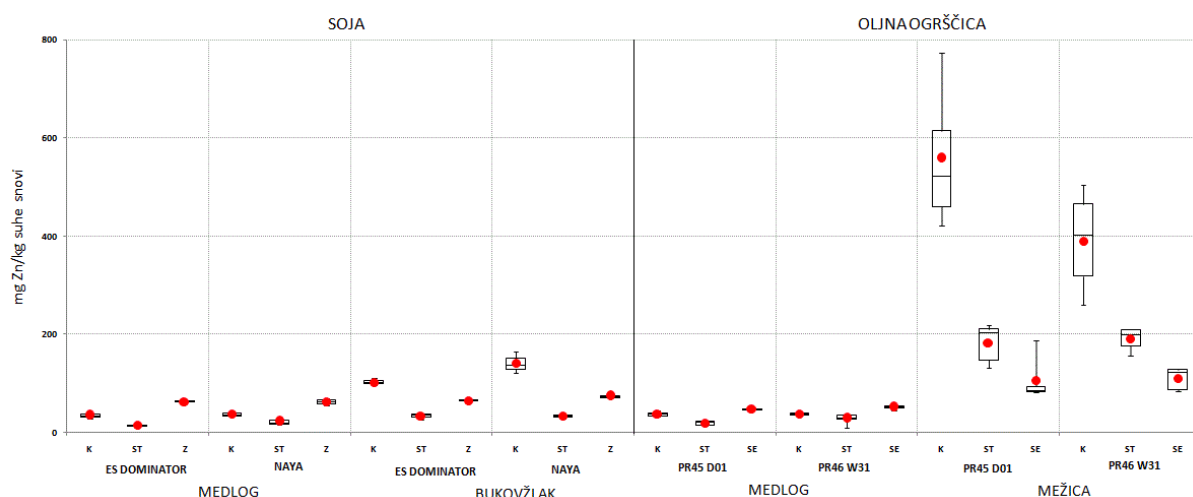
Pb je razmeroma nemobilen element in se v večji meri zadržuje v koreninah (Adriano, 2001; Kabata-Pendias in Pendias, 2001). Pourrut (2011) navaja, da se večina Pb (približno 95 % ali več) pri soji akumulira v koreninah in le majhen del prenese v nadzemne dele. To potrjuje naš poskus, saj si pri soji sledi zaporedje tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku korenine > stebila > zrnje (priloga 2). Na območju Medloga je pri obeh sortah (Es Dominator in Naya) povprečna vsebnost Pb za 799 x večja v koreninah kot pa v semenih.

Slika 16 kaže, da je ne glede na obravnavano območje vsebnost Pb največja v koreninah. V Mežici je povprečna vsebnost Pb pri obeh hibridih za 44 x večja v koreninah, za 2 x večja v steblih in za 8 x večja v semenih v primerjavi z vsebnostjo Pb v rastlinskih delih na območju Medloga. Vsebnost Pb v rastlinskih delih pada v zaporedju korenine > semena > stebila, razen v Medlogu pri hibridu PR46 W31, kjer si zaporedje sledi stebila > korenine > semena, kar potrjuje tudi preskus Angelove (2004), medtem ko Marchiol (2004) navaja zaporedje korenine > stebila > semena. To potrjuje tudi primerjava podatkov z Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013). Rezultate našega poskusa si lahko razlagamo tako, da je premostitev Pb v semena možna s transportom esencialnih kovin, ki se zgodi ali zaradi zamenjave med kovinama ali kot posledica široke specifičnosti receptorja ali pri veliki vsebnosti Pb v rastlini pride do porušitve barrier znotraj rastline (Tauris s sod., 2009).

4.2.3 Distribucija in vsebnost Zn v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Rezultati kažejo, da ima večja vsebnost Zn v tleh za posledico večjo vsebnost Zn v soji in oljni ogrščici (slika 17, priloga 1 in 3). V Bukovžlaku in Mežici je privzem Zn v rastlinske dele večji v primerjavi z Medlogom. V Medlogu je tako pri soji kakor tudi pri oljni ogrščici privzem Zn največji v semenih/zrnju, medtem ko je v Bukovžlaku in Mežici največ Zn v koreninah (slika 17, priloga 1).

Pri soji na območju Medloga za obe sorti (Es Dominator in Naya) velja zaporedje zrnje > korenine > stebela, medtem ko se na območju Bukovžlaka privzem Zn v povprečju zmanjšuje v zaporedju korenine > zrnje > stebela za obe sorti (priloga 2). Privzem Zn v rastlinske dele se v povprečju zmanjšuje pri oljni ogrščici na območju Medloga v zaporedju semena > korenine > stebela za oba hibrida, medtem ko se na območju Mežice zmanjšuje vsebnost Zn po zaporedju korenine > stebela > semena.



Slika 17: Vsebnost Zn v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

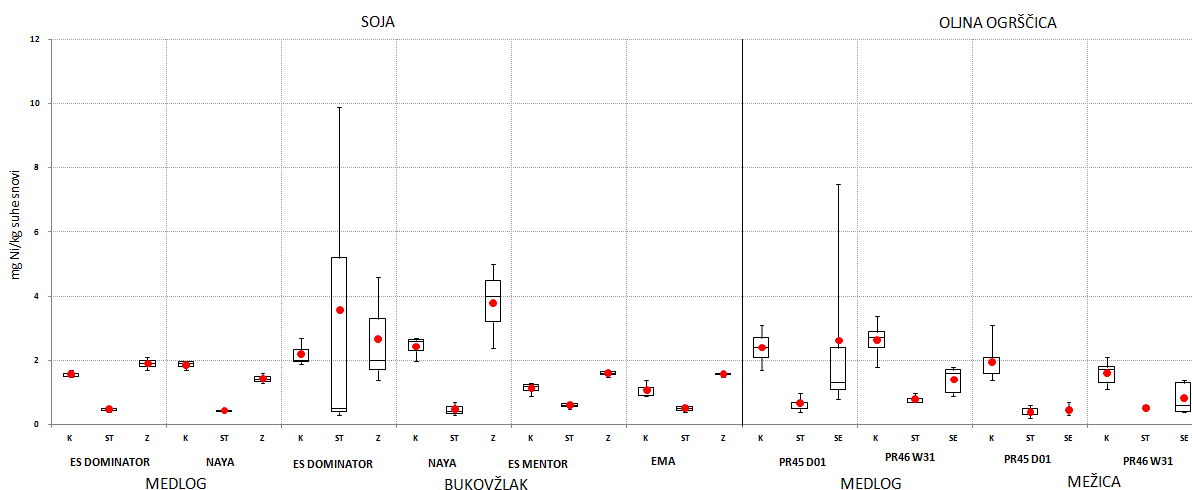
Murakami (2009) navaja na malo do srednje onesnaženih tleh večji privzem v nadzemne dele soje kakor v korenine, kar kažejo tudi naši rezultati. Ob tem tudi predlaga sojo kot fitoremediacijsko rastlino za Zn na malo do srednje onesnaženih tleh. Na območju Bukovžlaka soja največ privzema v korenine in zaporedje pada korenine > zrnje > stebela. O podobni razporeditvi poroča tudi Reddy (1989).

Zn je mobilni in rastlinam dokaj dostopen element. Na z Zn še posebej bogatih tleh povečini korenine vsebujejo več Zn kot nadzemni del (Kabata-Pendias in Pendias, 2001), kar kažejo tudi naši rezultati. O podobni razporeditvi poročata tudi Marchiol (2004) in Turan (2007). V Mežici se v rastlini kaže premeščanje Zn in zaporedje pada korenine > stebela > semena (priloga 2), kar je značilno za močno onesnažena tla in kjer pri velikih vsebnostih rastlina izključuje Zn v semena. Medtem ko v Medlogu oljna ogrščica najbolj privzema Zn v semena in si zaporedje sledi semena > korenine > stebela (priloga 2). Razliko v zaporedju lahko pripišemo zmožnosti rastline, ki v senescenci odvečne vsebnosti Zn nalaga v liste, ki se jih rastlina nato z odpadanjem znebi. Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013) navajata enake ugotovitve.

4.2.4 Distribucija in vsebnost Ni v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Večja je vsebnost Ni v tleh, večja je vsebnost Ni v rastlinskih delih (korenine, stebila in semena/zrnje) soje in oljne ogrščice, kar potrjuje linerana regresija (priloga 3). Privzem Ni v rastlinske dele soje in oljne ogrščice je bil največji v Medlogu, kjer je tudi največ Ni v tleh v primerjavi z Bukovžlakom in Mežico (slika 18, priloga 1).

Privzem Ni v rastlinske dele pri soji na območju Medloga si pri sorti Es Dominator sledi v zaporedju, in sicer stebila > zrnje > korenine, medtem ko si pri Nayi sledi v zaporedju zrnje > korenine > stebila. Na območju Bukovžlaka se privzem Ni pri sortah Es Dominator, Es Mentor in Ema zmanjšuje v zaporedju zrnje > korenine > stebila, medtem ko se pri Nayi zmanjšuje v zaporedju korenine > zrnje > stebila (slika 18, priloga 2). Privzem povprečnih vsebnosti Ni v rastlinskih delih se pri oljni ogrščici na območju Medloga pri hibridu PR45 D01 zmanjšuje v zaporedju semena > korenine > stebila, pri hibridu PR46 W31 pa korenine > semena > stebila. Na območju Mežice se povprečne vsebnosti Ni zmanjšujejo v zaporedju korenine > semena > stebila pri obeh hibridih (slika 18, priloga 2).



Slika 18: Vsebnost Ni v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Ni je pomemben mikronutrient za višje rastline (Brown, 1987). Soja celokupno na območju Medloga 1,4 x bolje privzema Ni v rastlinske dele (korenine + stebila + semena/zrnje) kakor oljna ogrščica. Ne glede na vsebnost Ni v tleh je povprečna vsebnost Ni v rastlinskih delih enaka ali podobna, pri čemer je na območju Bukovžlaka sorta Es Dominator najbolje privzemala Ni, sledi Naya in Es Mentor ter Ema. Največje vsebnosti Ni so bile v zrnju tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku, razen na območju Medloga pri sorti Es Dominator (stebila > zrnje > korenine) in na območju Bukovžlaka pri sorti Naya (korenine > zrnje > stebila). Syam s sod. (2016) navaja, da soja tolerira visoke vsebnosti Ni v tleh, vendar pa je njena sposobnost akumulacije v rastlinskih delih majhna, zato je v lončnem poskusu poleg soje zraven posadil še akumulatorja *Melastoma* ali *Sarcotheca* in s tem dosegel povečano proizvodnjo biomase in akumulacijo Ni v sojo.

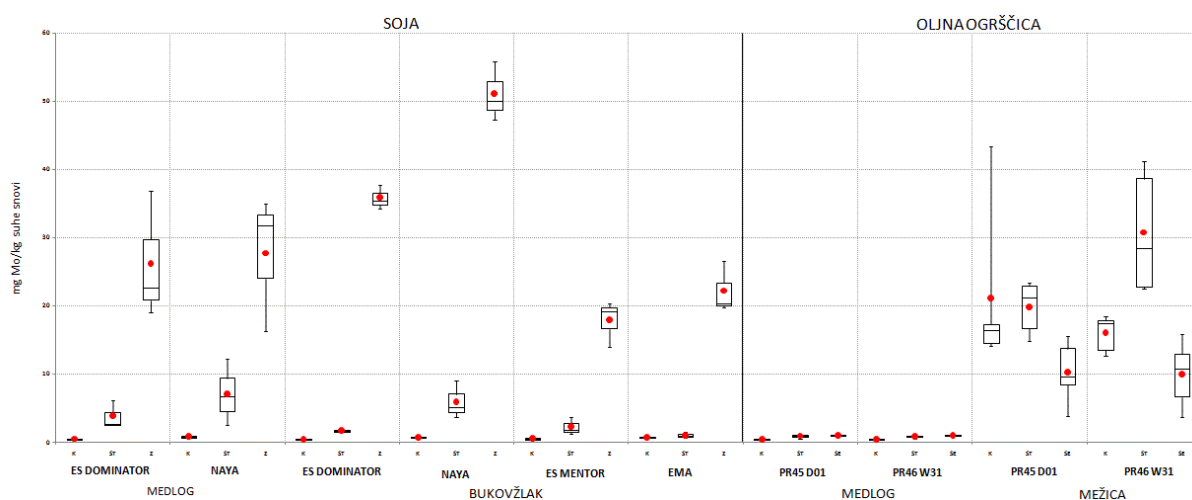
Pri oljni ogrščici so bile povprečne vsebnosti Ni največje v koreninah ne glede na obravnavano območje, razen na območju Medloga pri hibridu PR45 D01, kjer so bile največje vsebnosti Ni v semenih, kar lahko pripisujemo Ni zaradi njegove mobilnosti na onesnaženih območjih. Tla v Medlogu so bila za 1,4 x bolj onesnažena z Ni v primerjavi z Mežico. Primerjava podatkov z Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013) le-te ugotovitve potrjuje.

