

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Nina ROMIH

**VSEBNOST IN BIOAKUMULACIJSKI FAKTORJI
ZA Cd, Pb IN Zn V IZBRANIH VRTNINAH GOJENIH
NA RAZLIČNO ONESNAŽENIH TLEH V MESTNI
OBČINI CELJE**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij - 2. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Nina ROMIH

**VSEBNOST IN BIOAKUMULACIJSKI FAKTORJI ZA Cd, Pb IN Zn V
IZBRANIH VRTNINAH GOJENIH NA RAZLIČNO ONESNAŽENIH
TLEH V MESTNI OBČINI CELJE**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študijski program – 2. stopnja

**CONTENT AND BIOACCUMULATION FACTORS OF Cd, Pb AND
Zn, IN SELECTED VEGETABLES GROWN IN DIFFERENTLY
CONTAMINATED SOIL IN MUNICIPALITY OF CELJE**

M. SC. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2015

Magistrsko delo je zaključek Magistrskega študijskega programa 2. stopnje hortikultura. Delo je bilo opravljeno na Katedri za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo, Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Poskus je bil izveden v Mestni občini Celje.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico magistrskega dela imenovala prof. dr. Heleno GRČMAN in somentorico izr. prof. dr. Nino KACJAN MARŠIČ.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednik: prof. dr. Gregor OSTERC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Članica: prof. dr. Helena GRČMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Članica: izr. prof. dr. Nina KACJAN MARŠIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Član: prof. dr. Franc BATIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Nina Romih

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du2
DK UDK 631.453:546.46/.47:546.815;635.52:635.11(043.2)
KG onesnaženost tal/Cd/Pb/Zn/Celje/vrtna solata/rdeča pesa/sprejem v rastline
AV ROMIH, Nina
SA GRČMAN, Helena (mentor) / KACJAN MARŠIČ, Nina (somentor)
KZ SI- 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI 2015
IN VSEBNOST IN BIOAKUMULACIJSKI FAKTORJI ZA Cd, Pb IN Zn V IZBRANIH VRTNINAH GOJENIH NA RAZLIČNO ONESNAŽENIH TLEH V MESTNI OBČINI CELJE
TD Magistrsko delo (Magistrski študijski program – 2. stopnja)
OP XI, 50, [16] str., 7 pregl., 31 sl., 7 pril., 70 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI V magistrski nalogi smo želeli ugotoviti razlike v akumulaciji Cd, Pb in Zn pri treh sortah vrtna solate ('Noisette', 'Estac' in 'Joliac') in dveh sortah rdeče pese ('Bettollo F1' in 'Rocket') na različno onesnaženih tleh. Pri vrtni solati smo kovine izmerili samo v listih, pri rdeči pesi pa v listih in korenih. V Mestni občini Celje smo izbrali 5 lokacij na različno onesnaženih tleh glede na podlagi predhodnih analiz in predlagane conacije: cona N - neonesnaženo, cona M - koncentracija Cd med 1 in 2 mg/kg; cona O1 - koncentracija Cd med 2 in 4 mg/kg; cona O2 koncentracija Cd med 4 in 8 mg/kg; cona O3 - koncentracija Cd med 8 in 12 mg/kg. Poskusne lokacije so se razlikovale tudi v vsebnosti Pb in Zn v tleh. Potrdili smo, da je vsebnost kovin v vrtni solati in rdeči pesi odvisna od vsebnosti kovin v tleh. Ugotovili smo tudi, da rdeča pesa bolje akumulira kovine kot vrtna solata. Glede na podrobnejšo razdelitev srednje onesnaženega območja s Cd (cona O), je pridelava vrtna solate varna na lokacijah O1 in O2. Pridelava rdeče pese pa samo na lokaciji O1. Razlike v akumulaciji kovin so bile tudi med sortami vrtna solate. Sorta 'Noisette' je imela povprečno največjo vsebnost Cd (0,41 mg/kg), sorta 'Estac' pa najmanjšo (0,31 mg/kg). Povprečno največjo vsebnost Cd pri rdeči pesi je imela sorta 'Rocket' (0,85 mg/kg) na lokaciji O3, najmanjšo pa sorta 'Bettollo F1' na lokaciji N (0,029). Izračunali smo tudi bioakumulacijske faktorje. Povprečno največji bioakumulacijski faktorji pri vrtni solati za Cd so bili na lokaciji M pri sorti 'Noisette' (1,24) in najmanjši pri sorti 'Estac' na lokaciji O2 (0,078). Pri rdeči pesi pa so bili bioakumulacijski faktorji za Cd največji v listih na lokaciji O3 (1,20) in najmanjši v korenih na lokaciji O2 (0,122). Bioakumulacijski faktorji so pri vrtni solati in rdeči pesi sledijo v naslednjem vrstnem redu: Cd > Zn > Pb.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
DC UDC 631.453:546.46/.47:546.815;635.52:635.11(043.2)
CX soil pollution/Cd/Pb/Zn/Celje/lettuce/red beet/plant uptake
AU ROMIH, Nina
AA GRČMAN, Helena (supervisor) / KACJAN MARŠIČ, Nina (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2015
TI CONTENT AND BIOACCUMULATION FACTORS OF Cd, Pb AND Zn, IN
SELECTED VEGETABLES GROWN IN DIFFERENTLY CONTAMINATED
SOIL IN MUNICIPALITY OF CELJE
DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO XI, 50, [16] p., 7 tab., 31 fig., 7 ann., 70 ref.
LA sl
AL sl/en
AB In this master thesis we wanted to determine differences in the accumulation of Cd, Pb and Zn in three varieties of lettuce ('Noisette', 'Estac' and 'Joliac') and two varieties of red beet ('Bettollo F1' and 'Rocket') in differently contaminated soil. The lettuce metals were measured only in the leaves, and in red beet in leaves and roots. In the Municipality of Celje we chose five locations in the differently contaminated soil with respect to the results of previous analyzes and proposed zoning: zone N - unpolluted, zone M - Cd concentrations between 1 and 2 mg/kg; zone O1 - Cd concentration between 2 and 4 mg/kg; zone O2 concentration Cd between 4 and 8 mg/kg; zone O3 - Cd concentration between 8 and 12 mg/kg. The experimental locations also varied in levels of Pb and Zn in soil. We confirmed that the content of metals in the lettuce and red beet depended on the content of metals in the soil. We have also found that red beet better accumulates metals as lettuce. According to the more detailed division of the medium polluted area with Cd (zone O), the cultivation of lettuce is safe at locations O1 and O2 while the cultivation of red beet is safe only in the location O1. Differences in the accumulation of metals were also among the varieties of lettuce. The variety 'Noisette' had the biggest average content of Cd (0,41 mg/kg), and variety 'Estac' had a smallest average content (0,31 mg/kg). The biggest average content of Cd in red beet had a variety 'Rocket' (0,85 mg/kg) in the location O3, and the smallest in variety 'Bettollo F1' in the location N (0,029 mg/kg). We also calculated the bioaccumulation factors. The biggest average bioaccumulation factors for Cd in the lettuce were in variety 'Noisette' in the location M (1,24), and the smallest in variety 'Estac' in the location O2 (0,078). In red beet bioaccumulation factors for Cd were the biggest in the leaves in the location O3 (1,20) and the smallest in roots in the location O2 (0,122). Bioaccumulation factors in lettuce and red beet are arranged as performed in the following order: Cd> Zn> Pb.

KAZALO VSEBINE

	Str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key word documetation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	IX
Kazalo prilog	XI
Seznam okrajšav	XII
1 UVOD	1
1.1 VZROK ZA RAZISKAVO	1
1.2 NAMEN RAZISKAVE	1
1.3 DELOVNA HIPOTEZA	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 ONESNAŽENOST OKOLJA	2
2.2 TEŽKE KOVINE V TLEH	3
2.2.1 Kadmij	4
2.2.2 Svinec	4
2.2.3 Cink	5
2.3 ZAKONODAJA NA PODROČJU ONESNAŽEVANJA TAI	5
2.4 ZAKONODAJA ZA ŽIVILA	6
2.5 KMETIJSKA PRIDELAVA NA ONESNAŽENIH TLEH	6
2.6 SPREJEM KOVIN V RASTLINE	6
2.7 PREGLED SPREJEMA KOVIN V RAZLIČNE RASTLINSKE VRSTE	7
2.8 TOKSIČNOST KOVIN	12
2.9 BIOAKUMULACIJSKI FAKTOR	12
2.10 VRTNA SOLATA	13
2.10.1 Botanične lastnosti	13
2.10.2 Morfološke lastnosti	13
2.10.3 Rastne razmere	13
2.10.3.1 Temperatura	13
2.10.3.2 Tla	13
2.10.3.3 Vlaga	13
2.10.4 Načini pridelovanja	14
2.10.4.1 Gojenje sadik	14

2.10.4.2	Gojenje na prostem	14
2.11	RDEČA PESA	14
2.11.1	Botanične lastnosti	14
2.11.2	Morfološke lastnosti	14
2.11.3	Rastne razmere	15
2.11.3.1	Temperatura	15
2.11.3.2	Tla	15
2.11.3.3	Vlaga	15
2.11.4	Načini pridelovanja	15
2.11.4.1	Gojitev sadik	16
2.11.4.2	Gojenje na prostem	16
3	MATERIAL IN METODE	17
3.1	ZASNOVA POSKUSA	17
3.2	IZBOR LOKACIJ	17
3.2.1	Lokacija N (Apotekar)	19
3.2.2	Lokacija M (Žnidarec)	19
3.2.3	Lokacija O1 (Bajuk)	20
3.2.4	Lokacija O2 (Kvar)	20
3.2.5	Lokacija O3 (Cajhen)	21
3.3	RASTLINE V POSKUSU	21
3.3.1	Sortiment	21
3.3.2	Vzgoja sadik in oskrba poskusa	22
3.4	VZORČENJE, PRIPRAVA VZORCEV IN ANALIZE	22
3.4.1	Priprava vzorcev tal	22
3.4.2	Priprava vzorcev rastlin	22
3.4.3	Analitske metode	22
3.4.3.1	Meritev pH tal	22
3.4.3.2	Meritev organske snovi v tleh	23
3.4.3.3	Meritev vsebnosti skupnega dušika v tleh	23
3.4.3.4	Meritev rastlinam dostopnega fosforja in kalija v tleh	23
3.4.3.5	Kationska izmenjalna kapaciteta tal	23
3.4.3.6	Kvantitativna analiza teksture tal (mehanska analiza)	23
3.4.3.7	Meritev vsebnosti Cd, Pb in Zn v tleh	24
3.4.3.8	Meritev vsebnosti Cd, Pb in Zn v rastlinah	24
3.4.3.9	Bioakumulacijski faktor	24

3.4.3.10	Statistična analiza	24
4	REZULTATI	25
4.1	ANALIZE TAL	25
4.1.1	Lastnosti tal	25
4.1.2	Vsebnost kovin v tleh	27
4.2	VSEBNOST KOVIN V SADIKAH	28
4.3	VSEBNOST KOVIN V VRTNI SOLATI	28
4.4	VSEBNOST KOVIN V RDEČI PESI	30
4.5	PRIMERJAVA KOVIN V LISTIH VRTNE SOLATE IN LISTIH RDEČE PESE	33
4.6	PRIDELEK	35
4.7	BIOAKUMULACIJSKI FAKTOR	36
4.7.1	Bioakumulacijski faktor za Cd	36
4.7.2	Bioakumulacijski faktor za Pb	37
4.7.3	Bioakumulacijski faktor za Zn	38
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	40
5.1	RAZPRAVA	40
5.2	SKLEPI	42
6	POVZETEK	44
7	VIRI	45

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Imisijske vrednosti v tleh (mg/kg suhih tal, Uredba o mejnih ...,1996).	5
Preglednica 2: Mejne vrednosti za Cd in Pb (mg/kg sv. s.) v vrtninah (Uredba komisije ..., 2008).	6
Preglednica 3: Sprejem kovin v različne kmetijske rastline (Zupan in sod., 1996).	7
Preglednica 4: Vsebnost Cd (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin gojenih na različno onesnaženih tleh.	8
Preglednica 5: Vsebnost Pb (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin gojenih na različno onesnaženih tleh.	9
Preglednica 6: Vsebnost Zn (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin gojenih na različno onesnaženih tleh.	10
Preglednica 7: Povprečne vsebnosti kovin v sadikah (mg/kg sv. s.).	28

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Lokacije vzorčnih vrtov v Mestni občini Celje glede na conacijo onesnaženosti tal s Cd (Lokacije ..., 2012)	18
Slika 2: Lokacija Apotekar v coni N (kart. podl. Google Maps ..., 2015)	19
Slika 3: Lokacija Žnidarec v coni M (kart. podl. Google Maps ..., 2015)	19
Slika 4: Lokacija Bajuk v coni O1 (kart. podl. Google Maps ..., 2015)	20
Slika 5: Lokacija Kvar v coni O2 (kart. podl. Google Maps ..., 2015)	20
Slika 6: Lokacija Cajhen v coni O3 (kart. podl. Google Maps ..., 2015).	21
Slika 7: Povprečna pH vrednost $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah	25
Slika 8: Povprečne vrednosti organske snovi (%) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah	25
Slika 9: Povprečne vrednosti fosforja (P_2O_5 mg/100 g tal) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.	25
Slika 10: Povprečne vrednosti kalija (K_2O mg/100 g tal) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.	25
Slika 11: Tekstura tal na izbranih lokacijah.	26
Slika 12: Povprečne vrednosti kationske izmenjalne kapacitete ($mmol_c/100$ g tal) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.	26
Slika 13: Povprečne vsebnosti Cd (mg/kg) v tleh $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.	27
Slika 14: Povprečne vsebnosti Pb (mg/kg) v tleh $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.	27
Slika 15: Povprečne vsebnosti Zn (mg/kg) v tleh $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.	27
Slika 16: Povprečne vsebnosti Cd (mg/kg sv.s.) $\pm$ standardna napaka v rastlinah različnih sort vrtné solate na poskusnih lokacijah.	28
Slika 17: Povprečne vsebnosti Zn (mg/kg sv. s) $\pm$ standardna napaka v rastlinah različnih sort vrtné solate na poskusnih lokacijah.	29