4.2.5 Distribucija in vsebnost Mo v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Večja je vsebnost Mo v tleh, večja je vsebnost Mo v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice, kar potrjuje linearna regresija (priloga 3). Prizvem v rastlinske dele soje in oljne ogrščice je največji v Bukovžlaku in Mežici (slika 19).

Povprečne vsebnosti Mo v rastlinskih delih se zmanjšujejo pri soji in oljni ogrščici na območju Medloga in Bukovžlaka v zaporedju semena/zrnje > stebila > korenine. Pri oljni ogrščici na območju Mežice se povprečne vsebnosti Mo zmanjšujejo pri hibridu PR45 D01 v zaporedju korenine > stebila > semena in pri hibridu PR46 W31 v zaporedju stebila > korenine > semena (slika 19, priloga 2).

Sorta soje Naya skupno (korenine + stebila + semena) bolje privzema Mo kot Es Dominator tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku (slika 19, priloga 1). V Medlogu soja skupno (korenine + stebila + semena) privzema več Mo kot oljna ogrščica (priloga 1).



Slika 19: Vsebnost Mo v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

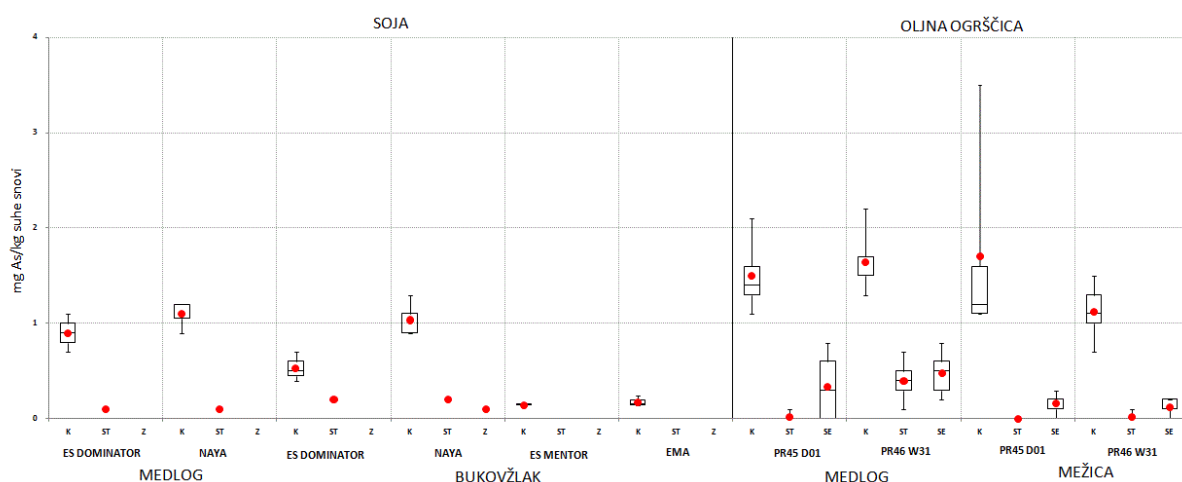
Mo je esencialni mikronutrient, zmerno mobilan in najbolj dosegljiv v alkalnih tleh (Kabata-Pendias in Pendias, 2011 in Alloway, 2013). Soja celokupno na območju Medloga za 14,3 x bolje privzema Mo v rastlinske dele kakor oljna ogrščica. Največje vsebnosti Mo so bile v zrnju ne glede na obravnavano območje. Pri vseh sortah pa so bile vsebnosti Mo v zrnju > 20 mg/kg, zato je pri soji ne glede na obravnavano območje potrebna previdnost pri uporabi za krmiljenje živali. O'Connor s sod. (2001) navaja, da lahko sojina zrna vsebujejo visoke vsebnosti Mo > 10 mg/kg. To potrjuje tudi naša raziskava s povprečno vsebnostjo 30,1 mg/kg Mo v zrnju. Ishizuka (1982) pa govori o vsebnostih Mo v zrnju od 0,1 do 30 mg/kg. V Bukovžlaku najbolje privzema Mo v nadzemne dele in celokupno (korenine + stebila + zrnje) gledano sorta Naya, sledijo pa ji Es Dominator, Ema in na koncu sledi še Es Mentor.

Vsebnosti Mo so največje v Mežici, kjer so tudi povečane vsebnosti ostalih kovin, kot so Cd, Pb, Zn in Tl. V Medlogu je bila največja povprečna vsebnost Mo pri hibridu PR45 D01 in v Mežici pri hibridu PR46 W31. Vsebnosti Mo v semenih so bile večje v primerjavi s koreninami tako na območju Medloga kakor tudi v Mežici, razen v Mežici pri hibridu PR45 D01 (največji privzem v stebila). Največje vsebnosti Mo v tleh so bile v Mežici in s tem tudi največji privzem Mo v nadzemne dele. Naši rezultati potrjujejo, da so vsebnosti Mo v rastlini odvisne od pH vrednosti in od vsebnosti Mo v tleh. Adriano (2001) navaja, da nekatere rastline privzemajo večje količine Mo (> 15 PPM), hkrati pa niso nujno toksične za rastline. Večje vsebnosti Mo v rastlinah (> 20 mg/kg) pa so lahko smrtne za živali.

4.2.6 Distribucija in vsebnost As v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Privzem As je največji v koreninah tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku in Mežici (slika 20), kar potrjuje linearna regresija (slika 20, priloga 3).

Privzem povprečne vsebnosti As v rastlinskih delih soje pada pri obeh sortah (Es Dominator in Naya) v zaporedju korenine > stebila > zrnje (priloga 2), medtem ko na območju Bukovžlaka sorti Es Mentor in Naya privzemata le v korenine. Vsebnosti As v stebilih in zrnjih so bile pod mejo detekcije (< 0,1). Privzem povprečne vsebnosti As v rastlinskih delih oljne ogrščice pada v zaporedju korenine > semena > stebila pri obeh obravnavanih hibridih. V Medlogu oljna ogrščica bolje privzema As v rastlinske dele kot soja (slika 20, priloga 1).



Slika 20: Vsebnost As v koreninah (K), stebilih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

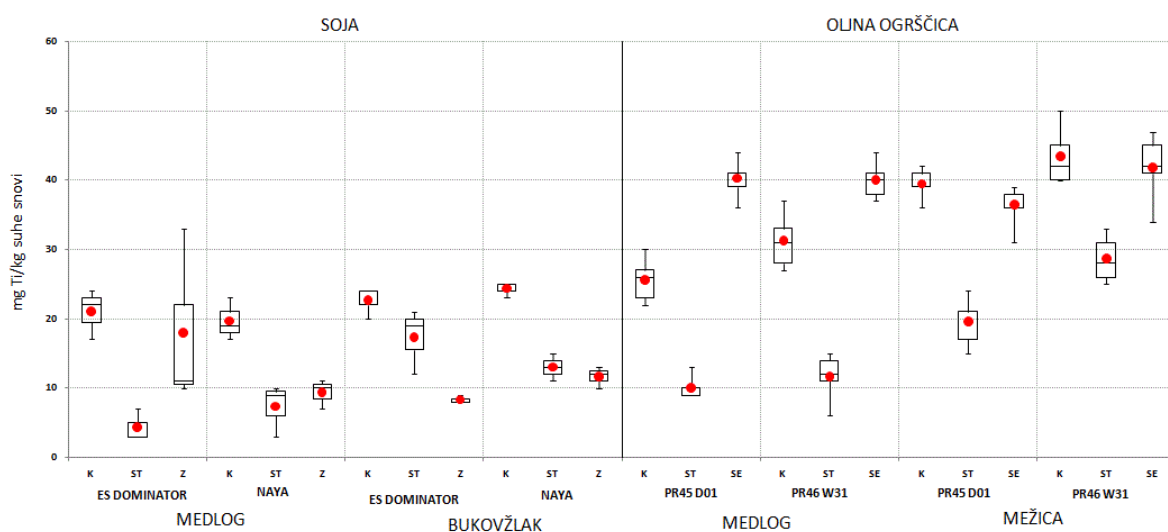
Največji privzem As je bil v koreninski sistem pri vseh sortah ne glede na obravnavano območje. Na tleh, ki so bolj obremenjena z As, ni bilo privzema v zrnje oz. je le-ta bil pod mejo detekcije (< 0,1). To lahko pripišemo obrambnemu mehanizmu rastline, ki izključuje prehajanje As v nadzemne dele in akumulira vsebnosti pretežno v koreninah. To potrjuje tudi raziskava Bustingorrija s sod. (2015).

Največje vsebnosti As v tleh so bile na območju Medloga, kjer je bila presežena opozorilna imisijska vsebnost As v tleh. Literatura navaja, da je največja vsebnost As v koreninah ne glede na onesnaženost tal (Liu s sod., 2012), kar kažejo tudi naši rezultati (privzem As pada v zaporedju korenine > semena > stebila). Največja vsebnost As je v koreninah na območju Medloga pri hibridu PR46 W31. Rezultati kažejo, da večje, kot so vsebnosti As v tleh, večja je tudi vsebnost As v nadzemnih delih (stebila + semena) oljne ogrščice, in sicer za 2,2 x večje vsebnosti v semenih na tleh, ki so 1,7 x bolj obremenjena z As.

4.2.7 Distribucija in vsebnost Ti v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Več kot je Ti v tleh, večji je privzem Ti v rastlinske dele soje in oljne ogrščice, kar potrjuje linearna regresija (priloga 3). Največje vsebnosti Ti so tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku in Mežici pri soji in oljni ogrščici v koreninah, razen pri oljni ogrščici v Medlogu pri obeh hibridih, kjer so največje vsebnosti Ti v semenih (slika 21, priloga 1).

Privzem povprečnih vsebnosti Ti v rastlinskih delih soje na območju Medloga pada v zaporedju korenine > zrnje > stebila, na območju Bukovžlaka pa v zaporedju korenine > stebila > zrnje (priloga 2). Privzem povprečnih vsebnosti Ti v rastlinskih delih oljne ogrščice na območju Medloga pada v zaporedju semena > korenine > stebila, na območju Mežice pa v zaporedju korenine > semena > stebila (priloga 2). Oljna ogrščica celokupno (slika 21, priloga 1) privzema več Ti v nadzemne dele (stebila + semena) kot soja (priloga 1).



Slika 21: Vsebnost Ti v koreninah (K), stebilih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

V Medlogu je celokupen privzem (korenine + nadzemni del) 2 x večji v oljno ogrščico v primerjavi s sojo. Glede na literaturo (Kabata-Pendias, 2001) je privzem Ti največji v koreninah vseh obravnavanih sort soje ne glede na obravnavano območje.