Slika 18:	Povprečne vsebnosti Cd (mg/kg sv.s.) v korenih in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.	30
Slika 19:	Povprečne vsebnosti Pb (mg/kg sv. s.) v korenih in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.	31
Slika 20:	Povprečne vsebnosti Zn (mg/kg sv. s.) v korenih in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.	32
Slika 21:	Povprečne vsebnosti Cd (mg/kg sv. s.) $\pm$ standardna napaka v listih vrtno solate in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.	33
Slika 22:	Povprečne vsebnosti Pb (mg/kg sv s.) $\pm$ standardna napaka v listih vrtno solate in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.	34
Slika 23:	Povprečne vsebnosti Zn (mg/kg sv. s.) $\pm$ standardna napaka v listih vrtno solate in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.	34
Slika 24:	Povprečni pridelek (kg/m^2) $\pm$ standardna napaka vrtno solate na poskusnih lokacijah.	35
Slika 25:	Povprečni pridelek (kg/m^2) $\pm$ standardna napaka rdeče pese na poskusnih lokacijah.	35
Slika 26:	Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Cd $\pm$ standardna napaka pri vrtni solati na poskusnih lokacijah.	36
Slika 27:	Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Cd $\pm$ standardna napaka pri rdeči pesi na poskusnih lokacijah.	37
Slika 28:	Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Pb $\pm$ standardna napaka pri vrtni solati na poskusnih lokacijah.	37
Slika 29:	Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Pb $\pm$ standardna napaka pri rdeči pesi na poskusnih lokacijah.	38
Slika 30:	Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Zn $\pm$ standardna napaka pri vrtni solati na poskusnih lokacijah.	39
Slika 31:	Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Zn $\pm$ standardna napaka pri rdeči pesi na poskusnih lokacijah.	39

KAZALO PRILOG

- PRILOGA A: Standardna pedološka analiza tal na izbranih lokacijah. N - neonesnaženo, M - malo onesnaženo, O1 – onesnaženost 1, O2 – onesnaženost 2 in O3 – onesnaženost 3.
- PRILOGA B: Vsebnost kovin v tleh in vrtninah gojenih na poskusnih lokacijah.
- PRILOGA C: Statistična analiza za vsebnost kovin v vrtni solati.
- PRILOGA D: Statistična analiza za vsebnost kovin v rdeči pesi.
- PRILOGA E: Statistična analiza za vsebnost kovin v listih vrtnne solate in listih rdeče pese.
- PRILOGA F: Statistična analiza za povprečni pridelek vrtnne solate in rdeče pese.
- PRILOGA G: Statistična analiza za bioakumulacijske faktorje.

SEZNAM OKRAJŠAV

Okrajšava	Pomen
Sv. s.	sveža snov
S.s	suha snov

1 UVOD

1.1 VZROK ZA RAZISKAVO

Tla urbanega območja Mestne občine Celje, so predvsem zaradi industrije v preteklosti, onesnažena z anorganskimi nevarnimi snovmi, med katerimi so najpogostejše kovine Cd, Pb in Zn. S stališča preventivnih oziroma sanacijskih ukrepov so problematična srednje onesnažena območja (med mejno in opozorilno imisijsko vrednostjo glede na uredbo RS 68/96), ki jih je največ (4000-6000 ha) in so še vedno v kmetijski rabi ter za katere uredba ne predlaga konkretnih ukrepov. Vnos kovin iz tal v človekov organizem lahko zmanjšamo z različnimi preventivnimi ukrepi; pri kmetijski rabi je to npr. izbor primernih rastlin (Zupan in sod., 2010) in preprečevanje prašenja.

V novejših raziskavah so bile predstavljene cone območij z različno kontaminacijo s kovinami, predvsem na osnovi vsebnosti Cd v tleh, ki je od omenjenih elementov najbolj mobilna in najlažje prehaja v rastline (Grčman in sod., 2013). Za posamezne cone bo potrebno pripraviti navodila za varno kmetovanje oz. drugo rabo tal. Znano je, da so z vidika koncentracij kovin v užitnih delih vrtnin najbolj problematične korenovke in nekatere solatnice (Alexander in sod., 2006), vendar nimamo zadostnih podatkov o vrstnih specifičnostih.

1.2 NAMEN RAZISKAVE

Ugotoviti razlike v akumulaciji Cd, Pb in Zn v užitne dele med različnima vrstama oziroma skupinama vrtnin z namenom usmerjanja kmetijske pridelave na srednje onesnaženih območjih.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo razlike v koncentraciji kovin v užitnih delih rastlin in bioakumulacijskih faktorjih med različno onesnaženimi lokacijami.

Predvidevamo, da pridelava nekaterih vrtnin na srednje onesnaženem območju (cona O: koncentracija kovine med mejno in opozorilno vrednostjo), ni v celoti varna (glede na uredbo za živila), in je smiselno upoštevati podrobnejšo delitev cone O (O1, O2, O3).

2 PREGLED OBJAV

2.1 ONESNAŽENOST OKOLJA

Celje je tretje največje slovensko mesto z izrazitim razvojem industrije v 19. in 20. stoletju. Posledice razvoja industrije, kmetijstva, prometa in zgoščenega urbanega naselja so se odražale tudi v okolju. Stanje na področju kakovosti zraka in vode se je v zadnjih letih precej izboljšalo, problem predstavljajo onesnažena tla (razpršena onesnaženost), močno kontaminirano industrijsko območje in nekatere deponije (točkovna onesnaženost) (Zupan in sod., 2008).

Onesnaženost je posledica industrijskega razvoja v preteklosti, danes pa največjo grožnjo za nadaljnje onesnaženje predstavljajo močno onesnažena območja in nekatere deponije onesnaženih tal. Območje onesnaženih tal je tudi najgostejše poseljeno območje, kjer je veliko vrtov, parkov in igrišč. Z namenom ugotavljanja dostopnosti in akumulacije kovin v rastlinah, so bile nekatere raziskave usmerjene v kakovost vrtnih tal in kmetijskih rastlin na onesnaženem območju (Zupan in sod., 2010).

Glede na raziskavo iz leta 1989 je od 2866 ha kmetijskih površin na urbanem območju Celja, 486 ha tako onesnaženih s kovinami, da bi na njih morali prenehati s kmetijsko dejavnostjo. Rezultati raziskav, opravljenih na področju Celja so pokazali veliko obremenjenost tal, podstrešnega prahu ter velike vsebnosti kovin, posebej Cd, v vrtninah, pridelanih na območju Celja. Dolgoletna izpostavljenost onesnaženemu območju ima škodljive posledice za zdravje ljudi in živali (Ribarič Lasnik in sod., 2010).

V zadnjih raziskavah so bile predstavljene cone območij z različno kontaminacijo s kovinami, predvsem na osnovi vsebnosti Cd v tleh, ki je od omenjenih elementov najbolj mobilna in najlažje prehaja v rastline. Smiselno bi bilo upoštevati podrobnejšo delitev cone O (O1, O2, O3), kot sledi (Grčman in sod., 2013):

Cona N: neonesnaženo območje (vsebnost Cd < 1 mg/kg). Če vsebnost kovin v tleh ne presega mejne vrednosti, je raba tal praviloma neomejena. Možna pa je kontaminacija rastlin z onesnaževanjem preko zraka ali vode za zalivanje oziroma pripravki, ki jih uporabljamo na vrtu (gnojila, sredstva za varstvo rastlin).

Cona M: Če je koncentracija težkih kovin v tleh med mejno in opozorilno vrednostjo (vsebnost Cd 1-2 mg/kg), je vsebnost kovin v rastlinskem tkivu lahko povečana, vendar se ne pričakuje, da bi vrednosti v užitem delu rastlin dosegale ali presegle normativne vrednosti za rastline.

Cona O1: Vsebnost Cd med opozorilno in kritično vrednostjo (2-4 mg/kg). Koncentracija med opozorilno in kritično vrednostjo pomeni večjo verjetnost, da bo vsebnost težkih kovin v užitnih delih rastlin povečana zlasti pri rastlinah, kjer je užiten del koren ali list.

Cona O2: Vsebnost Cd med opozorilno in kritično vrednostjo (4-6 mg/kg). Priporoča se občasna analiza vsebnosti kovin v užitem delu za vse rastline, ki jih pridelujemo.

Cona O3: Vsebnost Cd med opozorilno in kritično vrednostjo (6-8 mg/kg). Priporoča se gojenje stročnic in večine plodovk ter drevesno sadje.

Cona K: Vsebnost Cd nad kritično vrednostjo (> 12 mg/kg). Odsvetuje se gojenje užitnih rastlin na vrtovih in drugih kmetijskih površinah, kar je tudi v skladu z zakonodajo (Uredba o mejnih ..., 1996).

Tudi v prihodnje bodo onesnažena tla v občini Celje pomemben izvor kovin za človeka tako z vidika prehajanja v kmetijske rastline, kot z vidika prašenja finih talnih delcev in njihovega vdihovanja ali usedanja v bivalnih prostorih. V občini Celje je več kategorij onesnaženih tal, ki lahko predstavljajo izvor kovin za človeka: različno močno onesnažena urbana in kmetijska tla, zelo kontaminirano industrijsko območje in nekatere deponije. Vsaka od teh kategorij zahteva specifične sanacijske in previdnostne ukrepe (Lobnik in sod., 2010).

2.2 TEŽKE KOVINE V TLEH

Težke kovine se dobro vežejo na organsko snov in glinene delce in posledično le počasi migrirajo skozi talni profil. Glavne poti kovin v sistemu tla–rastlina–talna voda so: vezava na organsko snov v tleh (imobilizacija), mobilizacija, kationska izmenjava, adsorpcija in desorpcija anionov, sprejem v rastline in spiranje. K zmanjševanju vsebnosti težkih kovin v površinskih slojih tal prispeva sprejem kovin v rastlinske dele, spiranje skozi talni profil in erozija tal. Po nekaterih ocenah je čas, v katerem se koncentracija kovine v tleh zmanjša za polovico za Zn v tleh 70 do 510 let, za Cd v tleh 13 do 1100 let, za Cu v tleh 310 do 1500 let in za Pb v tleh 740 do 5900 let (Kabata Pendias in Pendias, 1984).

Kovine se v tleh vežejo, zatem pa se počasi sproščajo in prehajajo v rastline. Pri večjih koncentracijah težkih kovin v tleh, je večja tudi količina dela, ki se sprost v talno raztopino. Ta lahko preide v rastline, redkeje pa se skozi talni profil spira v podzemne vode. Večji del težkih kovin ostaja vezan na organske in mineralne delce glin, počasi pa se sprošča v talno raztopino in prek nje prehaja v vodni cikel in prehrambeno verigo. Onesnaženje tal s težkimi kovinami je za razliko od drugih, bolj topnih in mobilnih snovi, tako rekoč trajno. Odstranjevanje težkih kovin iz tal je zapleten in največkrat predrag ukrep, da bi ga izvajali v praksi (Jamnik in sod., 2009).

Izraz težke kovine se uporablja za elemente, katerih specifična teža je večja od 5 g/cm³ (Adriano, 2001). V zadnjem času se izraz težke kovine opušča in govorimo le o kovinah. Izraz mikrohranila je omejen le na rastline in predstavlja elemente, ki so nujno potrebni (esencialni) v prehrani višjih rastlin. Ne glede na to, ali je nek element v tleh nujno potreben za rastline ali ne, je lahko v prevelikih koncentracijah toksičen tako za rastline kot

za živali in človeka. Koncentracije posamezne kovine v rastlinskih tkivih so lahko prevelike, tudi če rastlina sama ne kaže nobenih zunanjih znakov toksičnosti in jih lahko ugotovimo le z analizo rastlinskega tkiva (Bergmann, 1992).

2.2.1 Kadmij

Kadmij je v tleh lahko naravno prisoten, večinoma pa je posledica človeških dejavnosti. Posebno v 20. stoletju se je njegova koncentracija v tleh močno povečala kot posledica atmosferskih depozitov iz talilnic rude in izgorevanja fosilnih goriv. Glavni vir kadmija v kmetijskih tleh so fosfatna gnojila ter organsko gnojenje s komposti in blati čistilnih naprav. Kadmij se akumulira v zgornjih plasteh tal, kjer se predvsem veže na seskvioksido. Pri nižjih pH vrednostih iz trdne faze tal preide v talno raztopino, kjer je dostopen rastlinam (Leštan, 2002).

Kadmij je zelo mobilni element, ki se zlahka absorbira skozi korenine in hitro potuje do listov. Zaradi dobre mobilnosti je enakomerno razporejen po rastlinskih organih (Sekara in sod., 2005a).

Kadmij je rastlinam bolj dostopen v zračnih tleh. Biološki antagonisti kadmija so cink, železo in baker. Kadmij je tako lahko vzrok za njihovo pomanjkanje za rastline. Kadmij v dokaj velikih koncentracijah akumulirajo predvsem vrtna solata, špinača, zelena, zelje in žita ki pa za same rastline še niso škodljive tako, da zunanje spremembe niso opazne. Zaradi tega lahko neopazno v prehrano ljudi preidejo velike količine kadmija. Kadmij je potencialno karcinogen element (Leštan, 2002).

2.2.2 Svinec

Svinec je poleg kadmija in živega srebra eden izmed najpogostejših onesnažil v tleh. Antropogeni izvori svinca so rudarjenje in taljenje rude, rafinerije, atmosferski depoziti in odlaganje odpadkov. Z uporabo fitofarmacevtskih pripravkov na osnovi svinca, pa je v preteklosti prispevalo tudi kmetijstvo (Adriano, 2001).

Svinec iz tal slabo prehaja v rastline, zato so koncentracije svinca v rastlinah majhne v primerjavi s koncentracijo v tleh, vendar ne smemo zanemariti vnosa preko zraka, ki je značilen za urbana in industrijska okolja (Kabata-Pendias in Pendias, 1984). Svinec ni esencialni element, zaradi biološkega antagonizma pa v rastlinskih tkivih lahko zamenja kalcij in druge elemente (Leštan, 2002).

Svinec je slabo mobilni, zato njegova vsebnost v rastlini pada v naslednjem vrstnem redu: korenine, poganjki, listi, plod in seme. Ta razdelitev je posledica zaščitnih mehanizmov rastline, ki prepreči transport svinca iz korenin v nadzemne dele (Sekara in sod., 2005a).

2.2.3 Cink

Cink se nahaja v vseh kamninah zemeljske skorje, v večjih koncentracijah pa je zastopan v magmatskih kamninah. Z njihovim preperevanjem pride v tla (Leštan, 2002). Njegovi antropogeni izvori so rudarjenje in taljenje rude, tekstilna industrija, mikroelektronike in metalurgije ter odlaganje odpadkov in blat čistilnih naprav. Prispeva tudi kmetijstvo z mineralnimi in organskimi gnojili in fitofarmacevtskimi sredstvi (Kabata-Pendias in Pendias, 1984).

Cink se poleg svinca in kadmija v povečanih količinah pogosto pojavlja v tleh, vendar pa je cink mikrohranilo in je v določenih koncentracijah nujno potreben za rast in razvoj rastlin, živali in človeka (Zupan in sod., 2008).

Za rast in razvoj potrebujejo rastline zelo majhne količine cinka. Brez cinka bi bila rast in razvoj rastlin močno ovirana, ker ima pomembno vlogo v metabolizmu rastlin. V rastlini se največ cinka nahaja v koreninah, v nadzemnem delu pa v starejših listih. Iz starejših listov se transportira v mlajše. V plodovih pa so najmanjše vrednosti cinka (Kabata-Pendias in Pendias, 1984).

2.3 ZAKONODAJA NA PODROČJU ONESNAŽEVANJA TAL

Težke kovine v tleh obravnava Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh (Uredba o mejnih ..., 1996; preglednica 1).

Preglednica 1: Imisijske vrednosti v tleh (mg/kg suhih tal, Uredba o mejnih ..., 1996).

	Mejna vrednost	Opozorilna vrednost	Kritična vrednost
Cd	1	2	12
Pb	85	100	530
Zn	200	300	720

Mejna imisijska vrednost je koncentracija posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni takšno obremenitev tal, da so zagotovljene življenjske razmere za rastline in živali, pri kateri se ne poslabšuje kakovost podtalnice ter rodovitnost tal. Vplivi na zdravje človeka ali okolje so pri tej vrednosti še sprejemljivi. Opozorilna imisijska vrednost je koncentracija posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni pri določenih vrstah rabe tal verjetnost škodljivih vplivov ali učinkov na zdravje človeka ali okolje. Kritična imisijska vrednost je količina posamezne nevarne snovi v tleh, pri kateri zaradi škodljivih vplivov ali učinkov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, ki so namenjene prehrani ljudi ali živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode (Uredba o mejnih ...,1996).

2.4 ZAKONODAJA ZA ŽIVILA

Uredba Komisije (ES) št. 629/2008 o spremembi Uredbe Komisije (ES) št. 1881/2006 (Uredba komisije ..., 2008) o določitvi mejnih vrednostih nekaterih onesnaževal v živilih. Mejne vrednosti, ki se nanašajo na vrtnine so med 0,05 in 0,2 (mg/kg sv. s.) za Cd in med 0,1 in 0,3 (mg/kg sv. s.) za Pb.

Preglednica 2: Mejne vrednosti za Cd in Pb (mg/kg sv. s.) v vrtninah (Uredba komisije ..., 2008).

	Cd (mg/kg sv. s.)	Pb (mg/kg sv. s.)
Korenovke	0,1	0,1
Listnata zelenjava	0,2	0,3
Plodovke	0,05	0,2

2.5 KMETIJSKA PRIDELAVA NA ONESNAŽENIH TLEH

Kmetijska pridelava je povezana tudi z emisijami prašnih talnih delcev, ki na onesnaženem območju vsebujejo tudi potencialno toksične snovi, npr. kovine. Zlasti velike so emisije prašnih talnih delcev, če tla obdelujemo (oranje in predsetvena obdelava) v suhem in vetrovnem vremenu in če puščamo površine več mesecev gole (po pravilu pridelkov). S prilagojenimi sistemi obdelave tal lahko zmanjšamo prašenje oziroma količino emisij talnih delcev v zraku. Priporočljiv je sistem minimalne oz. ohranitvene obdelave tal, kjer spomladi namesto klasičnega oranja njivo pripravimo le s podrahljalnikom ali izvedemo direktno setev. Na zelo onesnaženem območju je možna pridelava rastlin, ki niso namenjene uživanju, to so okrasne ali energetske rastline pri čemer pa moramo preprečiti prašenje talnih delcev (Grabner in sod., 2012). Na področju pridelave hrane moramo upoštevati tako Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uredba o mejnih ..., 1996), kot priporočila o izboru rastlin za gojenje.

2.6 SPREJEM KOVIN V RASTLINE

Na sprejem kovin v rastlino vplivajo različni dejavniki kot so: pH, kationska izmenjalna kapaciteta, redoks potencial, organska snov in prisotnost drugih kovin ter vrsta in sorta rastline. V koreninah se začne sprejem kovin, kar pomeni, da morajo biti kovine prisotne v plasti tal okoli korenin, ki jo imenujemo rizosfera. Zelo pomembni pri sprejemu kovin iz tal v korenine so koreninski lasi in stranske korenine, ki rastlinam omogočajo neposreden stik s substratom in močno povečajo sprejemno površino korenin (Adriano, 2001).

Pomemben je tudi vpliv same rastlinske vrste oziroma rastlinskega dela. Različne rastline se različno odzivajo na povečano koncentracijo kovin v tleh. Za prehrano ljudi so najbolj kritične korenovke in solatnice, slednje toliko bolj, ker imajo veliko listno površino in so močno izpostavljene onesnaževanju iz zraka. V preglednici 3 so vrtnine razdeljene v štiri skupine, glede na sprejem kovin iz tal. Upoštevana je koncentracija kovin v užitnih delih rastlin (Zupan in sod., 1996).

Preglednica 3: Sprejem kovin v različne kmetijske rastline (Zupan in sod., 1996).

VELIK SPREJEM	SREDNJI SPREJEM	MAJHEN SPREJEM	ZELO MAJHEN SPREJEM
solata	ohrovt	zelje	fižol
špinača	pesa	koruza	grah
artičoka	repa	brstični ohrovt	lubenice
endivija	redkvica	cvetača	paradižnik
kreša	ogrščica	zelena	paprika
repa zelenje	krompir	jagodičevje	sadje
korenje	čebula		

Na splošno rastline akumulirajo največ kovin v koreninah, manj v steblih in listih, običajno pa zelo malo v plodovih in semenu. Večina rastlinskih vrst omejuje sprejem kovin v nadzemne dele. Vzrok so razlike v zadrževanju v koreninah in razlike v mobilnosti po rastlini. Vsebnost kovin v listih je odvisna tudi od starosti listov. Vsebnost Cd je največja v mladih listih, medtem ko je vsebnost Zn največja v starih listih. Čeprav večinoma rastline enakomerno kopičijo Cd in Zn v tkiva, je spomladi privzem počasnejši od rasti rastline, v senescenci pa ne prihaja več do velikih sprememb v biomasi, pač pa narašča vsebnost kovin v rastlini (Seregin in Ivanov, 2001).

2.7 PREGLED SPREJEMA KOVIN V RAZLIČNE RASTLINSKE VRSTE

Ker se različne rastlinske vrste in tudi sorte različno odzivajo na povečano koncentracijo kovin v tleh so v preglednici prikazane vsebnosti kovin (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin glede na podatke iz literature.

Nekatere vrednosti o vsebnosti kovin v vrtninah so bile podane v suhi snovi, zato smo vrednosti preračunali na svežo snov. Podatke o vsebnosti vode v vrtninah, ki smo jih upoštevali pri enačbi smo povzeli po literaturi (Zheng in sod., 2007; National Nutrient ..., 2014).

$$C_{\text{vrtnina}} (\text{mg/kg sv. s.}) = \frac{C (\text{mg/kg s. s.}) * (100 \% - C_{\text{voda}} \%)}{100 \%} \quad \dots (1)$$

Kjer je :

C vsebnost kovine v vrtnini

C_{voda} vsebnost vode v vrtnini (%)

Preglednica 4: Vsebnost Cd (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin gojenih na različno onesnaženih tleh.

Cd	Stopnja onesnaženosti (mg/kg sv. s.)					
Vrtnina	0-1	1-2	2-4	4-8	8-12	VIR
FIŽOL (za zrnje)						
'Huabijia'		0.008	0.009			Yang in sod., 2010
'Chaojisiji'		0.003	0.005			Yang in sod., 2010
'Baifeng'		0.004	0.008			Yang in sod., 2010
'Xinlvlong'		0.009	0.011			Yang in sod., 2010
ČEBULA						
'Buffalo'	0.021			0,439		Alexander in sod., 2006
'Express'	0.024			0,388		Alexander in sod., 2006
'Keepwell'	0.012			0,365		Alexander in sod., 2006
'Shenshyu'	0.023			0,406		Alexander in sod., 2006
KITAJSKI KAPUS						
'New Beijing 3'		0.012	0.049	0,173		Liu in sod., 2010
'Saixin 5'		0.013	0,065	0,208		Liu in sod., 2010
'Lvxing 80'	0.009	0,019	0,079	0,375		Liu in sod., 2010
'Quansheng'	0,009	0,020	0,111	0,379		Liu in sod., 2010
'Tianlv 60'	0,012	0,022	0,114	0,474		Liu in sod., 2010
KORENČEK						
'Juhong 1'	0,173	0,411	0,758			Yang in sod., 2009
'Early Nantes'	0.005			0,196		Alexander in sod., 2006
'Ingot'	0.008			0,248		Alexander in sod., 2006
'Mokum'	0,005			0,230		Alexander in sod., 2006
'Nairobi'	0,006			0,131		Alexander in sod., 2006
KUMARE						
'Sijicuibai'		0.005	0.006			Yang in sod., 2010
'Helanmini'		0.007	0.008			Yang in sod., 2010
'Baiyesan'		0.007	0.008			Yang in sod., 2010
'Zhongnong 8'	0,003	0,022	0,028			Yang in sod., 2009
PARADIŽNIK						
'Jiafen'	0.035	0.052	0,081			Hu in sod., 2013
						Yang in sod., 2009
RDEČA PESA						
'Wodan F1'		0,233				Nabulo in sod., 2011
		0,117				Sekara in sod., 2005a
REDKVICA						
'Huaye'	0.038	0.164	0,20		0,21	Pal in sod., 2013
'Cherry red F1'	0.130	0.173				Yang in sod., 2009
						Li in sod., 2006
SOLATA						
'Mimosa'	0,045	0,111	0,199		0,343	Fontes in sod. ..., 2009
'Regina Verao'	0,108	0,208	0,603		0,944	Fontes in sod. ...,2009
'Tanya'	0,021	0,048	0,129		0,198	Sterrett in sod., 1996
'Lakeland'		0,073				Nabulo in sod., 2011
'Evola'		0,068				Nabulo in sod., 2011
'LittleGem'		0,063				Nabulo in sod., 2011
'Pinokkio'	0.013			0,458		Alexander in sod., 2006
'Lobjoits'	0.005			0,509		Alexander in sod., 2006
ZELJE						
'Kamienna Głowa'	0.007				0,374	Szczygłowska in
'Ditmarska'	0.008				0,538	Konieczka, 2013
'Krautman F1'		0,059				Sekara in sod., 2005a
'Drumhead'		0.030				Nabulo in sod., 2011
'Greyhound'		0.020				Nabulo in sod., 2011

Preglednica 5: Vsebnost Pb (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin gojenih na različno onesnaženih tleh.