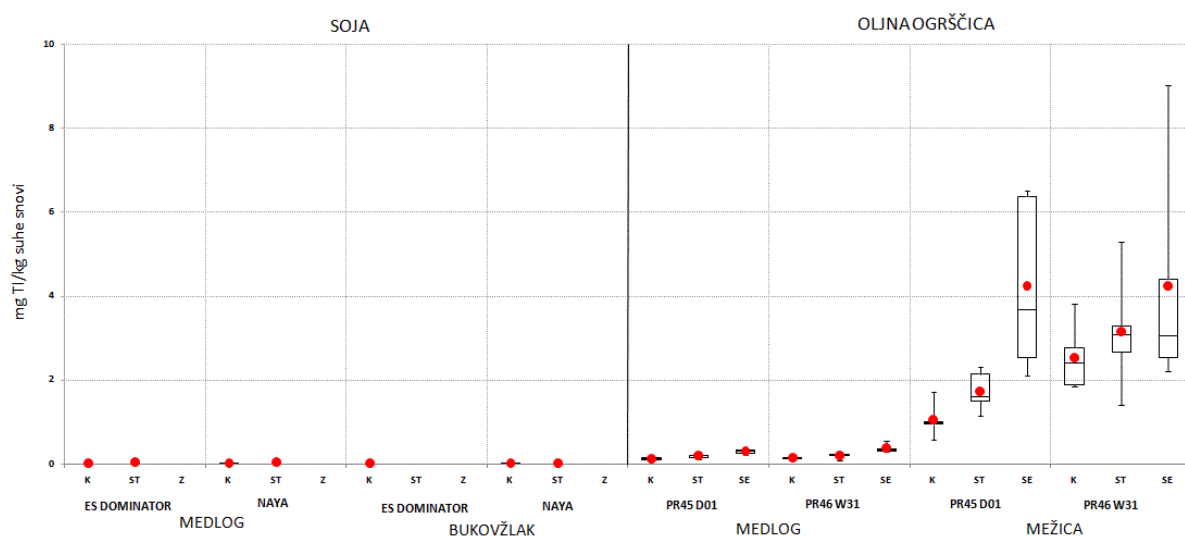
Ti je nedosegljiv rastlinam in ni mobilni (Kabata-Pendias in Pendias, 2011). Tudi Wallace (1977) navaja, da se Ti akumulira v koreninah. Naša raziskava kaže, da je največji privzem Ti v koreninah na območju Mežice, v Medlogu pa je največji privzem v semena pri obeh hibridih. Tako v Medlogu kakor tudi v Mežici bolje privzema hibrid PR46 W31. Ti še zdaleč ni sprejet kot esencialni element, vendar obstajajo poročila o njegovih pozitivnih učinkih na pridelek (Kabata-Pendias, 2001). Bacilieri s sod. (2017) navaja naslednje pozitivne učinke: Ti izboljša prehranski status rastlin, spodbuja encimsko aktivnost, pospešuje prejetanje hranil, sodeluje pri sintezi proteinov in klorofila. Medtem ko je Wallace (1977) poročal o toksičnih simptomih (kloroze in nekroze na listih) pri prevelikih vsebnostih Ti v rastlinah, in sicer navaja toksične vsebnosti Ti v steblih pri 48 mg/kg ter v koreninah pri 2.420 mg/kg.

4.2.8 Distribucija in vsebnost TI v rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Več kot je TI v tleh, večji je privzem v nadzemne dele (stebela + semena) oljne ogrščice, ki bolje privzema TI kakor soja (priloga 1, slika 22).

Privzem povprečnih vsebnosti TI v rastlinskih delih soje pada v zaporedju stebela > korenine > zrnje, medtem v Bukovžlaku (Es Dominator in Naya) korenine > stebela > zrnje (priloga 2). V letu 2016 v Bukovžlaku je bila vsebnost TI pri sortah Es Mentor in Ema pod mejo detekcije (<0,1). Privzem povprečnih vsebnosti TI v rastlinskih delih oljne ogrščice v Medlogu in Mežici pada v zaporedju semena > stebela > korenine.

Vsebnost TI v korenini je odvisna od vsebnosti TI v tleh, kar potrjuje linearna regresija (priloga 3).



Slika 22: Vsebnost TI v koreninah (K), steblih (ST) in semenih (SE)/zrnjih (Z) soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomaska naloga. Velenje, 2018.

Literatura navaja, da se največ TI akumulira v koreninah, v nadzemne dele pa ne prehaja (Kaplan s sod., 1990). Naša raziskava kaže, da soja na območju Bukovžlaka, večino TI akumulira v koreninah in izključuje prehajanje v nadzemne dele. Medtem ko v Medlogu obe sorti (Es Dominator in Naya) najbolje privzemata v stebela. Privzem TI v zrnje soje vseh obravnavanih sort na obeh obravnavanih območjih je bil pod mejo detekcije.

TI je neesencialen element, ki je toksičen za žive organizme (Alloway, 2011). Je lahko dosegljiv in mobilan v rastlinah, kar potrjuje tudi naša raziskava z največjim privzemom TI v semena. Kabata-Pendias in Pendias (2011) navajata, da lahko semena akumulirajo do 33 mg/kg TI. Da ima oljna ogrščica večji privzem v nadzemne dele, je pisal že Allus s sod. leta 1987, kasneje pa še Tremel s sod. (1997). Več kot je TI v tleh, večji je tudi privzem v rastlinske dele, in sicer je skupni povprečen privzem v Mežici večji za 12,5 x v primerjavi z Medlogom. To potrjuje tudi raziskava Pavličkove s sod. (2005). Tako v Medlogu kot tudi v Mežici hibrid PR46 W31 bolje privzema v korenine in nadzemni del. Ker je TI bolj strupen za rastline kot Cd in Ni, Sager (1998) odsvetuje rast oljne ogrščice na tleh, ki so bogata s TI.

Primerjava podatkov, ki smo jih pridobili tekom raziskave s spodnjo preglednico (preglednica 13) privzema kovin v nadzemne dele rastlin, kaže, da oljna ogrščica s hibridoma PR45 D01 in PR46 W31 in soja s sortami Es Dominator, Naya, Es Mentor in Ema privzemata Cd, Zn, Ni, As in Ti v normalnem območju, privzem Pb (oljna ogrščica privzema Pb v nadzemne dele od 1,25 do 17,39 mg/kg) in Mo (oljna ogrščica privzema Mo v nadzemne dele od 1,84 do 40,62 mg/kg, medtem ko soja privzema Mo od 20,07 do 56,98 mg/kg) pa sta nad privzemom normalnega območja.

Preglednica 5: Mejne vrednosti privzema kovin v mg/kg suhe snovi v nadzemne dele rastlin v normalnem območju, območju akumulatorjev in hiperakumulatorjev

	NORMALNO OBMOČJE	AKUMULATOR	HIPERAKUMULATOR
Cd	0,1 - 3	20	100
Pb	0,1 - 5	100	1000
Zn	20 - 400	2000	10 000
Ni	1 - 10	100	1000
Mo	0,8 - 5		
As			1000
Ti	0,15 - 80	460 - 580	
TI			500

Vir: Baker in Brooks (1989), Boyd (2007), Adriano (2001), Kabata – Pendias (2001), Lyu s sod. (2017) in Leblanc s sod. (1999)

4.3 TRANSLOKACIJA IN BIOAKUMULACIJA KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH SOJE IN OLJNE OGRŠČICE

Translokacijski faktor (TF) nam poda oceno sposobnosti transporta tarčnega elementa in je eden od pokazateljev za potencialno uporabo rastlinske vrste za fitoremediacijo, če je $TF > 1$. BAF odraža razmerje med vsebnostjo kovin v rastlini in celokupno vsebnostjo kovin v tleh, pri čemer nam oceni mobilnost kovine v sistemu tla – rastlina. Vrednosti BAF so odvisne od onesnaženosti tal in tarčnega elementa ter je obratno sorazmeren z vsebnostjo kovin v tleh. Za vsako kovino in polkovino As smo izračunali translokacijski faktor (TF) in bioakumulacijski faktor (BAF) soje s sortama Naya in Es Dominator v letu 2015 ter Es Mentor in Ema v letu 2016 in oljne ogrščice s hibridoma PR45 D01 in PR46 W31. Za sorti Es Dominator in Naya je bila opravljena obdelava podatkov za elemente Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti, Tl in polkovino As, medtem ko so bili za sorti Es Mentor in Ema obdelani podatki za elemente Ni, Mo, Ti, Tl in polkovino As.

4.3.1 Translokacija in bioakumulacija Cd

$TF(Cd)_{\text{stebila/korenine}}$ je > 1 na vseh obravnavanih območjih, razen na območju Medloga pri vrsti soje Naya (0,82) in v Mežici pri obeh hibridih oljne ogrščice (0,58 in 0,80). $TF(Cd)_{\text{nad.del/korenine}}$ je > 1 pri soji in oljni ogrščici, razen na območju Mežice pri obeh hibridih oljne ogrščice (0,68 in 0,91). Največji $TF(Cd)_{\text{stebila/korenine}}$ in $TF(Cd)_{\text{nad.del/korenine}}$ je v Bukovžlaku pri sorti soje Naya (1,69 in 2,60) (preglednica 5).

Pri sorti soje Es Dominator v Medlogu je $BAF(Cd)$ 1,59. $BAF(Cd)$ je > 1 na območju Medloga pri oljni ogrščici za oba hibrida, in sicer je pri PR45 D01 1,07 in pri PR46 W31 je 1,16 (preglednica 5).

Preglednica 6: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Cd soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Cd (mg/kg s.s.)	SOJA				
	TF stebila/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
ES DOMINATOR	1,16	0,74	0,64	1,90	1,59
NAYA	0,82	0,35	0,43	1,16	0,76
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	1,43	0,70	0,49	2,13	0,33
NAYA	1,69	0,91	0,54	2,60	0,48
	OLJNA OGRŠČICA				
	TF stebila/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
PR45 D01	1,06	0,15	0,14	1,21	1,07
PR46 W31	1,17	0,17	0,15	1,35	1,16
MEŽICA					
PR45 D01	0,58	0,10	0,17	0,68	0,22
PR46 W31	0,80	0,11	0,14	0,91	0,19

Mihajlov (2016) navaja pri soji $TF(Cd) > 1$, kar kaže tudi naš poskus tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku, kjer je $TF(Cd)_{\text{stebila/korenine}}$ (razen na območju Medloga za sorto Naya) in $TF(Cd)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$. Pri tem še dodaja, da ima soja potencial za fitoekstrakcijo tal, ki so obremenjena s prekomernimi vsebnosti Cd. Izračun BAF(Cd) kaže večjo mobilnost na območju Medloga pri sorti Es Dominator (1,59). Zhou s sod. (2013) navaja podobne rezultate.

Pri oljni ogrščici literatura navaja $TF(Cd)_{\text{nad.del/korenine}} < 1$, in sicer med 0,3 in 0,6 (Grispen s sod., 2006 in Marchiol s sod., 2004). Naši rezultati tega ne potrjujejo, saj sta bila $TF(Cd)_{\text{stebila/korenine}}$ in $TF(Cd)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ na območju Medloga pri obeh hibridih, kar kaže, da je odstranljiv nadzemni del ključen in učinkovit za fitoremediacijo tal na malo onesnaženih tal s Cd. Na območju Mežice oba hibrida (PR45 D01 in PR46 W31) izključujeta prehajanje Cd v nadzemne dele in ga akumulirata v koreninah s pomočjo notranjih mehanizmov, ki zmanjšujejo škodljive vplive Cd (Baker, 1981). V Mežici je BAF(Cd) najmanjši, in sicer za 5,4 x v primerjavi z Medlogom. Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013) potrjujeta le-te ugotovitve.

4.3.2 Translokacija in bioakumulacija Pb

$TF(Pb)_{\text{stebila/korenine}}$ je > 1 v Medlogu pri hibridu PR46 W31, in sicer znaša 2,26. $TF(Pb)_{\text{semena/stebila}} > 1$ pri oljni ogrščici v Medlogu pri hibridu PR45 D01 (1,55) in v Mežici pri obeh hibridih. $TF(Pb)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ pri oljni ogrščici v Medlogu pri hibridu PR46 W31 (2,58).

$BAF(Pb) < 1$ tako pri soji kakor tudi pri oljni ogrščici na različno onesnaženih tleh (preglednica 6).

Preglednica 7: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Pb soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Pb (mg/kg s.s.)	SOJA				
	TF stebila/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
ES DOMINATOR	0,05	0,02	0,31	0,07	0,19
NAYA	0,03	0,00	0,00	0,03	0,19
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	0,21	0,00	0,01	0,22	0,06
NAYA	0,14	0,00	0,00	0,15	0,09
OLJNA OGRŠČICA					
	TF stebila/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
PR45 D01	0,14	0,22	1,55	0,36	0,12
PR46 W31	2,26	0,31	0,14	2,58	0,30
MEŽICA					
PR45 D01	0,03	0,03	1,08	0,06	0,09
PR46 W31	0,07	0,08	1,18	0,15	0,06

Aransiola (2013) navaja na onesnaženih tleh pri soji $TF(Pb) > 1$. Naši rezultati tega ne potrjujejo, saj je $TF(Pb) < 1$ tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku pri obeh sortah. BAF za Pb je obratno sorazmeren z vsebnostjo Pb v tleh pri obeh hibridih tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku. Zhou s sod. (2013) potrjuje naše ugotovitve.