Pb	Stopnja onesnaženosti (mg/kg sv. s.)					
VRTNINA	0 -100	100-200	200-400	400-600	600-800	VIR
ČEBULA						
'Buffalo'	0,184				0,707	Alexander in sod., 2006
'Expres'	0,133				0,953	Alexander in sod., 2006
'Keepwell'	0,123				0,711	Alexander in sod., 2006
'Toughball'	0,217				0,376	Alexander in sod., 2006
FIŽOL (za stročje)						
'Roma II'	0,087	0,011	0,742	0,599		Liu in sod., 2005
'Tara'	0,11		0,220	0,180	0,210	McBride, 2013
'Prince'	0,409					Sekara in sod., 2005a
'Sprite'	0,014				0,025	Alexander in sod., 2006
	0,014				0,035	Alexander in sod., 2006
GRAH						
'Douce P'	0,0109				0,0441	Alexander in sod., 2006
'Feltham'	0,0109				0,0269	Alexander in sod., 2006
'Meteor'	0,0215				0,0233	Alexander in sod., 2006
'Pilot'	0,0055				0,0178	Alexander in sod., 2006
KORENČEK						
'New Kuroda'		0,14	0,34			Ding in sod., 2013
'Three Red'		0,23	0,37			Ding in sod., 2013
'Korea Red'		0,29	0,38			Ding in sod., 2013
'Early Nantes'	0,018				0,681	Alexander in sod., 2006
'Ingot'	0,045				0,541	Alexander in sod., 2006
'Mokum'	0,031				0,780	Alexander in sod., 2006
'Royal Chantenay'	0,1	0,47	0,51	0,42	1,550	Mc Bride, 2013
KROMPIR						
'Zhengzhou No.6'	0,045	0,045	0,091			Dudka in sod., 1996
'Chongqing No.1'		0,030	0,040			Ding in sod., 2013
'Netherlands'		0,070	0,080			Ding in sod., 2013
		0,130	0,160			Ding in sod., 2013
PARADIŽNIK						
'Sub arctic Plenty'	0,020	0,194				Sangster in sod., 2012
	0,050	0,040	0,060	0,070	0,110	McBride, 2013
RDEČA PESA						
'Wodan F1'	0,303					Sekara in sod., 2005a
'Itapua 202'				13,43		Lima in sod., 2009
REDKVICA						
'Cherry Red'		0,080	0,130			Ding in sod., 2013
'Red pulp'		0,130	0,180			Ding in sod., 2013
'Green Fruit'		0,160	0,380			Ding in sod., 2013
SOLATA						
'Tanya'	0,124		0,254	0,296		Sterrett in sod.,1996
'Lakeland'	0,023					Nabulo in sod., 2011
'Evola'	0,025					Nabulo in sod., 2011
'LittleGem'	0,025					Nabulo in sod., 2011
'Pinokkio'	0,162				1,102	Alexander in sod., 2006
'Paris Island'	0,141				0,558	Alexander in sod., 2006
'Pinokkio'	0,062				1,037	Alexander in sod., 2006
'Simpson Elite'	0,040	0,110	0,110	0,20	0,750	McBride, 2013
ŠPINAČA						
'Bloomsdale'	0,054				0,153	Alexander in sod., 2006
'Grodane'	0,061				0,157	Alexander in sod., 2006
'Mediana'	0,045				0,176	Alexander in sod., 2006
'Spartacus'	0,067				0,166	Alexander in sod., 2006

Preglednica 6: Vsebnost Zn (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin gojenih na različno onesnaženih tleh.

Zn	Stopnja onesnaženosti (mg/kg sv. s)					VIR
	0 -200	200-400	400-600	600-800	800-1000	
VRTNINA						VIR
ČEBULA	2,01	10,91				Harmanescu in sod., 2011
'Buffalo'	2,59	5,50				Alexander in sod., 2006
'Express'	3,52	6,64				Alexander in sod., 2006
'Keepwell'	1,77	7,28				Alexander in sod., 2006
'Toughball'	2,81	8,54				Alexander in sod., 2006
FIŽOL						
(za stročje)	4,83	8,94		10,00	7,62	Liu in sod., 2005
'Tara'	4,11					Sekara in sod., 2005b
'Cropper'	4,64	4,99				Alexander in sod., 2006
'Teepee'	3,67	4,38				Alexander in sod., 2006
'Prince'	3,99	4,45				Alexander in sod., 2006
'Sprite'						
GRAH						
'Douce P'	3,33	4,91				Alexander in sod., 2006
'Feltham'	3,79	4,92				Alexander in sod., 2006
'Fortune'	3,78	5,59				Alexander in sod., 2006
'Meteor'	3,42	5,31				Alexander in sod., 2006
'Pilot'	4,33	6,12				Alexander in sod., 2006
KORENČEK						
'Amsterdam'	2,125	5,68				Alexander in sod., 2006
'Nantes'	2,054	4,59				Alexander in sod., 2006
'Ingot'	1,99	3,61				Alexander in sod., 2006
'Mokum'	2,122	5,84				Alexander in sod., 2006
KROMPIR	5,22		7,26		11,35	Dudka in sod., 1996
'Adora'	5,29	6,1				Musilova in sod., 2011
RDEČA PESA						
'Wodan F1'	4,05					Sekara in sod., 2005b
SOLATA	5,14	14,46				Harmanescu in sod., 2011
'Tanya'	1,31	1,90	9,02	5,43		Sterrett in sod., 1996
'Lakeland'		1,55				Nabulo in sod., 2011
'Evola'		1,96				Nabulo in sod., 2011
'Little Gem'		1,48				Nabulo in sod., 2011
'Buttercrunch'	0,81	2,84	3,63	5,23	7,28	Tambasco in sod., 1999
'Corsair'	2,87	9,01				Alexander in sod., 2006
'Pinokkio'	3,95	9,64				Alexander in sod., 2006
'Lobjoits'	3,26	9,15				Alexander in sod., 2006
'Paris Island'	3,23	7,98				Alexander in sod., 2006
ŠPINAČA						
'Bloomsdale'	21,70	29,38				Alexander in sod., 2006
'Grodane'	18,39	33,46				Alexander in sod., 2006
'Mediana'	22,56	30,20				Alexander in sod., 2006
'Spartacus'	24,20	31,83				Alexander in sod., 2006
ZELJE	8,51	16,3				Harmanescu in sod., 2011
'Kamienna'	5,75		9,62			Szczyglowska in
'Ditmarska'	4,97		14,35			Konieczka, 2013
'Krautman F1'	1,55					Sekara in sod., 2005b

V preglednici 4 so prikazane vsebnosti Cd (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin na različno onesnaženih tleh. Največjo vsebnost Cd ima vrtna solata, kjer so bile tudi največje razlike med sortami. Tudi Alexander in sod. (2006) poročajo, da kovine najbolj sprejemata vrtna solata in špinača in zato nista primerni za gojenje na bolj onesnaženih tleh s Cd, malo manj sprejemata čebula in korenje in najmanj grah in fižol. Na zelo onesnaženih tleh je imela zelo velik sprejem Cd sorta vrtna solate 'Regina Verao' (0,944 mg/kg) (Fontes in sod. ..., 2009), in bistveno manjši sprejem sorta 'Tanya' (0,198 mg/kg) (Sterrett in sod., 1996). Alexander in sod. (2006) so ugotovili razlike v sprejemu Cd le pri sortah korenčka, tudi Yang in sod., 2009 poročajo o zelo velikem sprejemu Cd pri korenčku sorte 'Juhong 1'. Prav tako so razlike v sprejemu Cd pri sortah kumar (Yang in sod., 2009; Yang in sod., 2010, Liu in sod. (2010), ki so preučevali sprejem Cd na različno onesnaženih tleh pri sortah kitajskega kapusa so ugotovili, da nekatere sorte niso primerne za gojenje na bolj onesnaženih tleh. Podatki iz literature kažejo, da na srednje onesnaženih tleh s Cd ni priporočljivo gojiti solatnic, kapusnic, korenovk in gomoljnic, je pa na takem območju varna pridelava plodovk in stročnic.

V preglednici 5 so prikazane vsebnosti Pb (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin na različno onesnaženih tleh. Mc Bride (2013) poroča, da vsebnost Pb v vrtninah v povprečju pada: korenček > vrtna solata > fižol > paradižnik. Največjo vsebnost Pb je imela sorta korenčka 'Royal Chantenay', vendar pa Alexander in sod. (2006) in Ding in sod. (2013) poročajo o bistveno manjših koncentracijah Pb pri korenčku. Lima in sod. (2009) poročajo o zelo veliki vsebnosti Pb v sorti rdeče pese 'Itapua 202'. Dokaj velike vrednosti so tudi med sortami čebule, kjer so izmerili največjo vrednost pri sorti 'Expres'. Ding in sod. (2013) poročajo o vsebnosti Pb v korenovkah in gomoljnicah. Največja vsebnost Pb je pri korenčku, malo manj pri redkvici in najmanj pri krompirju. Pri vseh treh vrtninah pa so ugotovili tudi razlike v sprejemu Pb glede na sorto. Čebula dobro sprejema Pb tudi pri majhnih koncentracijah v tleh. Večje vrednosti Pb so določili pri sortah čebule, kjer so bile tudi velike razlike med sortami (Alexander in sod., 2006). Pb je zelo slabo mobilen element in se večinoma zadržuje v koreninah, kar potrjujejo tudi podatki iz literature, večje koncentracije Pb so izmerili v korenovkah, gomoljnicah in čebulnicah. Dobro sprejemajo Pb tudi nekatere sorte solate in špinače. Na bolj onesnaženem območju je varna pridelava stročnic in plodovk.

V preglednici 6 so prikazane vsebnosti Zn (mg/kg sv. s.) v sortah vrtnin na različno onesnaženih tleh. Zn je nujno potreben za rast in razvoj rastlin, vendar pa je v prevelikih količinah toksičen za rastline. Zn zelo dobro sprejema špinača, kjer so imele sorte špinače zelo velike vrednosti od 29,38 do 33,46 mg/kg sv. s. že pri manjših koncentracijah Zn v tleh (200-400 mg/kg) (Alexander in sod., 2006). Zelo velika sortna variabilnost je pri vrtni solati, kjer so vrednosti od 1,48 do 14,46 mg/kg sv. s. (Nabulo in sod., 2011; Harmanescu in sod., 2011). Szczyglowska in Konieczka (2013) poročata o velikem odstopanju med dvema sortama zelja, 'Kamienna Glova' ima bistveno manjši sprejem Zn kot sorta 'Ditmarska'.

2.8 TOKSIČNOST KOVIN

Toksičnost težkih kovin na rastline se kaže v inaktivaciji encimov, blokiranju funkcionalnih skupin biološko pomembnih molekul in poškodbah biomembran in citoskeleta. To lahko vodi do slabšega sprejema mineralnih hranil in zmanjšane rasti ter pogosto tudi do nespecifičnih znamenj, kot so razbarvanja. Pri procesih dihanja in fotosinteze lahko težke kovine motijo elektronski transport. Rastline lahko prenašajo dokaj velike količine težkih kovin v tleh. Dosegljivost teh elementov za rastline je odvisna predvsem od kemijske oblike, v kateri je nek element prisoten (Leštan, 2002).

Poti vnosa kovin v človeka so lahko: preko hrane, ki je pridelana na onesnaženih tleh, vdihavanje delcev tal ali zaužitje kontaminirane zemlje. Čeprav so vse poti vnosa kovin v človeka pomembne, pa je verjetno najpogostejši vnos v človekov organizem preko rastlin (Alexander in sod., 2006).

2.9 BIOAKUMULACIJSKI FAKTOR

Eden od načinov za oceno mobilnosti kovine v rastlino je izračun bioakumulacijskega faktorja (BAF), ki odraža razmerje med celokupno vsebnostjo kovin v tleh in koncentracijo kovin v rastlini. Pri tem koeficient translokacije ne vključuje absorpcije atmosferskih depozitov kovin preko listov in temelji izključno na sprejemu kovin preko tal (Kachenko in Singh, 2006).

$$BAF = \frac{\text{Vsebnost kovin v rastlini (mg/kg suhe snovi)}}{\text{Vsebnost kovin v tleh (mg/kg suhe snovi)}} \quad \dots (2)$$

Večji kot je bioakumulacijski faktor, večja je mobilnost elementa oz. večji je sprejem kovine iz tal v rastlino. Najbolj mobilen element je Cd, malo manj Zn in najmanj Pb. Vrednosti BAF variirajo med različno onesnaženimi tlemi in rastlinskimi vrstami (Intawongse in Dean, 2006).

Glede na sposobnost akumulacije kovin, delimo rastline v tri skupine: akumulatorske vrste rastlin, ki privzemajo kovine v svoje nadzemne dele tudi do vrednosti, ki je bistveno večja od vrednosti kovin v tleh in je bioakumulatorski faktor večji od 1, indikatorske vrste rastlin, kjer je vsebnost kovin v rastlini odvisna od vsebnosti kovin v okolju in je vrednost bioakumulacijskega faktorja okoli 1, in izključevalske vrste rastlin, ki preprečijo vstop neesencialnih kovin v korenine ali njihove nadzemne dele in je bioakumulacijski faktor manjši od 1 (Baker 1981, cit. po Ivasuc in Rusu, 2011).

2.10 VRTNA SOLATA

2.10.1 Botanične lastnosti

Vrtna solata ali gojena ločika (*Lactuca sativa* L.) je enoletnica, ki po botanični razdelitvi spada v družino podružino radičevk (Chichoriaceae), družino nebinovk (Asteraceae), agronomsko (glede na užiten del) pa jo uvrščamo v skupino solatnic (Osvald in Kogoj-Osvald, 1999).

2.10.2 Morfološke lastnosti

Vrtno solato pridelujemo zaradi listov, ki se razvijejo na skrajšanem stebelu. Listi so lahko majhni, srednje veliki ali veliki, po oblikah so lahko ovalno okrogli, okrogli ali lopatičasti. Glava je pri posameznih sortah različno oblikovana. Po obliki je okrogla, ovalna, ploščata in narobe jajčasta. Plodiči - rožke, ki jih imamo običajno za seme se različno obarvani in sortno značilni. Lahko so bele, črne ali črno rjave barve (Osvald in Kogoj-Osvald, 2005).

Večina korenin je v zgornjih 30 cm tal. Glavna korenina je vretenasta, mesnata in razrasla. V vegetativni fazi je steblo skrajšano, v generativni fazi pa se hitro podaljšuje in doseže do 1,2 m višine. Na začetku vegetativne faze listi tvorijo rozeto (Lešić in sod., 2004).

2.10.3 Rastne razmere

2.10.3.1 Temperatura

Vrtna solata je toplotno manj zahtevna rastlina. Optimalne temperature za vegetativno fazo razvoja rozete in glave so od 12 °C do 20 °C. Za kalitev so minimalne temperature od 2 °C do 5 °C, optimalne od 15 °C do 20°C. Dobro ukoreninjene sadike lahko prenesejo nizke temperature do -5 °C. Vrtna solata, ki je blizu tehnološki zrelosti pa je občutljiva na nizke temperature (Lešić in sod., 2004).

Pri vzgoji sadik je treba po vzniku temperaturo zraka podnevi vzdrževati na okoli 15 °C in ponoči med 8 °C in 10 °C. Za pospešen razvoj rastlin, lahko temperaturo povišamo za 3 °C do 4 °C (Ugrinović, 2005).

2.10.3.2 Tla

Vrtna solata dobro uspeva v odcednih, dobro pognojenih tleh s pH 6,5. Za gojenje so primerna dobro strukturna tla z dobro sposobnostjo zadrževanja vlage. Na površju tal ne puščamo organskih ostankov, da zmanjšamo možnost širjenja glivičnih obolenj (Osvald in Kogoj-Osvald, 1999).

2.10.3.3 Vlaga

Za vrtno solato je pomembno, da ima ves čas dovolj vode, ker ima slabo razvit koreninski sistem. Optimalna vlažnost tal je med 75 in 80 % poljske kapacitete. V začetnih fazah razvoja je še posebej pomembno vzdrževanje zadostne vlažnosti v tleh, ker imajo rastline slabo razvit koreninski sistem, kasneje lahko prenesejo tudi nekaj manjšo vlažnost tal, ki

pa ne sme biti manjša od 60 % poljske kapacitete. Zelo občutljiva je na zastajanje vode, saj začnejo korenine hitro gniti (Ugrinović, 2005).

2.10.4 Načini pridelovanja

Vrtno solato pridelujemo vse leto v zavarovanem prostoru in na prostem. Tako jo lahko gojimo pomladi, poleti in jeseni na prostem, v toplotno manj ugodnem obdobju pa v zavarovanem prostoru. Za uspešno pridelavo in trženje je pomembno dobro poznavanje zahtev posameznih vrst in sort vrtno solate (Osvald in Kogoj-Osvald, 1999).

2.10.4.1 Gojenje sadik

Prednosti zasnove posevka preko sadik v primerjavi z neposredno setvijo so predvsem v manjši porabi semen, da posevek njivo zaseda krajši čas, da lahko sadimo na želeno razdaljo, da lahko uporabimo folijo in da je prehod v tehnološko zrelost bolj izenačen. Gojenje sadik traja od 3 do 6 tednov, odvisno od termina pridelave in temperatur (Ugrinović, 2000).

2.10.4.2 Gojenje na prostem

Za gojenje vrtno solate na prostem moramo ustrezno pripraviti zemljišče. Za zgodnjo pomladansko setev, zemljišče ustrezno pripravimo že jeseni, da lahko vrtno solato spomladi čim prej posejemo. Vrtno solato lahko sejemo direktno ali pa za sajenje uporabimo sadike. V času rasti vrtno solato dognojujemo, zalivamo in skrbimo za zaščito pred boleznimi in škodljivci. Poskrbeti moramo tudi za ustrezen kolobar (Bajec, 1994).

2.11 RDEČA PESA

2.11.1 Botanične lastnosti

Rdeča pesa (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) je dvoletna tujeprašna rastlina, ki spada v družino metlikovk (Chenopodiaceae), agronomsko pa jo uvrščamo v skupino korenovk (Osvald in Kogoj-Osvald, 2005).

2.11.2 Morfološke lastnosti

Rdeča pesa v prvem letu razvije koren in listno rozeto, v drugem letu pa cvetno steblo, ki se razvije zaradi nakopičenih rezervnih snovi v korenu. Čas od setve do tvorbe korena traja pri zgodnjih sortah 3 mesece, pri poznih pa 5 do 7 mesecev. Koreni so lahko različnih oblik, od okroglih do podolgovatih. Glavna korenina zraste lahko zelo globoko, tudi preko 1 m, večina korenin pa se razvije na globini do 40 cm. Koren raste navzven, tako da je najstarejši del korena v sredini, navzven pa nastajajo meristemski prstani s kolateralnimi žilami, ki jih na prerezu vidimo kot temnejše in svetlejše kolobarje. Listi nastajajo v zaprti spirali, v sredini so najmlajši, na zunaj pa so listi starejši, bolj ali manj intenzivno obarvani (Podgoršek, 2010).

Listi so podolgovati in ovalni, včasih oblikovani tudi trikotno. V tehnološki zrelosti postanejo listi temnozeleno do krvavo rdeče obarvani. Po obliki korenov ločimo okrogle, podolgovate, vretenaste in valjaste. Kolikšen del korena se razvije v zemlji ali nad ravnino tal, je sortna lastnost. Koren ima v mesu bolj ali manj izrazito poudarjene kolobarje. Barva korena je lahko od rumenkaste do rjavo rdeče (Osvald in Kogoj-Osvald, 2005).

2.11.3 Rastne razmere

Uspešno rast, predvsem pa zagotovitev kakovostnega pridelka dosežemo tako, da rdeča pesa zraste čim hitreje in brez vsakega zastoja. Pomanjkanje vlage, neprimerna temperatura ali motnje v rasti zaradi variabilnosti drugih dejavnikov bistveno vplivajo na količino pridelka, zlasti pa na kakovost, ki je zelo pomembna pri predelavi (Podgoršek, 2010).

2.11.3.1 Temperatura

Glede toplote je rdeča pesa v primerjavi z drugimi korenovkami zahtevnejša. Pri temperaturi pod 4 °C ostane seme dlje časa v tleh in ne vznikne. Šele ko so temperature večje od 6 °C, seme počasi kali. Vznikle rastline prenesejo nizke temperature, od – 3 °C do – 4 °C, vendar pa lahko začnejo (odvisno od sorte) poganjati cvetno steblo in cvetijo, ne da bi se predhodno tvorile koren. Zato rdeče pese ni priporočljivo sejati prezgodaj. Optimalna temperatura za vznik je 20 °C do 25 °C. Najugodnejša temperatura za razvoj rdeče pese je od 15 °C do 23 °C. Pri večjih temperaturah se razvije več listov, zmanjša se pridelek, koreni pa so slabše obarvani in imajo vidne svetlejše kolobarje. V jeseni prenese koren za krajši čas temperaturo od -1 °C do - 3 °C, pri manjših temperaturah pa pomrzne (Podgoršek, 2010).

2.11.3.2 Tla

Uspeva najbolje v globokih, srednje težkih, ilovnato peščenih tleh z večjo količino humusa. Ugaja ji slabo kislja reakcija pH 6 - 6,5. Za gojenje rdeče pese niso primerna kislja in težka tla, ker dobimo deformirane korene in korene slabše kakovosti. Zahteva optimalno oskrbo z vodo. Nepravilno namakanje lahko povzroča prehitro odganjanje v cvet (Osvald in Kogoj-Osvald, 2005).

2.11.3.3 Vlaga

V začetku rasti potrebuje rdeča pesa veliko vode, sicer neenakomerno ali sploh ne vzkali. Ker pa se korenine razvijejo precej globoko, so odrasle rastline v primerjavi z drugimi korenovkami manj občutljive na pomanjkanje vode (Podgoršek, 2010).

2.11.4 Načini pridelovanja

Rdečo peso običajno sejemo na prosto, v zgodnejših pomladanskih mesecih. Za doseganje večje zgodnosti pridelka se lahko odločamo za gojenje v zavarovanih prostorih, ogrevanih

ali delno ogrevanih. Eden izmed ukrepov za doseganje večje zgodnosti je tudi gojenje sadik. Za presajanje sadik rdeče pese je pomembno, da so sadike vzgojene z grudico ter da pri redčenju ter sajenju korenin ne poškodujemo (Osvald in Kogoj-Osvald, 2005).

2.11.4.1 Gojitev sadik

V zavarovanih prostorih, ogrevanih ali delno ogrevanih sejemo semena (plodiče) rdeče pese od februarja – marca v gojitvene plošče. Spomladi presajamo mlade sadike, ko dosežejo do 10 cm višine. Za presajanje sadik je pomembno, da so sadike vzgojene z grudico ter da pri sajenju in puljenju, ne poškodujemo korenin. Sadike vzgajamo tudi v primeru bolj poznih zasnov posevka na njivi ali v primerih sajenja sadik po spravi žit ali zgodnjega krompirja konec junija in v začetku julija (Škerbot, 2011).

2.11.4.2 Gojenje na prostem

Rdečo peso sejemo ročno ali s sejalicami. Ponavadi jo sejemo od začetka aprila do konca julija. Poraba semena je 3 – 10 kg/ha, odvisno od zelene gostote posevka. Globina setve je 2 – 4 cm. Sadična razdalja je odvisna od bujnosti sorte, načina in namena gojenja. Ponavadi jo posejemo na medvrstno razdaljo vsaj 30 cm in v vrsti na 10, 8 ali 5 cm narazen (Škerbot, 2011).

3 MATERIAL IN METODE

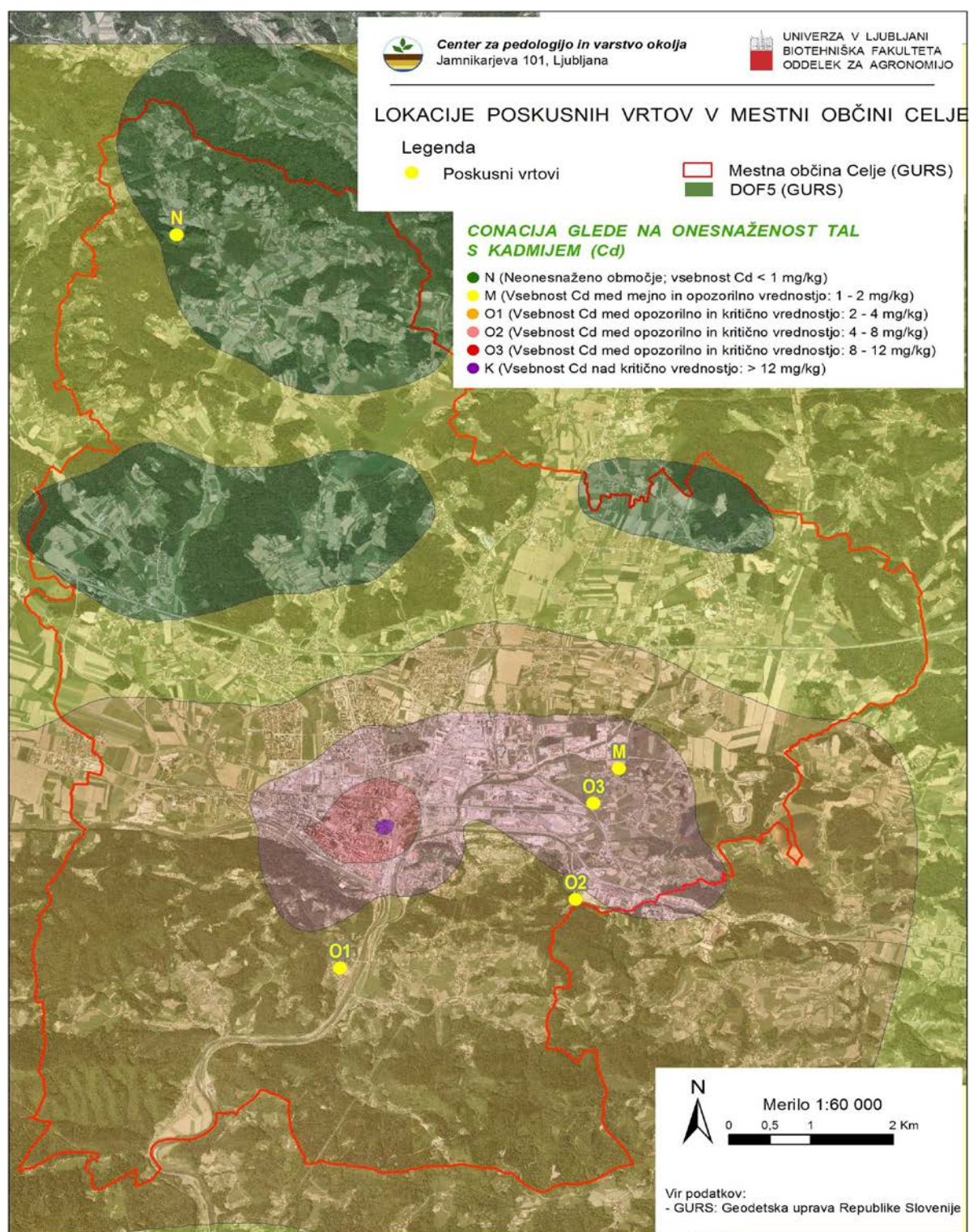
3.1 ZASNOVA POSKUSA

V mestni občini Celje smo na petih lokacijah zasnovali bločni poljski poskus v štirih ponovitvah. Lokacije smo izbrali glede na različno onesnaženost tal s Cd. V poskus smo vključili tri sorte vrtnih solate in dve sorti rdeče pese. Pri vrtni solati smo na vsebnost kovin analizirali samo nadzemni del. Pri rdeči pesi se lahko listi uporabljajo tudi v zelenjavnih sokovih, solatah in kot špinača, zato smo analize kovin opravili v korenih in listih.