Pb je raletivno nemobilni element in so njegove vsebnosti v nedzemnih delih majhne (Adriano, 2001). Literatura navaja $TF(Pb) < 1$ (Marchiol s sod., 2004 in Solhi s sod., 2005), vendar naša raziskava ne potrjuje tega, saj je ocenjen $TF(Pb)_{\text{stebila/korenine}}$ in $TF(Pb)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ pri hibridu PR46 W31 na območju Medloga. Prav tako je $TF(Pb)_{\text{semena/stebila}} > 1$ pri hibridu PR45 D01 v Medlogu in pri obeh hibridih v Mežici, kar kaže na to, da semena na onesnaženih tleh bolj privzemajo Pb v primerjavi s stebli. Izračunan BAF(Pb) je obratno sorazmeren z vsebnostjo Pb v tleh pri obeh hibridih tako na območju Medloga kakor tudi na območju Mežice. Primerjava podatkov z Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013) navaja enake ugotovitve.

4.3.3 Translokacija in bioakumulacija Zn

$TF(Zn)_{\text{zrnje/korenine}} > 1$ na območju Medloga pri soji za obe sorti (1,81 in 1,65) in $TF(Zn)_{\text{semena/korenine}} > 1$ pri oljni ogrščici za oba hibrida (1,28 in 1,38). $TF(Zn)_{\text{zrnje/stebila}} > 1$ pri soji na obeh območjih, in sicer v Medlogu za obe sorti (4,44 in 2,81) in v Bukovžlaku za obe sorti (1,98 in 2,22) ter $TF(Zn)_{\text{semena/stebila}} > 1$ pri oljni ogrščici na območju Medloga za oba hibrida (2,50 in 1,81). $TF(Zn)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ pri soji (Es Dominator in Naya) in oljni ogrščici (PR45 D01 in PR46 W31) na območju Medloga. Največji $TF(Zn)_{\text{zrnje/korenine}}$ in $TF(Zn)_{\text{zrnje/stebila}}$ je v Medlogu pri sorti soje Es Dominator (1,81 in 4,44) (preglednica 7).

$BAF(Zn) < 1$ pri soji in oljni ogrščici pri vseh obravnavanih območjih. Večje so vsebnosti Zn v tleh, manjši je BAF(Zn) soje in oljne ogrščice (preglednica 7).

Preglednica 8: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Zn soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Zn (mg/kg s.s.)	SOJA				
	TF stebila/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
ES DOMINATOR	0,41	1,81	4,44	2,22	0,79
NAYA	0,59	1,65	2,81	2,24	0,88
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	0,32	0,64	1,98	0,96	0,14
NAYA	0,23	0,52	2,22	0,76	0,17
	OLJNA OGRŠČICA				
	TF stebila/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
PR45 D01	0,51	1,28	2,50	1,80	0,75
PR46 W31	0,76	1,38	1,81	2,14	0,84
MEŽICA					
PR45 D01	0,33	0,19	0,58	0,52	0,17
PR46 W31	0,49	0,28	0,58	0,77	0,14

V Medlogu so vrednosti $TF(Zn)_{\text{semena/korenine}}$, $TF(Zn)_{\text{semena/stebla}}$ in $TF(Zn)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$, kar kaže, da sorti soje največ esencialnega Zn privzemata v svoje nadzemne dele. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Fellet s sod. (2007). $BAF(Zn) < 1$ in je obratno sorazmeren z vsebnostjo Zn v tleh pri obeh hibridih na obeh območjih.

Zn je esencialen element, ki je potreben za rast in razvoj semen (Kabata-Pendias, 2001), kar potrjuje največji $TF(Zn)_{\text{semena/stebla}}$ na vzorčnih območjih pri obeh hibridih. Solhi (2005) navaja vrednosti $TF(Zn) > 1$ ne glede na onesnaženost tal. Naši rezultatu kažejo $TF(Zn)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ na območju Medloga, medtem ko je v Mežici $TF(Zn)_{\text{nad.del/korenine}} < 1$, kjer oljna ogrščica večino Zn akumulira v koreninah in kjer izključuje toksične vsebnosti Zn v svoje nadzemne dele. Na območju Medloga, kjer so vsebnosti Zn v tleh pod mejno vrednostjo glede na slovensko zakonodajo, so vrednosti $TF(Zn)_{\text{semena/korenine}}$, $TF(Zn)_{\text{semena/stebla}}$ in $TF(Zn)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$, kar kaže, da hibrida največ esencialnega Zn privzemata v svoje nadzemne dele. Primerjava podatkov z Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013) kažeta enake izsledke. $BAF(Zn) < 1$ in je obratno sorazmeren z vsebnostjo Zn v tleh pri obeh hibridih na obeh območjih.

4.3.4 Translokacija in bioakumulacija Ni

$TF(Ni)_{\text{stebla/korenine}} > 1$ je bil samo v Medlogu za sorto soje ES Dominator (1,62). $TF(Ni)_{\text{semena/korenine}} > 1$ v Medlogu in Bukovžlaku za vse sorte soje, razen v Bukovžlaku pri sorti Naya (0,76), in v Medlogu za oljno ogrščico hibrida PR45 D01. $TF(Ni)_{\text{zrnje/stebla}} > 1$ pri soji za vse sorte, razen v Medlogu pri sorti soje ES Dominator (0,75). $TF(Ni)_{\text{semena/stebla}} > 1$ na vseh obravnavanih območjih pri oljni ogrščici za oba hibrida. $TF(Ni)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ pri soji na obeh obravnavanih območjih in pri vseh obravnavanih sortah in v Medlogu pri oljni ogrščici pri hibridu PR45 D01 (preglednica 8). $BAF(Ni) < 1$ pri soji in oljni ogrščici v Medlogu, Bukovžlaku ter Mežici. $BAF(Ni)$ je večji v Medlogu tako pri soji kakor tudi pri oljni ogrščici (preglednica 8).

Preglednica 9: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ni soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Ni (mg/kg s.s.)	SOJA				
	TF stebla/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebla	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
ES DOMINATOR	1,62	1,21	0,75	2,83	0,25
NAYA	0,19	1,56	8,09	1,76	0,20
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	0,30	1,21	4,04	1,51	0,19
NAYA	0,23	0,76	3,33	1,00	0,18
BUKOVŽLAK					
ES MENTOR	0,53	1,42	2,67	1,95	0,16
EMA	0,47	1,47	3,14	1,93	0,15
OLJNA OGRŠČICA					
	TF stebla/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebla	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
PR45 D01	0,28	1,09	3,97	1,37	0,17
PR46 W31	0,30	0,53	1,75	0,83	0,15
MEŽICA					
PR45 D01	0,19	0,22	1,16	0,42	0,12
PR46 W31	0,33	0,51	1,58	0,84	0,12

Ni je v prevelikih vsebnostih toksičen za organizme (Adriano, 2001) in literatura navaja, da je > 70 % Ni prisotnega v nadzemnih delih translokiranega do semen, kar potrjujejo tudi naši podatki, saj je $TF(Ni)_{zrnje/stebela} > 1$ pri vseh sortah (Es Dominator, Naya, Es Mentor in Ema) na obeh območjih (Medlog in Bukovžlak). Prav tako sta pri vseh sortah na obeh območjih $TF(Ni)_{zrnje/korenine}$ (razen na območju Bukovžlaka pri sorti Naya) in $TF(Ni)_{nad.del/korenine} > 1$, kar potrjuje, da je Ni naravno prisoten povsod v okolju (tudi v rastlinskih delih). BAF je majhen na obeh območjih pri vseh štirih sortah soje. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Syam s sod. (2016), ki potrjuje visoke vrednosti TF(Ni) (0,58 – 13,43), vendar pa so vsebnosti Ni majhne (v koreninah navaja vsebnosti Ni od 0,13 do 1,21 mg/kg, v steblih pa od 0,04 do 0,80 mg/kg), kar kaže, da je potrebno vrednosti TF oceniti v kombinaciji z BAF.

Ni je mobilni mikronutrient in zanj literatura navaja $TF(Ni) < 1$ (Marchiol s sod., 2004). Naši rezultati kažejo $TF(Ni)_{semena/stebela} > 1$ pri obeh hibridih na obeh izbranih območjih (Medlog in Mežica), na območju Medloga pri hibridu PR45 D01 pa sta tudi $TF(Ni)_{semena/korenine}$ in $TF(Ni)_{nad.del/korenine} > 1$. BAF je majhen ne glede na obravnavani območji pri obeh hibridih. Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013) potrjujeta le-te ugotovitve.

4.3.5 Translokacija in bioakumulacija Mo

Pri soji so pri vseh sortah (Es Dominator, Es Mentor, Ema in Naya) v Medlogu in Bukovžlaku vsi $TF(Mo) > 1$. Največji $TF(Mo)_{zrnje/korenine}$ in $TF(Mo)_{nad.del/korenine}$ ima sorta soje Es Dominator v Bukovžlaku. Pri oljni ogrščici so v Medlogu vsi $TF(Mo) > 1$. V Mežici je pri hibridu PR45 D01 $TF(Mo)_{nad.del/korenine} > 1$ (1,42), pri hibridu PR46 W31 sta $TF(Mo)_{stebela/korenine}$ in $TF(Mo)_{nad.del/korenine} > 1$ (1,92 in 2,55) (preglednica 9).

BAF(Mo) > 1 na vseh obravnavanih območjih tako pri soji kakor tudi pri oljni ogrščici. BAF(Mo) je največji v Medlogu pri sorti soje Naya (preglednica 9).

Preglednica 10: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Mo soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Mo (mg/kg s.s.)	SOJA				
	TF stebela/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebela	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
ES DOMINATOR	8,44	58,16	6,89	66,60	76,05
NAYA	8,99	35,01	3,90	44,00	89,15
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	4,39	94,18	21,43	98,58	51,14
NAYA	8,49	72,91	8,59	81,40	77,95
BUKOVŽLAK					
ES MENTOR	4,21	33,64	8,00	37,87	27,84
EMA	1,49	33,09	22,17	34,58	32,20
	OLJNA OGRŠČICA				
	TF stebela/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebela	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
PR45 D01	2,12	2,43	1,15	4,57	5,83
PR46 W31	1,91	2,27	1,19	4,18	5,70
MEŽICA					
PR45 D01	0,94	0,48	0,52	1,42	56,86
PR46 W31	1,92	0,62	0,32	2,55	62,88

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomski naloga. Velenje, 2018.

Vsi izračunani TF(Mo) in BAF > 1 na obeh območjih pri vseh štirih sortah soje (Es Dominator, Naya, Es Mentor in Ema), kar sovпада z literaturo o esencialnosti Mo in mobilnosti v rastlino (Adriano, 2001).

Mo je > 1, saj je esencialen mikronutrient (Kabata-Pendias in Pendias, 2011), kar potrjujejo tudi visoke vrednosti TF(Mo)_{nad.del/korenine}, ki so za oba hibrida > 1. Rezultate potrjujejo tudi raziskavi Ribarič Lasnik s sod. (2010) in Romih (2013). Prav tako je tudi BAF(Mo) > 1 pri obeh hibridih na obeh izbranih območjih (Medlog in Mežica).

4.3.6 Translokacija in bioakumulacija As

TF(As)_{semena/stebila} > 1 pri oljni ogrščici na obeh obravnavanih območjih Medloga in Mežice za oba hibrida (PR45 D01 in PR46 W31), razen hibrida PR45 D01 na območju Mežice, kjer so bile izmerjene vsebnosti pod mejo detekcije (<0,1). BAF(As) < 1 ne glede na onesnaženost tal (preglednica 10).

Preglednica 11: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) As soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

As (mg/kg s.s.)	SOJA				
	TF stebila/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
ES DOMINATOR	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03
NAYA	0,03	0,00	0,00	0,03	0,04
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	0,13	0,00	0,00	0,13	0,04
NAYA	0,07	0,10	0,43	0,10	0,08
BUKOVŽLAK					
ES MENTOR	0,00	0,00	-	0,00	0,01
EMA	0,00	0,00	-	0,00	0,01
	OLJNA OGRŠČICA				
	TF stebila/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
PR45 D01	0,01	0,23	17,00	0,23	0,06
PR46 W31	0,24	0,29	1,20	0,54	0,08
MEŽICA					
PR45 D01	0,00	0,09	-	0,09	0,11
PR46 W31	0,02	0,11	6,00	0,13	0,07

As je neesencialen element in ima pasiven privzem v rastline (Kabata-Pendias in Pendias, 2011). TF in BAF sta majhna ali enaka 0 na obeh območjih pri izbranih sortah, ne glede na onesnaženost tal.