V tehnološki zrelosti smo odvzeli vzorce užitnih delov rastlin ter po ustrezni pripravi (pranje, homogeniziranje, sušenje, mletje) opravili analizo na vsebnost suhe snovi in kovin (Cd, Pb in Zn). Opravili smo analize tal vseh štirih obravnavanj: pH, delež organske snovi, vsebnost N, P, K in vsebnosti kovin (Cd, Pb, Zn) po razklopu z zlatotopko. Analize smo opravili v laboratoriju Centra za pedologijo.

3.2 IZBOR LOKACIJ

V Mestni občini Celje smo izbrali 5 lokacij na različno onesnaženih tleh glede na predhodne analize in predlagane conacije: cona N - neonesnaženo, cona M – malo onesnaženo - koncentracija Cd med 1 in 2 mg/kg; cona O1 - koncentracija Cd med 2 in 4 mg/kg; cona O2 koncentracija Cd med 4 in 8 mg/kg; cona O3 - koncentracija Cd med 8 in 12 mg/kg.



Slika 1: Lokacije vzorčnih vrtov v Mestni občini Celje glede na conacijo onesnaženosti tal s Cd (Lokacije ..., 2012).

3.2.1 Lokacija N (Apotekar)

Domačija Apotekar se nahaja v kraju Pepelno. To je manjša kmetija, kjer smo za naš poskus uporabili zgornji del njive, ki ga sicer uporabljajo za pridelavo vrtnin.



Slika 2: Lokacija Apotekar v coni N (kart. podl. Google Maps ..., 2015).

3.2.2 Lokacija M (Žnidarec)

Spada v cono M – malo onesnaženo. Nahaja se v naselju Bukovžlak ob vzhodnem robu Celja. V našem poskusu smo uporabili del vrta.



Slika 3: Lokacija Žnidarec v coni M (kart. podl. Google Maps ..., 2015).

3.2.3 Lokacija O1 (Bajuk)

Nahaja se v Ulici heroja Bračiča v naselju Polule južno od mesta Celje. V naselju ni industrije, naselje je oddaljeno približno 1,5 km od mestnega jedra.



Slika 4: Lokacija Bajuk v coni O1 (kart. podl. Google Maps ..., 2015).

3.2.4 Lokacija O2 (Kvar)

Nahaja se na Teharski cesti na vzhodnem robu Mestne občine Celje. V bližini, preko reke Voglajne je industrijski kompleks Štore.



Slika 5: Lokacija Kvar v coni O2 (kart. podl. Google Maps ..., 2015).

3.2.5 Lokacija O3 (Cajhen)

Nahaja se v naselju Bukovžlak v KS Teharje. Ker lokacija O3 spada med bolj onesnažena območja so vrt opustili, zato smo za poskus uporabili zatravljeni del nekdanjega vrta. Površino za poskus smo na novo prelopatili in ustrezno pripravili za sajenje.



Slika 6: Lokacija Cajhen v coni O3 (kart. podl. Google Maps ..., 2015).

3.3 RASTLINE V POSKUSU

3.3.1 Sortiment

V poskus smo vključili tri sorte vrtné solate ('Estac', 'Joliac' in 'Noisette') in dve sorti rdeče pese ('Bettollo F1' in 'Rocket').

Sorta 'Estac' je krhkolistna solata, ki ima kompakten in gost habitus. Primerna je za spomladansko in jesensko pridelavo. Odporna je na solatni mozaični virus (Lettuce Mosaic Virus) in solatno uš (Katalog za profesionalne ..., 2012).

Sorta 'Joliac' ima rozetasto rast in poln habitus. Najprimernejša je za pozno spomladansko in zgodnje jesensko pridelavo. Odporna je na solatni mozaični virus (Catalogo lattuga, 2012).

'Noisette' je pokončno rastoča sorta iz skupine sort 'Batavia'. Primerna je za zgodnje spomladansko in pozno jesensko pridelavo. Ustrezajo ji nekoliko manjše temperature. Odporna je na rjavenje listnega roba in ne uhaja v cvet (Enza Zaden, 2002).

Sorta 'Bettollo F1' oblikuje okrogle srčaste korene ki so v prerezu temni in brez krogov. Dolžina rastne dobe je 117 dni. Odporna je na listno pegavost (Novosti semenarske hiše Bejo, 2013).

Sorta 'Rocket' oblikuje podolgovate oziroma cilindrične temno rdeče korene. Je odlične kvalitete in daje dober pridelek. Primerna je za predelavo, saj je primerna za rezanje na kolute (Škerbot, 2011).

3.3.2 Vzgoja sadik in oskrba poskusa

Sadike rastlin smo pripravili v Centru za proučevanje rasti in razvoja kmetijskih rastlin na Oddelku za agronomijo in s tem zagotovili enak izvorni material. Vrtno solato smo sejali 19. 04. 2012 v gojitvene plošče s 160 vdolbinicami. Na prosto smo jo presadili 28. in 29. 05. Poskus je potekal v štirih ponovitvah. V vsaki ponovitvi je bilo 8 do 12 sadik za vsako sorto. Pobiranje je potekalo 10. 07. Setev rdeče pese je bila 28. 06. 2012 v gojitvene plošče s 84 vdolbinicami. Na izbrane lokacije smo jo presadili 20. 07. V vsaki ponovitvi je bilo od 10 do 16 sadik za vsako sorto. Pobiranje rdeče pese je bilo 17.10. 2012.

3.4 VZORČENJE, PRIPRAVA VZORCEV IN ANALIZE

3.4.1 Priprava vzorcev tal

Pred izvedbo analiz smo obdelavo vzorcev tal izvedli v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Pred analitskimi postopki obdelava vzorcev tal zajema: homogenizacijo, sušenje pri 40°C, grobo mletje in sejanje skozi sita 5 in 2 mm in pripravo vzorcev za meritve. Opravili smo analize tal vseh štirih obravnavanj: pH, delež organske snovi, vsebnost N, P, K in vsebnosti kovin (Cd, Pb, Zn) po razklopu z zlatotopko.

3.4.2 Priprava vzorcev rastlin

V tehnološki zrelosti smo odvzeli vzorce užitnih delov rastlin ter po ustrezni pripravi (pranje, homogeniziranje, sušenje in mletje) opravili analizo na vsebnost suhe snovi in kovin (Cd, Pb in Zn). Na vsaki lokaciji smo iz vsake ponovitve naključno izbrali 3 do 5 rastlin in jih stehali. Vzorce vrtnin smo v laboratoriju dobro oprali s tekočo in destilirano vodo ter vzeli povprečni vzorec in posušili. Vzorce vrtnice smo posušili v sušilniku, vzorce rdeče pese pa smo razdelili na dva dela, tako da smo ločili liste in korene, oba vzorca smo posušili z metodo liofilizacije. Mletje vseh rastlinskih vzorcev smo opravili z mlinom Retsch ZM100.

3.4.3 Analitske metode

3.4.3.1 Meritev pH tal

Merili smo potencialno kislost, ki v talni raztopini zajame poleg vodikovih ionov tudi adsorptivno vezane vodikove in posledično aluminijeve ione, ki jih merimo v talni raztopini po izmenjavi. Za izmenjavo smo uporabili 0,01 M CaCl₂. Ekstrakcijo smo izvedli tako, da smo z merilno žlico odmerili 7,5 ml zračno suhega vzorca tal in dodali 37,5 ml ekstrakcijske raztopine. Dobro smo premešali suspenzijo in jo pustili stati preko noči. Naslednji dan smo izmerili pH vrednost z električnim pH metrom WTW, pH 538 (SIST ISO 10390, 2005).

3.4.3.2 Meritev organske snovi v tleh

Skupni organski ogljik v tleh smo izmerili po metodi Walkley - Black. Po metodi mokre oksidacije organski ogljik oksidira v žvepleno kislem okolju ob dodatku oksidacijskega sredstva (dikromata). Določamo porabo oksidacijskega sredstva, na osnovi katere nato izračunamo maso C (SIST ISO 14235, 1999).

3.4.3.3 Meritev vsebnosti skupnega dušika v tleh

Vsebnost skupnega dušika smo izmerili z elementarno analizo na aparatu ELEMENTAR CNS (Variomax) po postopku suhega sežiga. Zatehtali smo 0,3 g homogeniziranega vzorca tal v žarilno posodo. Na analitskem aparatu smo za vse vzorce v seriji vnesli zatehte in sprožili postopek avtomatske meritve. Meritev temelji na principu suhega sežiga pri temperaturi 900 °C in meritvi količine ogljika in dušika v plinasti fazi. Rezultat podajamo v utežnih % (SIST ISO 13878).

3.4.3.4 Meritev rastlinam dostopnega fosforja in kalija v tleh

Rastlinam dostopni fosfor in kalij smo ekstrahirali z amon laktatno – raztopino (ÖNROM L 1807, 1993). Fosfor smo določili spektrofotometrično (Perkin Elmer, Lambda 2), kalij pa s plamensko tehniko na atomskem absorpcijskem spektrofotometru (AA 240 FS, Varian).

3.4.3.5 Kationska izmenjalna kapaciteta tal

Kationska izmenjalna kapaciteta (T vrednost) je količina izmenljivih kationov na enoto tal. Določili smo jo kot seštevek bazično delujočih kationov (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+}) ekstrahiranih s $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ in izmenljive kislosti (H^{+}) tal po ekstrakciji z BaCl_2 in trietanolaminom (Soil survey manual, 1992). Meritev kovin v ekstraktih smo izvedli na instrumentu AA 240 FS, Varian in jih podali v $\text{mmol}_e/100\text{g}$ tal (S vrednost).

3.4.3.6 Kvantitativna analiza teksture tal (mehanska analiza)

S sedimentacijsko pipetno metodo prirejeno za ameriško teksturno klasifikacijo smo določili teksturo tal (ISO 11277, 1998; Soil survey laboratory methods manual, 1992). V plastenko smo natehtali 10 g tal, jih prelili s 25 ml Na-pirofosfata (0,4 mol/L) in 4 ure stresali na stresalniku. Suspenzijo smo prenesli na sito s premerom odprtín 0.2 mm in izločili delce grobega peska z mokrim sejanjem. V valj z volumnom 1000 ml smo prenesli suspenzijo, ki je šla skozi sito in dolili deionizirano vodo do oznake. Stresali smo valj 3 minute in ga postavili na podlago, da so se delci začeli usedati. Po 44 sekundah smo odpipetirali 10 ml suspenzije iz globine 10 cm in s tem zajeli delce, ki so manjši od 0.05 mm (grobi in fini melj, glina). Maso odpipetirane suspenzije smo določili po izparevanju na peščenih kopeli in sušenju pri 105°C. Ponovno smo stresali valj 3 minute in na enak način po 4 minutah in 27 sekundah določili delce, ki so manjši od 0.02 mm (fini melj in glina). Valj smo ponovno stresali 3 minute in na enak način po 7 urah in 35 minutah določili delce, ki so manjši od 0,002 mm (glina). Iz tako dobljenih podatkov izračunamo teksturne frakcije in določimo teksturni razred s pomočjo teksturnega trikotnika za ameriško teksturno klasifikacijo (ISO 11277, 1998; Soil survey laboratory methods manual, 1992).

3.4.3.7 Meritev vsebnosti Cd, Pb in Zn v tleh

Vsebnost kovin smo merili po kislinsem razklopu z zlatotopko (SIST ISO 11466, 1996) v zaprtem mikrovalovnem sistemu CEM (MARS Xpress). Zračno suhe talne vzorce smo najprej zmleli in potem presejali čez 160 μm sito. V posodo smo zatehtali 3 g suhega vzorca in dodali 7 mL HCl in 2 mL HNO₃. Posode smo zaprli in vzorce razkrojili v mikrovalovni pečici. Po končanem razkroju smo vzorce ohladili in razredčili na 25 mL. Meritev kovin (Cd, Pb in Zn) smo izvedli s plamensko tehniko atomske absorpcijske spektroskopije na aparatu AA 240 FS, Varian in podali rezultate v mg/kg zračno suhega vzorca (SIST ISO 11047, 1999).