Največji ocenjeni TF(As)_{semena/stebila} > 1 so pri izbranih hibridih na območju Medloga, kjer so bile presežene opozorilne imisjske vrednosti v tleh, kar kaže na večje privzemanje As v semena v primerjavi s stebli in je odvisno od vsebnosti As v tleh. BAF je majhen na obeh območjih pri izbranih hibridih, ne glede na onesnaženost tal.

4.3.7 Translokacija in bioakumulacija Ti

$TF(Ti)_{\text{semena/korenine}} > 1$ pri oljni ogrščici na območju Medloga za oba hibrida (PR45 D01 in PR46 W31). $TF(Ti)_{\text{(semena/zrnje)/stebila}} > 1$ na območju Medloga tako pri soji za obe sorti (Es Dominator in Naya) kakor tudi pri oljni ogrščici za oba hibrida (PR45 D01 in PR46 W31). $TF(Ti)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ pri soji na območju Medloga za sorto Es Dominator ter na območju Bukovžlaka za obe sorti (Es Dominator in Naya) in pri oljni ogrščici na območju Medloga za oba hibrida (PR45 D01 in PR46 W31)(preglednica 11).

$BAF(Ti) > 1$ pri soji na območju Medloga za sorto Es Dominator (1,08) ter na območju Bukovžlaka za obe sorti (1,21 in 1,23) in pri oljni ogrščici na območju Medloga za oba hibrida (1,90 in 2,07). Največji $BAF(Ti)$ je v Medlogu, in sicer pri oljni ogrščici (hibrid PR45 W31) (preglednica 11).

Preglednica 12: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ti soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

Ti (mg/kg s.s.)	SOJA				
	TF stebila/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
ES DOMINATOR	0,21	0,86	4,16	1,06	1,08
NAYA	0,37	0,47	1,27	0,85	0,91
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	0,76	0,37	0,48	1,13	1,21
NAYA	0,53	0,48	0,90	1,01	1,23
	OLJNA OGRŠČICA				
	TF stebila/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebila	TF nad. del/korenine	BAF
MEDLOG					
PR45 D01	0,39	1,57	4,02	1,96	1,90
PR46 W31	0,37	1,28	3,45	1,75	2,07
MEŽICA					
PR45 D01	0,50	0,92	1,86	1,42	0,40
PR46 W31	0,66	0,96	1,46	1,62	0,47

Soja je na območju Medloga Ti privzemala manj kot oljna ogrščica, kljub temu pa je na območju Medloga imel Es Dominator $TF(Ti)_{\text{zrnje/stebila}}$, $TF(Ti)_{\text{nad.del/korenine}}$ in $BAF > 1$, Naya pa $TF(Ti)_{\text{zrnje/stebila}} > 1$. Na območju Bukovžlaka sta imeli obe sorti (Es Dominator in Naya) $TF(Ti)_{\text{nad.del/korenine}}$ in $BAF > 1$.

Kljub temu da Kabata-Pendias (2001) navaja majhno dostopnost Ti v rastline, naši rezultati kažejo na območju Medloga pri obeh hibridih $TF(Ti)_{\text{semena/korenine}}$, $TF(Ti)_{\text{semena/stebila}}$, $TF(Ti)_{\text{nad.del/korenine}}$ in $BAF > 1$, kar priča o akumuliranju Ti v nadzemnih delih (najvišji privzem Ti je bil ravno v semena). Na območju Mežice je bil največji privzem v korenine, vendar sta bila $TF(Ti)_{\text{semena/stebila}}$ in $TF(Ti)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$, $BAF(Ti)$ pa < 1 (0,40 in 0,47).

4.3.8 Translokacija in bioakumulacija TI

Pri soji je $TF(TI)_{\text{stebela/korenine}}$ in $TF(TI)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$ na območju Medloga, in sicer za obe sorti (1,33 in 1,00). Pri oljni ogrščici so tako v Medlogu kakor tudi v Mežici vsi $TF(TI) > 1$. Največje $TF(TI)$ ima v Mežici hibrid oljne ogrščice PR45 D01 (preglednica 12).

$BAF(TI) > 1$ pri oljni ogrščici na območju Medloga in Mežice za oba hibrida (PR45 D01 in PR46 W31). Največji $BAF(TI)$ ima na območju Mežice hibrid oljne ogrščice PR46 W31, in sicer znaša 9,04 (preglednica 12).

Preglednica 13: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) TI soje in oljne ogrščice na različno onesnaženih tleh

TI (mg/kg s.s.)	SOJA				BAF
	TF stebela/korenine	TF zrnje/korenine	TF zrnje/stebela	TF nad. del/korenine	
MEDLOG					
ES DOMINATOR	1,33	0,00	0,00	1,33	0,20
NAYA	1,33	0,00	0,00	1,00	0,17
BUKOVŽLAK					
ES DOMINATOR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
NAYA	0,67	0,00	0,00	0,33	0,06
BUKOVŽLAK					
ES MENTOR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OLJNA OGRŠČICA				BAF
	TF stebela/korenine	TF semena/korenine	TF semena/stebela	TF nad. del/korenine	
MEDLOG					
PR45 D01	1,54	2,31	1,50	3,77	2,10
PR46 W31	1,33	2,53	1,90	3,87	2,43
MEŽICA					
PR45 D01	1,66	4,04	2,44	5,69	6,38
PR46 W31	1,26	1,67	1,35	2,91	9,04

Literatura navaja, da je TI bolj strupen kot Hg, Cd, Pb in Zn ter lahko ima potencialne škodljive učinke tako na rastline in živali kakor tudi na ljudi (John Peter s sod, 2005). TF in BAF sta majhna ali enaka 0 na obeh območjih pri izbranih sortah, ne glede na onesnaženost tal, razen na območju Medloga pri obeh sortah (Es Dominator in Naya), kjer sta $TF(TI)_{\text{stebela/korenine}}$ in $TF(TI)_{\text{nad.del/korenine}} > 1$.

Translokacija TI lahko prehaja v različne dele rastlin (LaCoste s sod., 2001), kar kažejo tudi naši rezultati, saj so vsi $TF(TI)$ in $BAF(TI) > 1$. Podobne TF za TI je v svoji raziskavi dobila tudi Renekma s sod. (2012). Soriano in Fereres (2003) pa sta v svoji raziskavi podala BAF z minimum in maksimumom (0,40 – 9,50), kar potrjuje tudi naša raziskava z maksimumom 9,04 mg/kg TI. Iz naših rezultatov lahko sklepamo, da sta hibrida PR45 D01 in PR46 W31 oljne ogrščice potencialno primerna za fitoremediacijo TI tako v Bukovžlaku kakor tudi v Mežici.

Glede na dobljene rezultate BAF pada pri oljni ogrščici na območju Medloga v zaporedju Mo > TI > Ti > Cd > Zn > Pb > Ni > As in v Mežici v zaporedju Mo > TI > Ti > Cd > Zn > Ni > As > Pb. Rezultati kažejo večjo mobilnost Mo, Ti, TI, Cd in Zn ter slabšo mobilnost Ni, Pb in As. Pri soji pada BAF v Medlogu v zaporedju: Mo > Cd ~ TI > Ti > Zn > Ni > Pb > As in v Bukovžlaku pada v zaporedju: Mo > Ti > Cd > Ni > Zn > Pb > As ~ TI. Rezultati kažejo večjo mobilnost Mo, Ti in Cd ter slabšo mobilnost Zn, Ni, Pb, TI in As.

TF in BAF sta uporabna faktorja za določevanje potenciala fitoremediacije in z oceno TF in BAF > 1 je rastlina primerna za fitoremediacijo tarčnega elementa. Naši rezultati kažejo, da je oljna ogrščica s hibridom PR46 W31 primerna za odstranjevanje Cd, Ti in TI na območju Medloga in TI v Mežici. V Medlogu bi sorta soje Es Dominator bila primerna za fitoremediacijo Cd in Ti, na območju Bukovžlaka bi sorta Naya najbolje privzemala Ti.

5. SKLEPI

Na podlagi rezultatov analiz in razprave v nadaljevanju podajamo naslednje sklepe, s katerimi smo že v uvodu postavljene hipoteze potrdili ali ovrgli. Hkrati bomo dodali sklepe, ki smo jih ugotovili med teoretičnim in eksperimentalnim delom diplomske naloge.

Vsebnosti kovin v rastlinah so odvisne od vsebnosti kovin v tleh in pH vrednosti, tako da lahko hipotezo v celoti potrdimo. Večje kot so vsebnosti Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl ter polkovine As v tleh, večja je vsebnost Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl ter polkovine As v rastlinskih delih oljne ogrščice in soje.

Oljna ogrščica in soja najbolj privzemata v korenine, zato lahko hipotezo potrdim. Pri Cd, Zn, Mo, Ti in Tl na območju Medloga prihaja do privzema v nadzemne dele oljne ogrščice. Privzem Cd, Ni in Mo je največji v nadzemnih delih (stebela + zrnje) soje na obeh obravnavanih območjih. V Medlogu soja bolje privzema v svoje nadzemne dele tudi Zn in Tl v primerjavi s koreninami.

V Medlogu oljna ogrščica bolje privzema Pb, As, Ti in Tl v nadzemne dele (stebela + semena) in celokupno (korenine + stebela + semena) v primerjavi s sojo. Soja bolje privzema Cd, Zn, Mo in Ni v primerjavi z oljno ogrščico, zato lahko hipotezo le delno potrdimo. Naši rezultati kažejo, da je oljna ogrščica s hibridom PR46 W31 potencialno primerna fitoremediacijska rastlina za odstranjevanje Cd (ugotovila že Romihova, 2013) in oba hibrida PR45 D01 in PR46 W31 za Ti na območju Medloga in Tl na obeh obravnavanih območjih. V Medlogu je sorta soje Es Dominator potencialno primerna za fitoremediacijo Cd, v Medlogu in v Bukovžlaku sta sorti Es Dominator in Naya potencialno primerni za fitoremediacijo Ti.

Kljub drugačnim navedbam literature so bile povečane vsebnosti Ti v nadzemnih delih oljne ogrščice in soje v primerjavi s privzemom v korenine ter s tem tudi TF(Ti) in BAF(Ti) > 1 na območju Medloga, kar kaže na premeščanje Ti v semena oz. zrnje rastlin. Oljna ogrščica privzema 2 x več Ti v nadzemne dele (stebela + semena) kot soja. Oljna ogrščica privzema 2 x več Ti v nadzemne dele (stebela + semena) kot soja. Na tleh, kjer je vsebnosti Tl 3 x večja, je vsebnost Tl v nadzemnem delu (stebela + semena) oljne ogrščice za 12 x večja.

Privzem Tl je največji v semenih oljne ogrščice na obeh obravnavanih območjih. Na tleh, kjer je vsebnosti Tl 3 x večja, je vsebnost Tl v nadzemnem delu (stebela + semena) oljne ogrščice za 12 x večja. Čeprav je naše splošno znanje o okoljski biogeokemiji Tl omejeno, naša raziskava kaže TF(Tl) in BAF(Tl) > 1, in tako je oljna ogrščica potencialna fitoremediacijska rastlina za Tl na območjih Medloga in Mežice.

6. POVZETEK

Vedno bolj se zavedamo nevarnosti onesnaževanja okolja s kovinami, saj ne le da se akumulirajo v tleh in povzročajo degradacije tal, ampak se preko rastlin vključujejo v prehranjevalno verigo, kjer se njihove vsebnosti povečujejo in lahko postanejo potencialno toksične za zdravje ljudi in živali. Zaradi tega iščemo načine, s katerimi bi zmanjšali onesnaženost tal s kovinami. Eden izmed ukrepov je uporaba rastlin za odstranjevanje kovin iz okolja.

V nalogi smo uporabili deskriptivno, primerjalno in statistično metodo. V eksperimentalnem delu smo primerjali privzem kovin v rastlinske dele (korenine, stebila in semena/zrnje) soje (*Glycine max* (L.) Merrill) s sortami Es Dominator, Naya, Es Mentor in Ema ter oljne ogrščice (*Brassica napus* L. var. *napus*) s hibridoma PR45 D01 in PR46 W31 na različno onesnaženih tleh (Medlog, Bukovžlak in Mežica). Obdelava podatkov je obsegala naslednje elemente: kadmij (Cd), svinec (Pb), cink (Zn), nikelj (Ni), molibden (Mo), arzen (As), titan (Ti) in talij (Tl).

Rezultati multielementne analize tal kažejo, da so tla glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih v tleh (Ur. l. RS 68/96) v Medlogu prekoračene mejne vrednosti za Cd in opozorilne vrednosti za As, v Bukovžlaku so bile prekoračene opozorilne vrednosti za Cd in Pb ter kritične vrednosti za Zn, v Mežici pa so bile prekoračene kritične vrednosti za Cd, Pb in Zn. Glede na onesnaženost tal s As območja padajo v zaporedju: Medlog > Mežica > Bukovžlak. Na nobenem izmed območij (Medlog, Bukovžlak in Mežica) tla niso obremenjena s Ti glede na priporočila Bowena (1966). Vsebnosti kovin v rastlinah so odvisne predvsem od vsebnosti kovin v tleh in od pH vrednosti tal. Večje kot so vsebnosti Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl ter polkovine As v tleh, večja je vsebnost Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl ter polkovine As v rastlinskih delih oljne ogrščice in soje. Na obravnavanih območjih so znašale vrednosti pH med 6,38 in 7,28. Sorte soje (Es Dominator, Naya, Es Mentor in Ema) in hibrida oljne ogrščice (PR45 D01 in PR46 W31) privzemajo kovine in As tako v korenine kakor tudi nadzemne dele. Privzem Cd, Ni in Mo v soji je največji v nadzemnih delih tako v Medlogu kakor tudi v Bukovžlaku, medtem ko na območju Medloga soja v svoje nadzemne dele privzema tudi Zn in Tl. Oljna ogrščica privzema v nadzemne dele Cd, Zn, Mo, in Ti na območju Medloga. Tl privzema oljna ogrščica v nadzemne dele na obeh obravnavanih območjih (Medlog in Mežica). Es Dominator bolje privzema v nadzemne dele (stebila + zrnje) naslednje kovine: Cd, Pb, Ni, Ti in Tl na območju Medloga, medtem ko v Bukovžlaku Naya bolje privzema v nadzemne dele (stebila + zrnje) in celokupno (korenine + stebila + zrnje) Cd, Pb, Zn, Mo in Tl. Hibrid PR46 W31 oljne ogrščice bolje privzema kovine (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti in Tl) in As v primerjavi s hibridom PR45 D01. Oljna ogrščica privzema 2 x več Ti v nadzemne dele (stebila + semena) kot soja. Privzem Tl je največji v semenih oljne ogrščice na obeh obravnavanih območjih. Za vsako kovino smo izračunali translokacijski faktor (TF), to je razmerje med rastlinskimi deli, in bioakumulacijski faktor (BAF), to je razmerje med vsebnostjo elementa v rastlini in med vsebnostjo elementa v tleh. Naši rezultati kažejo ($TF > BAF > 1$), da je oljna ogrščica s hibridom PR46 W31 potencialno primerna fitoremediacijska rastlina za odstranjevanje Cd, Ti in Tl na obeh obravnavanih območjih in Tl na območju Mežice. Na območju Medloga bi sorta soje Es Dominator bila primerna za fitoremediacijo Cd in Ti, na območju Bukovžlaka bi soja bila potencialno primerna fitoremediacijska rastlina za Ti. Mo je esencialen mikronutrient, ki je v rastlini mobilan, kar potrjujejo tudi naši rezultati, ki kažejo, da je $TF(Mo) > BAF(Mo) > 1$. Vrednosti $TF_{nad.del/korenine}(Mo)$ znašajo v Medlogu in Bukovžlaku med 34,58 in 98,58, vrednosti $BAF(Mo)$ pa med 27,84 in 89,15. Vrednosti BAF za Cd, Pb, Zn in Ti so obratno sorazmerne z vsebnostjo Cd, Pb, Zn in Ti v tleh.

7. SUMMARY

We are increasingly aware of the dangers of environmental pollution with metals, as they not only accumulate in the ground and cause soil degradation but are integrated through the plants into the food chain where their content increases and can become potentially toxic to health of humans and animals. Therefore, we are looking for ways to reduce soil contamination with metals. One of the measures is the use of plants for the removal of metals from the environment.

This dissertation implements a descriptive, comparative and statistical method. The experimental part compares the uptake of metals into the parts of a plant (roots, stems and seeds/grains) of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) with species Es Dominator, Naya, Es Mentor and Ema and oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*) with hybrids PR45 D01 and PR46 W31 in different contaminated soils (Medlog, Bukovžlak and Mežica). The data processing included the following elements: cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), nickel (Ni), molybdenum (Mo), arsenic (As), titanium (Ti) and thallium (Tl).

In accordance with the decree on the limit values, alert thresholds and critical levels of dangerous substances into the soil (Official Gazette of the RS, No. 68/96) the results of the multi-elemental soil analysis show the limit values for Cd and the alert values for As were exceeded in Medlog. In Bukovžlak the alert values for the Cd and Pb and the critical values for Zn were exceeded. The critical values for Cd, Pb and Zn were exceeded in the Mežica region. According to soil contamination with As, areas fall in the following sequence: Medlog > Mežica > Bukovžlak. In each of the areas (Medlog, Bukovžlak and Mežica) the soil is not contaminated with Ti due to the recommendations of Bowen (1966). The content of metals in plants mainly depends on the content of metals in the soil and on the pH value of the soil. Higher the contents of Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti, Tl, and metalloid As in the soil, higher is the content of Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti, Tl, and metalloid As in the plant parts of oilseed rape and soybeans. In the researched areas, the pH values were between 6.38 and 7.28. The soybean species (Es Dominator, Naya, Es Mentor and Ema) and oilseed rape hybrids (PR45 D01 and PR46 W31) absorb metals and metalloid As in the roots and in the above-ground parts. The uptake of Cd, Ni and Mo in soybean is the largest in the above-ground parts in Medlog and in Bukovžlak, while in the Medlog region the soybean also uptakes Zn and Tl into above-ground parts. The oilseed rape uptakes the Cd, Zn, Mo, and Ti in the above-ground parts in the Medlog region. The oilseed rape uptakes Tl into the above-ground parts in the researched areas (Medlog and Mežica). Es Dominator uptakes into the above-ground parts (stems + grains) the following metals better than others: Cd, Pb, Ni, Ti and Tl in Medlog, while in Bukovžlak Naya uptakes into the above-ground parts (stems + grains) and whole plant (roots + stems + grains) the following metals better than others: Cd, Pb, Zn, Mo and Tl. The hybrid PR46 W31 of oilseed rape uptakes the metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Ti and Tl) and metalloid As better than compared to the hybrid PR45 D01. The oilseed rape uptakes twice more Ti into the above ground parts (stems + seeds) than soybean. The Tl uptake is the highest in oilseed rape in researched areas. The translocation factor (TF), i.e. the ratio of parts of a plant, and the bioaccumulation factor (BAF), i.e. the ratio between the content of the element in the plant and the content of the element in the soil was calculated for each metal.

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomaska naloga. Velenje, 2018.

The results show (TF and BAF > 1) that the PR46 W31 oilseed rape is a potentially suitable phytoremediation plant for the removal of Cd, Ti and Tl in both researched areas and Tl in the Mežica region. In the Medlog region, the species Es Dominator of the soybean would be suitable for phytoremediation of Cd and Ti and in the Bukovžlak, soybean would be potentially suitable phytoremediation plant for Ti. Mo is an essential micronutrient, which is mobile in the plant. This is also confirmed by the results showing that TF (Mo) and BAF (Mo) > 1. The values of TF_{above-ground parts/roots} (Mo) appear in Medlog and Bukovžlak between 34.58 and 98.58, while BAF (Mo) values were between 27.84 and 89.15. The BAF values for Cd, Pb, Zn and Ti are inversely proportional to the content of Cd, Pb, Zn and Ti in the soil.

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomatska naloga. Velenje, 2018.

8. VIRI IN LITERATURA

Adriano, D.C. (2001). *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals*. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, Springer-Vlag.

Alloway, J.B. (2013). *Heavy Metals in Soils*, 2nd ed. London, Blackie Academic and Professional.

Al-Shehbaz, A., Beilstein, M.A. in Hellogg, E.A. (2006). Systematic and phylogeny of the *Brassicaceae* (Cruciferae): an overview. *Plant Systematics and Evolution*, vol. 259, no. 2-4, str. 89-120.

Allus, M.A., Martin, M.H. in Nickless, G. (1987). Comparative toxicity of thallium to two plant species. *Chemosphere*, vol. 16, št. 4, str. 929-932.

Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V. in Ivanov, K. (2004). Bioaccumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, vol. 19, no. 3, str. 197-205.

Aransiola, S.A., Ijah, U.J.J. in Abioye, O.P. (2013). Phytoremediation of Lead Polluted Soil by *Glycine max* L. *Aplied and Environmental Soil Science*.

Arao, T., Ae, N., Sugiyama, M. in Takahashi, M. (2003). Genotypic differences in cadmium uptake and distribution in soybeans. *Plant and Soil*, vol. 251, str. 247-253.

Bacilieri, F.S., Pereira de Vascincelos, A.C., Lana, R.M.Q., Mageste, J.G. in Torres, J.L.R. (2007). Titanium (Ti) in plant nutrition – A review. *Australian Journal of Crop Science*, let. 11, str. 382-386.

Baker, A.J.M. (1981). Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. Vol.3, no. 1-4, str. 643-654.

Baker, A.J.M. in Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements -Review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, vol. 1, str. 81-126.

Barceló, J., Poschenrieder, C. (1990): Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review, *Journal of Plant Nutrition*, 13:1, 1-37

Boyd, S.R. (2007). The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, chalanges and new directions. *Plant and soil*, let. 27. št. 1-2, str. 153-176.

Bowen, H.J.M. (1966). *Trace Elements in Biochemistry*. London, Academic Press.

Brown, P.H., Welch, R.M. in Cary Earle, E. (1987). Nickel: A Micronutrient Essential for Higher Plants. *Plant Physiology*, vol. 85, no. 3, str. 801-803.

Bustingorri, C., Balestrasse, K. in Lavado, R.S. (2015). Effects of high arsenic and fluoride soil concentrations on soybean plants. *International journal of experimental botany*, let. 84, št. 2., str. 407-416.

Cinkarna Celje. (2017). Revidirano letno poročilo 2016.

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomaska naloga. Velenje, 2018.

Čeh, B., Čeh, K. (2009). *Oljnice: pridelava, kakovost olja ter možnost uporabe za biomaziva in biodizel*. Žalec, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije.

Černe, K. (2009). *Toksikologija (težkih) kovin*. Medicinski razgledi, let. 48, št. ½.

Dart, R.C. (2004). *Medical toxicology*. 3rd edition. Philadelphia : Lippincott, Williams & Wilkins.

FAO/STAT. Food and agriculture organization of the United Nations. Medmrežje 1: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. (9. 1. 2017).

Fellet, G., Marchiol, L., Perosa, D. in Zerbi, G. (2007). The application of phytoremediation technology in a soil contaminated by pyrite cinders. *Ecological Engineering*, let. 31, str. 207-214.

Grabner, B., Ribarič-Lasnik, C., Romih, N., Sirše, T. (2010). *Možnosti remediacije zemljišč onesnaženih a težkimi kovinami z rastlinami za energetske namene: raziskovalno poročilo*. Celje, Inštitut za okolje in prostor.

Grilc, V. (2013). Priprava onesnaženega zemljišča Stare Cinkarne v Celju na sanacijo. *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji – Celjska kotlina kot modelni pristop za degradirana območja*. Celje: IOP, str.

Gosar, M., Šajn, R. (2005). *Arsenic in the environment: enrichments in the Slovenian soils*. Geološki zavod, let. 48, št. 2.

Grispen, M.J. Veerle, Nelissen, J.M. Hans, Verkleij, A.C. Jos. (2006). Phytoextraction with *Brassica napus* L: A tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils. *Environmental Pollution*, vol. 144, no. 1, str. 77-83.

Ivanciuc, T., Ivanciuc, O., Klein, D.J. (2006). Modeling the bioconcentration factors and bioaccumulation factors of polychlorinated biphenyls with posetic quantitative super-structure/activity relationships (QSSAR). *Molecular Diversity*, vol. 10.

Ishizuka, J. (1982) Characteristics of molybdenum absorption and translocation in soybean plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, let. 28, št. 1, str. 63-77.

Jamnik, B., Smrekar A. in Vrščaj, B. (2009). *Vrtičkarstvo v Ljubljani*. Ljubljana: Založba ZRC.

Jamšek, M., Šarc, L. (2009). Diagnostika in zdravljenje zastrupitev s kovinami. Medicinski razgledi, let. 48, št. ½.