Vrednosti za Cd in Pb so bile v nekaterih ponovitvah pod mejo detekcijo, zato smo pri računanju povprečja za take ponovitve upoštevali polovične vrednosti spodnje meje detekcije (LOD/2). Za Cd smo uporabili LOD < 0,80 mg/kg in za Pb < 0,50 mg/kg (Sand in Becker, 2012).

3.4.3.8 Meritev vsebnosti Cd, Pb in Zn v rastlinah

Vsebnost kovin smo merili po kislinsem razklopu (HNO₃) v zaprtem mikrovalovnem sistemu CEM (MARS Xpress). V posodo smo zatehtali 0,3 g suhega rastlinskega materiala in dodali 7 mL HNO₃. Posode smo zaprli in vzorce razkrojili v mikrovalovni pečici. Po končanem razkroju smo vzorce ohladili in razredčili na 25 mL. Vsebnost Cd, Pb in Zn smo merili s plamensko tehniko atomske absorpcijske spektroskopije na aparatu AA 240 FS, Varian in podali rezultate v mg/kg zračno suhega vzorca (SIST ISO 11047, 1999).

3.4.3.9 Bioakumulacijski faktor

Izračunali smo tudi bioakumulacijski faktor (BAF) za Cd, Pb in Zn tako, da smo povprečno koncentracijo elementa v listih vrtna solate in v korenih in listih rdeče pese delili s povprečno koncentracijo elementa v tleh.

3.4.3.10 Statistična analiza

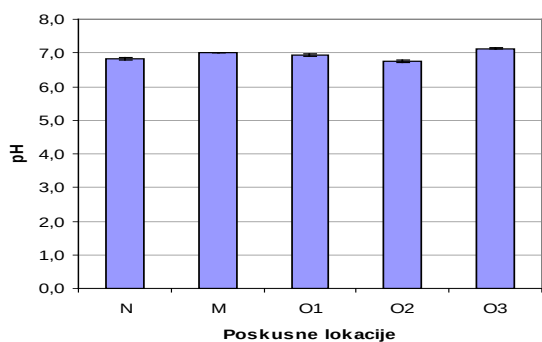
V programu MS Excel smo obdelali podatke. Nato smo podatke statistično obdelali z analizo variance (ANOVA) s programom R 3.0.1. S testom mnogoterih primerjav (Duncan test) smo analizirali vpliv lokacije in sorte ali njune interakcije na vsebnost kovin. Razlike smo ugotavljali pri tveganju $p \leq 0,05$.

4 REZULTATI

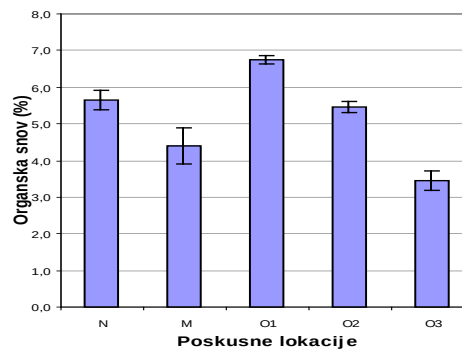
4.1 ANALIZE TAL

4.1.1 Lastnosti tal

Na izbranih lokacijah smo izmerili potencialno (CaCl_2) pH vrednost. Vsi talni vzorci so v nevtralnem pH območju. Največjo povprečno pH vrednost (slika 7) smo izmerili na lokaciji O3 (7,13), najmanjšo vrednost pa na lokaciji O2 (6,75). Graf na sliki 8 prikazuje povprečno vsebnost organske snovi v tleh. Največjo povprečno vsebnost organske snovi smo izmerili na lokaciji O1 6,8 %, najmanjšo vrednost pa smo izmerili na lokaciji O3 3,5 %.

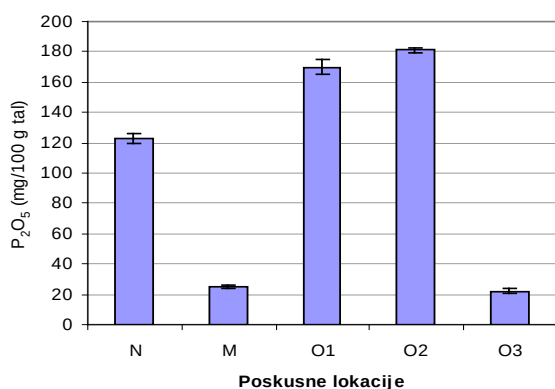


Slika 7: Povprečna pH vrednost $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah

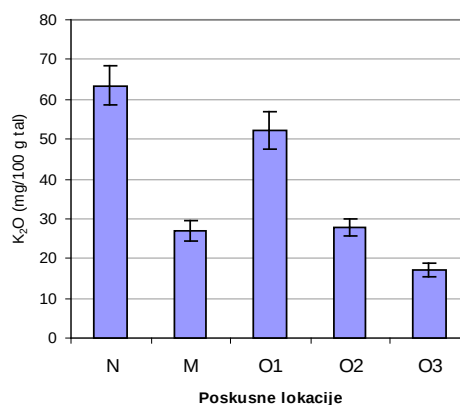


Slika 8: Povprečne vrednosti organske snovi (%) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah

Ekstremno založenost tal s fosforjem imajo lokacije O2 (181,0 mg P_2O_5 /100 g), O1 (170,1 g P_2O_5 /100 g) in lokacija N (123,0 mg P_2O_5 /100 g). Ekstremno založenost tal s kalijem imata lokaciji N (63,5 mg K_2O /100 g) in O1 (52,2 mg K_2O /100 g).

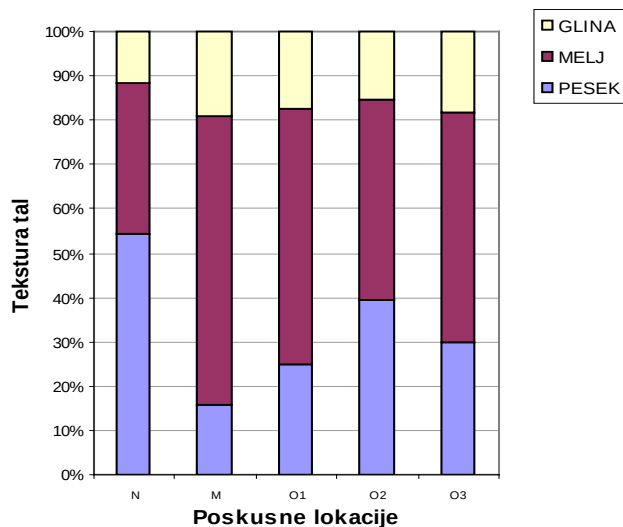


Slika 9: Povprečne vrednosti fosforja (P_2O_5 mg/100 g tal) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.



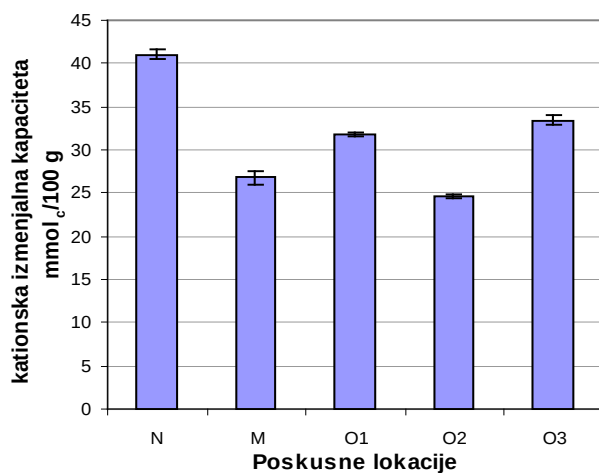
Slika 10: Povprečne vrednosti kalija (K_2O mg/100 g tal) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.

Tla na lokacijah M, O1 in O3 spadajo v teksturni razred MI (meljasta ilovica). Tla na lokaciji N spadajo v teksturni razred PI (peščena ilovica). In tla na lokaciji O2 v teksturni razred I (ilovica).



Slika 11: Tekstura tal na izbranih lokacijah.

Na sliki 12 so prikazane povprečne vrednosti kationske izmenjalne kapacitete tal (T vrednost). Na vseh izbranih lokacijah so povprečne vrednosti v običajnem območju med 20 in 40 $\text{mmol}_c/100 \text{ g}$ tal.

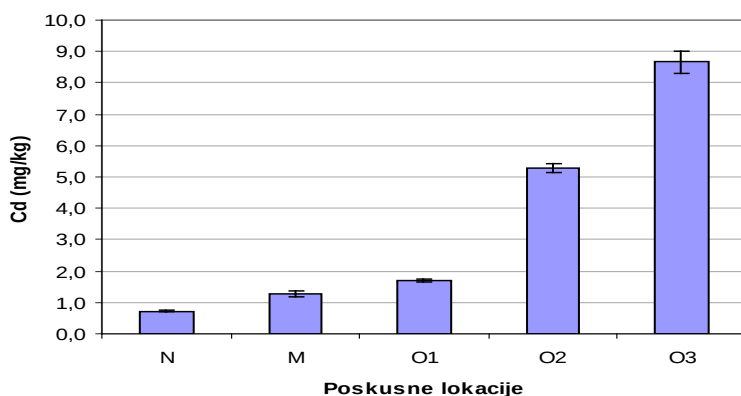


Slika 12: Povprečne vrednosti kationske izmenjalne kapacitete ($\text{mmol}_c/100 \text{ g}$ tal) $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.

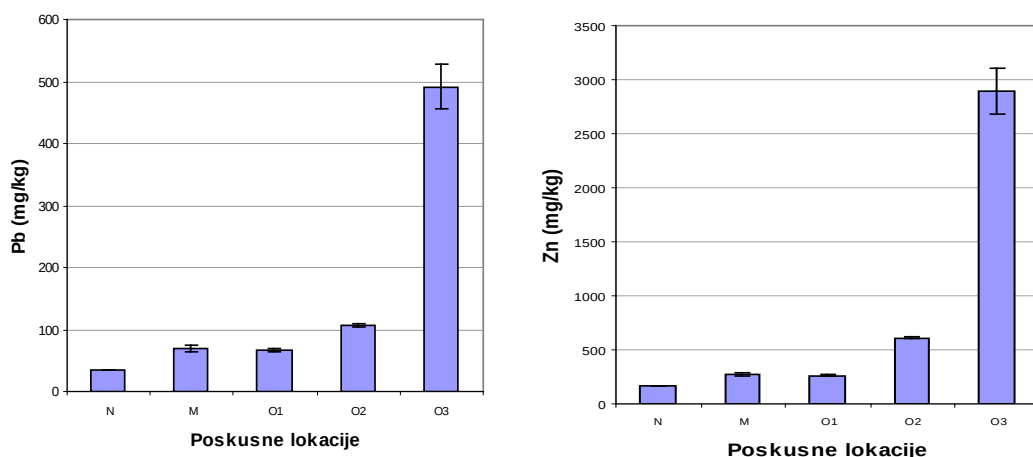
4.1.2 Vsebnost kovin v tleh

Poskusne lokacije se razlikujejo glede na vsebnost Cd, Pb in Zn v tleh (slike 13, 14 in 15). Poskus smo zasnovali tako, da smo izbrali vrtove z različno onesnaženostjo s Cd: neonesnaženo (N), malo onesnaženo (M) in onesnaženost nad opozorilno vrednostjo (O1, O2 in O3).

Na lokaciji N je bila povprečna vsebnost Cd 0,73 mg/kg, na lokaciji M je bila povprečna vsebnost 1,28 mg/kg, na lokaciji O1 1,71 mg/kg, na lokaciji O2 5,29 mg/kg in na lokaciji O3 8,66 mg/kg. Lokacije N, M in O1 imajo povprečne vsebnosti Pb v tleh pod mejno vrednostjo, ki je 85 Pb mg/kg. Opozorilna vrednost, ki je 100 mg/kg je bila presežena na lokaciji O2 (107 mg/kg) in na lokaciji O3 (491,9 mg/kg). Mejna vrednost za Zn je 200 mg/kg tal in je bila presežena na lokaciji M (275 mg/kg) in lokaciji O1 (263 mg/kg). Opozorilna vrednost, ki je 300 mg/kg je bila presežena na lokaciji O2 (608 mg/kg Zn). Kritična vrednost, ki je 720 mg/kg je bila presežena na lokaciji O3 (2892 mg/kg).



Slika 13: Povprečne vrednosti Cd (mg/kg) v tleh $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.



Slika 14: Povprečne vsebnosti Pb (mg/kg) v tleh $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.

Slika 15: Povprečne vrednosti Zn (mg/kg) v tleh $\pm$ standardna napaka na poskusnih lokacijah.