John Peter, A.L. in Viraraghavan, T. (2005). Thallium: a review of public health and environmental concerns. *Environment International*, let. 31, str. 493-501.

Kabata-Pendias, A. in Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*. 3rd edition. Florida: Boca Raton. CRC Press LLC.

Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements in soils and plants*. 4th edition. Florida: Boca Raton. CRC Press LLC.

Kaplan, D.I., Adriano, D.C. in Sajwan, K.S. (1990). Thallium Toxicity in Bean. *Journal of Environmental Quality*, let. 19, št. 3, str. 359-365.

Kocjan Ačko, D. (1999). Pozabljene poljščine. Ljubljana, Kmečki glas.

Kocjan Ačko, D. (2015). Poljščine: pridelava in uporaba. Ljubljana, Kmečki glas.

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomatska naloga. Velenje, 2018.

Košak, U., Obreza, A. (2012). Nikelj kot pomemben element v sledovih?. *Farmaceutski vestnik, letnik 63, številka 5/6, str. 297-304.*

LaCoste, C., Robinson, B. in Brooks, R. (2001). Uptake of thallium by vegetables: its significance for human health, phytoremediation and phytomining. *Journal of Plant Nutrition*, let. 24, str. 1205-1215.

Leblanc, M., Petit D., Deram A., Robinson B. and Brooks R.R. (1999). *The hytomining and environmental significance of hyperaccumulation of thallium by Iberis intermedia from Southern France*. *Econ. Geol.*, 94: 109-113.

Likar, M. (1998). *Vodnik po onesnaževalcih okolja*. Ljubljana, Zbornica sanitarnih tehnikov in inženirjev Slovenije.

Liu, Q.J., Zheng, C.M., Hu, C.X., Tan, Q.L., Sun, X.C. in Su, J.J. (2012). Effects of high concentrations of soil arsenic on the growth of winter wheat (*Triticum aestivum* L) and rape (*Brassica napus*). *Plant, Soil and Environment*, let. 58, str. 22-27.

Lobnik, F., Zupan, M. in Grčman H. (2010). Onesnaženost tal in rastlin v Celjski kotlini. *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavniki razvoja v Sloveniji – modelni pristop za degradirana območja: zbornik prve konference*. Celje: IOP, str. 14-22.

Lyu, S., Wei, X., Chen, J., Wang, C., Wang, X. in Pan, D. (2017). Titanium as a Beneficial Element for Crop Production. *Frontiers in Plant Science*, let. 8.

Macnair M.R. (2003). *The hyperaccumulation of metals by plants*. *Advances in Botanical Research* 40: 63-105

Mailänder, R.A. in Hämmann, M. (2005). *Handbuch –Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden – Gefährdungsabschätzung Boden*. Bern, Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

Marchiol, L., Assolari, S. in Zerbi, G. (2004). Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental pollution*, vol. 132, no. 1, str. 21-37.

Majer, D., Kugonič, N. in Pokorny, B. (2015). *Navodila za kmetovanje v degradiranem okolju – Zgornja Mežiška dolina*. Ljubljana: Kmetijsko gospodarska zbornica Slovenije.

Mihajlov, L., Paneva, V.Z. in Balabanova, B. (2016). Soybean phytoremediation of cadmium polluted agricultural soil. *Journal of Agriculture and Plant Sciences*, let. 13, št. 1, str. 49-59.

Murakami, M. Ae, N. in Ishikawa, S. (2007). Phytoextraction of cadmium by rice (*Oryza sativa* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), and maize (*Zea mays* L.). *Environmental Pollution*, vol. 145, str. 96-103.

Obreza, A. (2008). Molibden kot pomemben element v sledovih. *Farmaceutski vestnik, letnik 59, številka 1, str. 16-20.*

O'Connor, G.A., Granato, T.C. in Basta, N.T. (2001). Bioavailability of Biosolids Molybdenum to Soybean Grain. *Journal of Environmental Quality*, let. 30, št. 5, str. 1653-1658.

Pavlickova, J., Zbiral, J. Smatonova, M., Houserova, P., Cizmarova, E., Havlikova, S. in Kuban, V. (2005). Uptake of Thallium from Artificially and Naturally Contaminated Soils into Rape (*Brassica napus* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, let. 53, str.2867-2871.

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomaska naloga. Velenje, 2018.

Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P. in Pinelli E. (2011). Lead Uptake, Toxicity, and Detoxication in Plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Springer Verlag, vol. 213, str. 113-136.

Reddy, M.R., Lameck, D. in Rezanja, M.E. Uptake and distribution of copper and zinc by soybean and corn from soil treated with sewage sludge. *Plant Soil*, vol. 113, str. 271-274.

Renekema, H., Kikkert, J., Hale, B. in Berkelaar, E. (2012). The effect of transpiration on thallium uptake and mobility in durum wheat and spring canola. *Plant Soil*, vol. 354, str. 229-238.

Ribarič-Lasnik, C., Romih, N., Grabner, B. in Sirše, T. (2010). *Možnosti remediacije zemljišč onesnaženih s težkimi kovinami z rastlinami za energetske namene*. Celje: Inštitut za okolje in prostor.

Romih, N. (2013). *Vpliv povečane koncentracije kovin v rastlinah na njihovo snovno in energijsko izrabo*: doktorska disertacija. Maribor.

Ross, M.S. (1994). *Toxic metals in soil-plant systems*. Chichester, New York: John Wiley and Sons.

Sager, M. (1998). *In Thallium in the Environment*. Wiley, New York.

Solhi, M., Shareatmadari, H. in Hajabbasi, A.M. (2005). Lead and Zinc Extraction Potential of Two Common Crop Plants, *Helianthus Annuus* and *Brassica Napus*. *Water, Air and Soil Pollution*, let. 167, št. 1-4, str. 59-71.

Soriano, M.A. in Fereres, El. (2003). Use of crops for *in situ* phytoremediation of polluted soils following a toxic flood from a mine spill. *Plant and Soil*, let. 256, str. 253-264.

Stritar A., (1991). *Pedologija: Kompendij*. Ljubljana: samozaložba.

Syam, N., Wardiyati, T., Maghfoer, M.D., Handayanto, E., Ibrahim, B. in Muchdar, A. (2016). Effect of Accumulator Plants on Growth and Nickel Accumulation of Soybean on Metal-Contaminated Soil. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 9, str. 13-19.

Šajn, R. in Žibert, G. (2008). Impacts of the mining and smelting activities to the environment – Slovenian case studies. *Causes and effects of heavy metal pollution*. New York: Nova science Publishers, str. 1-80.

Švab, J. (2010). Sanacija zgornje Mežiške doline – A rehabilitation of upper Mežica valley. *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji – modelni pristop za degradirana območja: zbornik prve konference*. Celje: IOP, str. 170-176.

Tauris, B., Soren, B., Gregersen, P.L. in Holm, P.B. (2009). A roadmap for zinc trafficking in the developing barley grain based on laser capture microdissection and gene expression profiling. *Journal of Experimental Botany*, vol. 60, no. 4, str. 1333-1347.

Tremel, A., Masson, P., Garraud, H., Donard, O.F.X., Baize, D. in Mench, M. (1997). Thallium in French agrosystems – II. concentration of thallium in field-grown rape and some other plant species. *Environmental Pollution*, let. 97, št. 1-2, str. 161-168.

Turan, M. in Esringu, A. (2007). Phytoremediation based on canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb, and Zn. *Plant, soil and environment*, vol. 53, str. 7-15.

Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih v tleh (Ur. l. RS 68/96)

Bobik, K.: Privzem kovin v sojo (*Glycine max* (L.) Merrill) in oljno ogrščico (*Brassica napus* L. var. *napus*). Diplomaska naloga. Velenje, 2018.

Uredba o izvajanju uredb Sveta in Komisije (ES) o onesnaževalih v živilih (Ur. l. RS št. 27/07, 38/10 in 57/11)

Vrbič Kugonič, N. (2009). *Privzem kovin pri izbranih rastlinskih vrstah na območjih obremenjenih z energetske in topilniško dejavnostjo*. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

Wallace, A., Alexander, G. V. in Chaudhry, F. M. (1977). Phytotoxicity of cobalt, vanadium, titanium, silver, and chromium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, let. 8, str. 751-756.

Zhou, H., Zeng, M., Zhou, X., Liao, B.H., Liu, J., Lei, M., Zhong, Q.Y., Zeng, H. (2013). Assessment of heavy metal contamination and bioaccumulation in soybean plants from mining and smelting areas of southern Hunan Province, China. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol. 32, str. 2719-2727.

Zupan, M., Grčan, H. in Lobnik F. (2008). *Raziskave onesnaženosti tal Slovenije*. Ljubljana: Agencija RS za okolje.

9. PRILOGE

PRILOGA 1: Distribucija kovin in As v rastlinskih delih

Povprečne vsebnosti Cd v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Cd (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	1,4					
ES DOMINATOR		0,77±0,06	0,89±0,12	0,57±0,02	1,46±0,10	2,23±0,15
NAYA		0,49±0,04	0,40±0,12	0,17±0,02	0,57±0,13	1,07±0,09
BUKOVŽLAK	11,7					
ES DOMINATOR		1,22±0,16	1,75±0,15	0,85±0,03	2,60±0,13	3,82±0,14
NAYA		1,55±0,11	2,62±0,14	1,41±0,05	4,03±0,09	5,58±0,19
	OLJNA OGRŠČICA					
	TLA	KORENINE n=5-10	STEBLA n=4-10	SEMENA n=5-10	NADZEMNI DEL n=4-10	SKUPAJ n=4-10
MEDLOG	1,4					
PR45 D01		0,68±0,06	0,72±0,09	0,10±0,03	0,82±0,09	1,50±0,09
PR46 W31		0,69±0,04	0,81±0,30	0,12±0,01	0,93±0,31	1,62±0,29
MEŽICA	37,5					
PR45 D01		5,03±1,01	2,91±0,49	0,49±0,31	3,40±0,75	8,43±1,36
PR46 W31		3,66±1,04	2,94±0,59	0,40±0,19	3,34±0,76	7,01±1,78

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

Povprečne vsebnosti Pb v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Pb (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	38					
ES DOMINATOR		6,85±1,01	0,35±0,07	0,11±0,15	0,46±0,08	7,31±0,98
NAYA		7,05±1,18	0,23±0,04	0,00±0,00	0,23±0,04	7,28±1,20
BUKOVŽLAK	181,37					
ES DOMINATOR		9,25±1,00	1,98±0,46	0,01±0,01	1,99±0,47	11,24±0,53
NAYA		14,74±2,08	2,13±0,30	0,00±0,00	2,14±0,30	16,87±2,27
	OLJNA OGRŠČICA					
	TLA	KORENINE n=5	STEBLA n=5	SEMENA n=5	NADZEMNI DEL n=5	SKUPAJ n=5
MEDLOG	38					
PR45 D01		3,43±0,41	0,49±0,09	0,76±0,40	1,25±0,39	4,68±0,62
PR46 W31		3,16±0,40	7,15±3,52	0,99±0,41	8,14±3,13	11,31±2,91
MEŽICA	2153					
PR45 D01		177,24±76,00	4,91±2,29	5,30±5,68	10,21±5,08	187,46±77,07
PR46 W31		116,58±24,79	7,96±2,84	9,43±5,40	17,39±3,43	133,97±25,94

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

Povprečne vsebnosti Zn v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Zn (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	139					
ES DOMINATOR		34,30±4,98	14,00±2,08	62,20±2,15	76,20±3,16	110,50±3,69
NAYA		37,67±3,07	22,10±7,15	62,20±5,27	84,30±12,25	121,97±11,76
BUKOVŽLAK	1445,8					
ES DOMINATOR		102,37±5,77	32,97±5,68	65,23±1,39	98,20±5,65	200,57±4,66
NAYA		141,47±18,05	33,23±3,93	73,67±1,81	106,90±5,32	248,37±21,24
OLJNA OGRŠČICA						
	TLA	KORENINE n=5-10	STEBLA n=4-10	SEMENA n=5-10	NADZEMNI DEL n=4-10	SKUPAJ n=4-10
MEDLOG	139					
PR45 D01		37,32±3,99	19,16±4,42	47,86±2,69	67,02±5,37	104,34±8,73
PR46 W31		37,22±3,08	28,36±9,98	51,20±4,57	79,56±6,39	116,78±4,79
MEŽICA	5094					
PR45 D01		558,16±126,23	182,20±35,70	106,28±40,56	288,48±67,23	846,64±141,83
PR46 W31		389,94±90,37	190,88±20,71	110,08±20,16	300,96±40,25	690,90±119,96

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

Povprečne vsebnosti Ni v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Ni (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	33,1					
ES DOMINATOR		2,20±0,36	3,57±4,48	2,67±1,39	6,23±3,76	8,43±4,09
NAYA		2,43±0,31	0,47±0,17	3,80±1,07	4,27±1,23	6,70±0,96
BUKOVŽLAK	20,5					
ES DOMINATOR		1,57±0,09	0,47±0,05	1,90±0,16	2,37±0,21	3,93±0,12
NAYA		1,87±0,12	0,43±0,05	1,43±0,12	1,87±0,12	3,73±0,25
BUKOVŽLAK						
ES MENTOR		1,13±0,17	0,60±0,08	1,60±0,08	2,20±0,08	3,33±0,21
EMA		1,07±0,24	0,50±0,08	1,57±0,05	2,07±0,09	3,13±0,33
OLJNA OGRŠČICA						
	TLA	KORENINE n=5	STEBLA n=5	SEMENA n=5	NADZEMNI DEL n=5	SKUPAJ n=5
MEDLOG	33,1					
PR45 D01		2,40±0,48	0,66±0,21	2,62±2,50	3,28±2,39	5,68±2,02
PR46 W31		2,64±0,53	0,80±0,11	1,40±0,37	2,20±0,41	4,84±0,67
MEŽICA	23,6					
PR45 D01		1,96±0,62	0,38±0,15	0,44±0,14	0,82±0,25	2,78±0,55
PR46 W31		1,60±0,36	0,52±0,04	0,82±0,44	1,34±0,42	2,94±0,76

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

Povprečne vsebnosti Mo v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Mo (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	0,4					
ES DOMINATOR		0,45±0,05	3,80±1,66	26,17±7,72	29,97±9,36	30,42±9,39
NAYA		0,79±0,10	7,10±3,95	27,66±8,12	34,76±11,81	35,66±11,88
BUKOVŽLAK	0,74					
ES DOMINATOR		0,38±0,02	1,67±0,08	35,79±1,48	37,46±1,55	37,84±1,53
NAYA		0,70±0,15	5,94±2,28	51,04±3,60	56,98±5,88	57,68±5,92
BUKOVŽLAK						
ES MENTOR		0,53±0,12	2,23±1,07	17,83±2,75	20,07±3,65	20,60±3,77
EMA		0,67±0,05	1,00±0,36	22,17±3,07	23,17±3,43	23,83±3,46
	OLJNA OGRŠČICA					
	TLA	KORENINE n=5	STEBLA n=5	SEMENA n=5	NADZEMNI DEL n=5	SKUPAJ n=5
MEDLOG	0,4					
PR45 D01		0,42±0,08	0,89±0,19	1,02±0,05	1,92±0,21	2,33±0,28
PR46 W31		0,44±0,07	0,84±0,23	1,00±0,07	1,84±0,18	2,28±0,15
MEŽICA	0,9					
PR45 D01		21,13±11,15	19,79±3,44	10,24±4,12	30,04±6,08	51,17±13,49
PR46 W31		15,96±2,39	30,70±7,85	9,93±4,34	40,62±10,03	56,59±12,19

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

Povprečne vsebnosti As v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

As (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	30,4					
ES DOMINATOR		0,90±0,16	0,03±0,05	0,00±0,00	0,03±0,05	0,93±0,12
NAYA		1,10±0,14	0,03±0,05	0,00±0,00	0,03±0,05	1,13±0,09
BUKOVŽLAK	14,4					
ES DOMINATOR		0,53±0,12	0,07±0,09	0,00±0,00	0,07±0,09	0,60±0,08
NAYA		1,03±0,19	0,07±0,09	0,03±0,05	0,10±0,14	1,13±0,17
BUKOVŽLAK						
ES MENTOR		0,15±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,15±0,00
EMA		0,18±0,04	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,18±0,04
	OLJNA OGRŠČICA					
	TLA	KORENINE n=5	STEBLA n=5	SEMENA n=5	NADZEMNI DEL n=5	SKUPAJ n=5
MEDLOG	30,4					
PR45 D01		1,50±0,34	0,02±0,04	0,34±0,32	0,34±0,32	1,86±0,56
PR46 W31		1,64±0,31	0,40±0,20	0,48±0,21	0,88±0,20	2,52±0,44
MEŽICA	17,7					
PR45 D01		1,70±0,92	0,00±0,00	0,16±0,10	0,16±0,10	1,86±0,96
PR46 W31		1,12±0,27	0,02±0,04	0,12±0,07	0,14±0,10	1,26±0,31

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

Povprečne vsebnosti Ti v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

Ti (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	40					
ES DOMINATOR		21,00±2,94	4,33±1,89	18,00±10,61	22,33±12,50	43,33±13,42
NAYA		19,67±2,49	7,35±3,09	9,33±1,70	16,67±4,71	36,33±2,49
BUKOVŽLAK	40					
ES DOMINATOR		22,67±1,89	17,33±3,86	8,33±0,47	25,67±3,40	48,33±2,49
NAYA		24,33±0,94	13,00±1,63	11,67±1,25	24,67±0,47	49,00±0,82
OLJNA OGRŠČICA						
	TLA	KORENINE n=5-10	STEBLA n=4-10	SEMENA n=5-10	NADZEMNI DEL n=4-10	SKUPAJ n=4-10
MEDLOG	40					
PR45 D01		25,60±2,87	10,00±1,55	40,20±2,64	50,20±1,47	75,80±3,60
PR46 W31		31,20±3,60	11,60±3,14	40,00±2,45	54,60±2,15	82,80±3,66
MEŽICA	240					
PR45 D01		39,40±2,06	19,60±3,20	36,40±2,87	56,00±2,37	95,40±3,93
PR46 W31		43,40±3,77	28,60±3,01	41,80±4,45	70,40±5,95	113,80±3,25

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

Povprečne vsebnosti TI v tleh in rastlinskih delih soje in oljne ogrščice

TI (mg/kg s.s.)	SOJA					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=3	ZRNJE n=3	NADZEMNI DEL n=3	SKUPAJ n=3
MEDLOG	0,3					
ES DOMINATOR		0,03±0,00	0,04±0,00	0,00±0,00	0,04±0,00	0,06±0,01
NAYA		0,03±0,00	0,04±0,00	0,00±0,00	0,03±0,02	0,05±0,02
BUKOVŽLAK	0,67					
ES DOMINATOR		0,02±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,01±0,01
NAYA		0,03±0,01	0,02±0,00	0,00±0,00	0,01±0,01	0,04±0,01
BUKOVŽLAK						
ES MENTOR		0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
EMA		0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
OLJNA OGRŠČICA						
	TLA	KORENINE n=5	STEBLA n=5	SEMENA n=5	NADZEMNI DEL n=5	SKUPAJ n=5
MEDLOG	0,3					
PR45 D01		0,13±0,03	0,20±0,07	0,30±0,05	0,49±0,08	0,63±0,11
PR46 W31		0,15±0,01	0,20±0,07	0,38±0,09	0,58±0,13	0,73±0,15
MEŽICA	1,1					
PR45 D01		1,05±0,37	1,74±0,43	4,24±1,87	5,97±2,23	7,02±2,23
PR46 W31		2,54±0,72	3,15±1,26	4,24±2,50	7,39±3,69	9,94±4,32

Opomba: Nadzemni del = stebila + semena; ± pomeni standardna deviacija

PRILOGA 2: Privzem povprečnih vsebnosti kovin in As v rastlinske dele (korenine, stebila in seme/zrnje) v padajočem zaporedju

Privzem povprečnih vsebnosti Cd v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Cd (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	stebila > korenine > zrnje	PR45 D01 stebila > korenine > semena
NAYA	korenine > stebila > zrnje	PR46 W31 stebila > korenine > semena
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	stebila > korenine > zrnje	PR45 D01 korenine > stebila > semena
NAYA	stebila > korenine > zrnje	PR46 W31 korenine > stebila > semena

Privzem povprečnih vsebnosti Pb v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Pb (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	korenine > stebila > zrnje	PR45 D01 korenine > semena > stebila
NAYA	korenine > stebila > zrnje	PR46 W31 stebila > korenine > semena
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	korenine > stebila > zrnje	PR45 D01 korenine > semena > stebila
NAYA	korenine > stebila > zrnje	PR46 W31 korenine > semena > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti Zn v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Zn (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	zrnje > korenine > stebila	PR45 D01 semena > korenine > stebila
NAYA	zrnje > korenine > stebila	PR46 W31 semena > korenine > stebila
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	korenine > zrnje > stebila	PR45 D01 korenine > stebila > semena
NAYA	korenine > zrnje > stebila	PR46 W31 korenine > stebila > semena

Privzem povprečnih vsebnosti Ni v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Ni (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	stebila > zrnje > korenine	PR45 D01 semena > korenine > stebila
NAYA	zrnje > korenine > stebila	PR46 W31 korenine > semena > stebila
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	zrnje > korenine > stebila	PR45 D01 korenine > semena > stebila
NAYA	korenine > zrnje > stebila	PR46 W31 korenine > semena > stebila
BUKOVŽLAK		
ES MENTOR	zrnje > korenine > stebila	
EMA	zrnje > korenine > stebila	

Privzem povprečnih vsebnosti Mo v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Mo (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	zrnje > stebila > korenine	PR45 D01 semena > stebila > korenine
NAYA	zrnje > stebila > korenine	PR46 W31 semena > stebila > korenine
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	zrnje > stebila > korenine	PR45 D01 korenine > stebila > semena
NAYA	zrnje > stebila > korenine	PR46 W31 stebila > korenine > semena
BUKOVŽLAK		
ES MENTOR	zrnje > stebila > korenine	
EMA	zrnje > stebila > korenine	

Privzem povprečnih vsebnosti As v rastlinske dele v padajočem zaporedju

As (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	korenine > stebila > zrnje	PR45 D01 korenine > semena > stebila
NAYA	korenine > stebila > zrnje	PR46 W31 korenine > semena > stebila
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	korenine > stebila > zrnje	PR45 D01 korenine > semena > stebila
NAYA	korenine > stebila > zrnje	PR46 W31 korenine > semena > stebila
BUKOVŽLAK		
ES MENTOR	korenine > stebila - zrnje	
EMA	korenine > stebila - zrnje	

Privzem povprečnih vsebnosti Ti v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Ti (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	korenine > zrnje > stebila	PR45 D01 semena > korenine > stebila
NAYA	korenine > zrnje > stebila	PR46 W31 semena > korenine > stebila
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	korenine > stebila > zrnje	PR45 D01 korenine > semena > stebila
NAYA	korenine > stebila > zrnje	PR46 W31 korenine > semena > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti TI v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Ti (mg/kg s.s.)	SOJA	OLJNA OGRŠČICA
MEDLOG		MEDLOG
ES DOMINATOR	stebila > korenine > zrnje	PR45 D01 semena > stebila > korenine
NAYA	stebila > korenine > zrnje	PR46 W31 semena > stebila > korenine
BUKOVŽLAK		MEŽICA
ES DOMINATOR	korenine > stebila > zrnje	PR45 D01 semena > stebila > korenine
NAYA	korenine > stebila > zrnje	PR46 W31 semena > stebila > korenine
BUKOVŽLAK		
ES MENTOR	-	
EMA	-	

PRILOGA 3: Linearna regresija – tla/rastlinski deli

		KORENINE	STEBLA	SEMENA/ZRNJE
Cd	linearna regresija R ²	y=0,102X+0,427 0,939	y=0,060X+0,847 0,798	y=0,004X+0,456 0,024
Pb	linearna regresija R ²	y=0,067X+1,674 0,939	y=0,002X+1,878 0,420	
Zn	linearna regresija R ²	y=0,088X+16,03 0,941	y=0,033x+7,542 0,958	y=0,010x+54,33 0,946
Ni	linearna regresija R ²	y=0,145x-1,440 0,276	y=0,080x-1,308 0,200	y=0,115x-1,307 0,400
As	linearna regresija R ²	y=0,017x+0,776 0,120	y=0,001+0,085 0,012	
Mo	linearna regresija R ²	y=27,63x-11,82 0,577	y=34,3x-12,08 0,547	y=14,29x+11,63 0,034
Tl	linearna regresija R ²	y=3,737x-1,341 0,471		
Ti	linearna regresija R ²	y=0,089x+20,01 0,790	y=0,067x+7,898 0,656	y=0,089+17,68 0,295