4.2 VSEBNOST KOVIN V SADIKAH

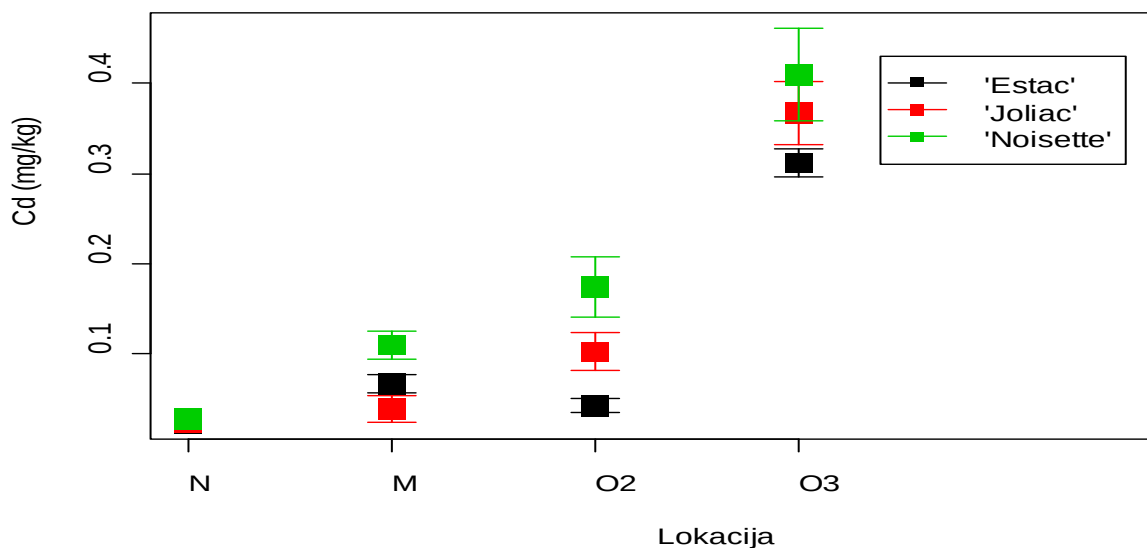
V preglednici 7 so prikazane povprečne vsebnosti kovin v sadikah, ki smo jih uporabili za presajanje na izbrane lokacije v Mestni občini Celje.

Preglednica 7: Povprečne vsebnosti kovin v sadikah (mg/kg sv. s.).

	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
VRTNA SOLATA			
'Estac'	0,028	0,173	4,01
'Joliac'	0,027	0,170	4,42
'Noisette'	0,028	0,178	5,48
RDEČA PESA			
'Bettollo F1'	0,081	0,188	6,00
'Rocket'	0,085	0,193	6,22

4.3 VSEBNOST KOVIN V VRTNI SOLATI

Na povprečno vsebnost Cd je statistično vplivala tako sorta, kot lokacija, interakcija med sorto in lokacijo ni značilna. Zelo odstopata lokacija N, kjer so imele rastline sort vrtna solate povprečno najmanjšo vsebnost Cd in lokacija O3, kjer so imele rastline sort vrtna solate največjo vsebnost Cd. Med lokacijama O2 in M ni statistično značilnih razlik. Sorta 'Noisette' je imela povprečno največjo vsebnost Cd in se statistično značilno razlikuje od ostalih dveh sort.



Slika 16: Povprečne vsebnosti Cd (mg/kg sv.s.) ± standardna napaka v rastlinah različnih sort vrtna solate na poskusnih lokacijah.

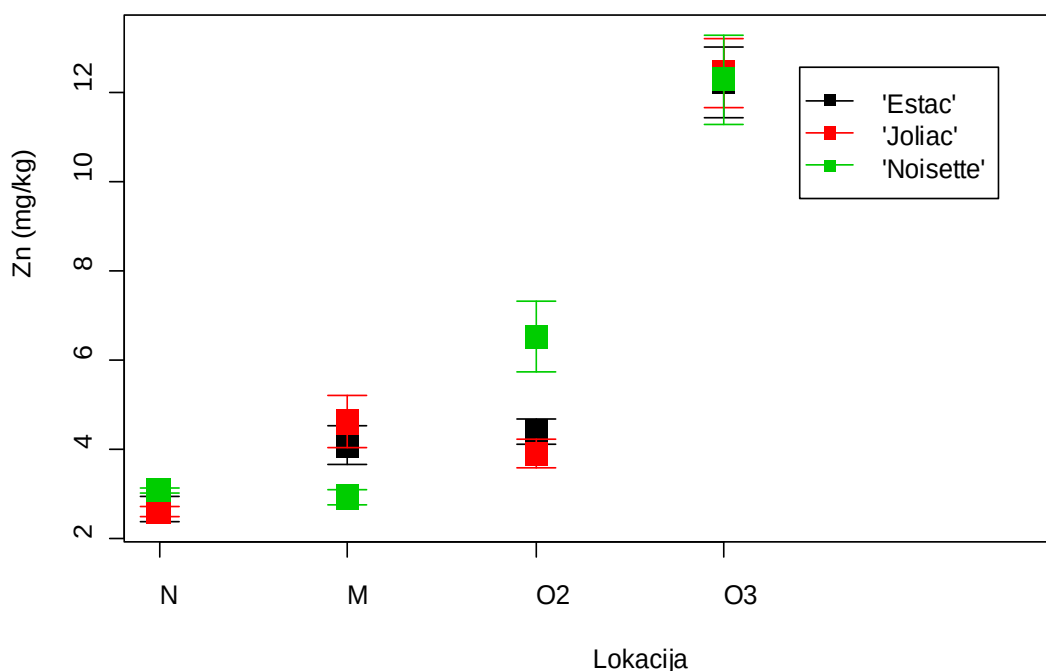
Mejna vrednost za Cd v vrtni solati je 0,2 mg/kg sv. s. Vsebnost Cd v rastlinah različnih sort vrtna solate je bila presežena samo na najbolj onesnaženem območju (O3), in sicer pri

sorti 'Estac' je bila povprečna vsebnost 0,31 mg/kg, pri sorti 'Joliac' je bila povprečna vsebnost 0,37 mg/kg in pri sorti 'Noisette' 0,41 mg/kg sv. s.

Povprečna vsebnost Pb je bila v vseh vzorcih vrtné solate pod 5 mg/kg. Rezultati meritev so v prilogi B.

Statistična analiza je pokazala, da je na povprečno vsebnost Zn v sadikah statistično značilno vplivala interakcija med lokacijo in sorto. Duncanov preizkus mnogoterih primerjav je pokazal, da je povprečna vsebnost Zn na lokaciji O3 statistično značilno večja od vseh ostalih lokacij. Med sortami na tej lokaciji ni statistično značilnih razlik. Prav tako ni statistično značilnih razlik v povprečni vsebnosti Zn v sadikah med sortami na lokaciji N. Na lokaciji O2 imajo rastline sorte 'Noisette' statistično značilno večjo povprečno vsebnost Zn od rastlin ostalih dveh sort, med katerima ni razlik. Na lokaciji M, pa je povprečje vsebnosti Zn različno samo med sortama 'Joliac' in 'Noisette'.

Največja vsebnost Zn je bila na lokaciji O3, in sicer pri sorti 'Joliac' (12,44 mg/kg sv.s.) pri sorti 'Noisette' (12,30 mg/kg sv.s.) in pri sorti 'Estac' (12,24 mg/kg sv.s.)

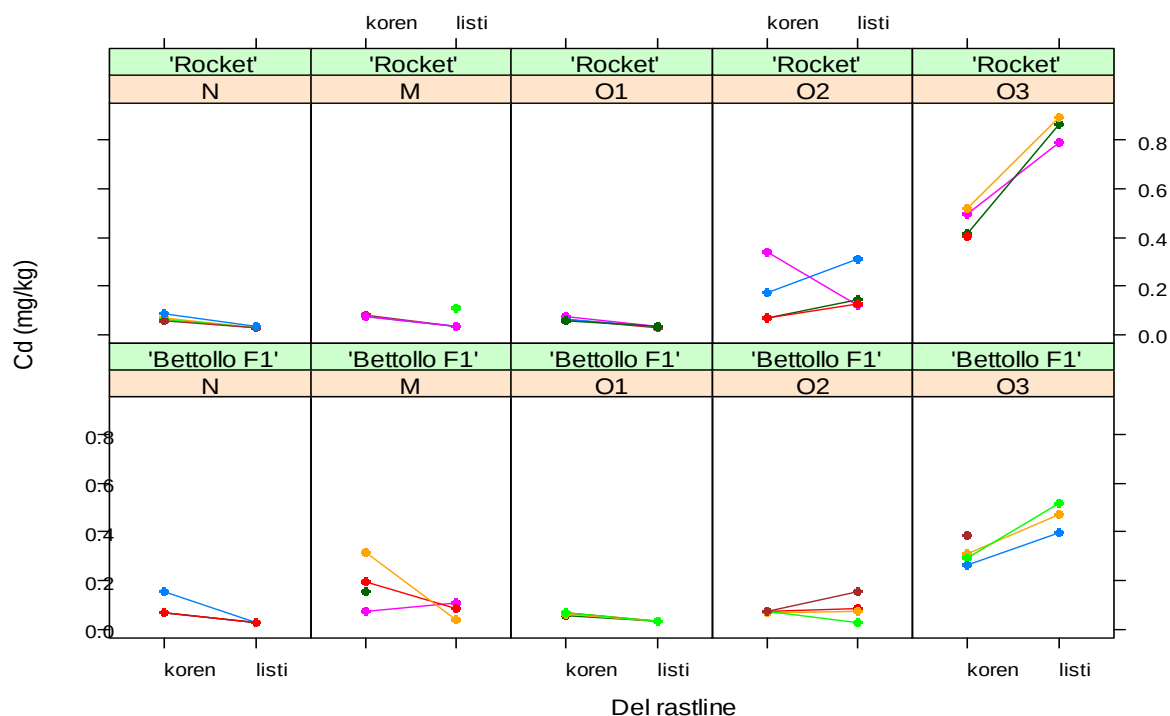


Slika 17: Povprečne vsebnosti Zn (mg/kg sv. s) $\pm$ standardna napaka v rastlinah različnih sort vrtné solate na poskusnih lokacijah.

4.4 VSEBNOST KOVIN V RDEČI PESI

Statistična analiza je pokazala, da interakcija medsebojnih vplivov med lokacijo, sorto in delom rastline ni statistično značilna, prav tako ni statistično značilna interakcija med sorto in lokacijo. Statistično značilna pa je interakcija med lokacijo in delom rastline. Povprečno največja vsebnost Cd je na lokaciji O3, ki statistično odstopa od ostalih lokacij. Na tej lokaciji so statistično značilne razlike med vsebnostjo Cd v listih in korenih rdeče pese. Na ostalih lokacijah ni statistično značilnih razlik v povprečni vsebnosti Cd v korenih in listih.

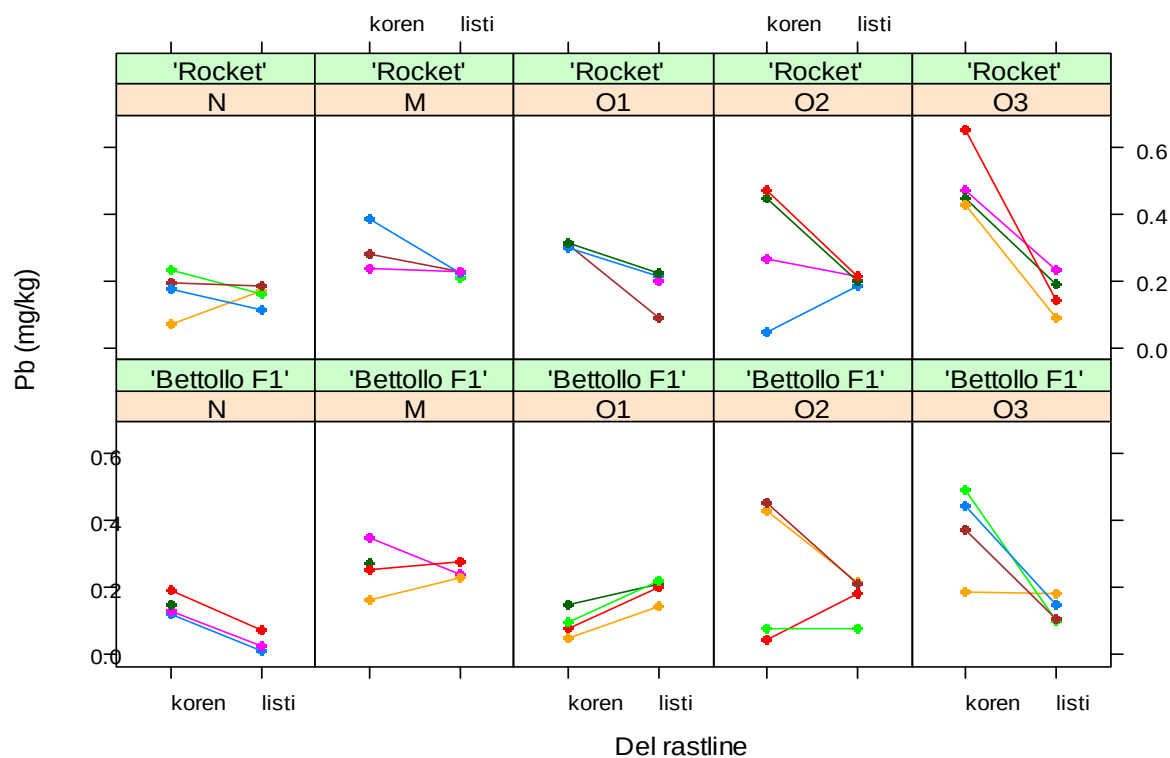
Mejna vrednost za Cd v korenovkah je 0,1 mg/kg sv. s. Za zelene dele rdeče pese pa smo uporabili mejno vrednost za listnato zelenjavo, ki je 0,2 mg/kg sv. s. Mejne vrednosti so bile presežene v 6 od 20 vzorcev. Največjo vsebnost Cd smo izmerili v listih rdeče pese na lokaciji O3, in sicer pri sorti 'Rocket' 0,85 mg/kg in pri sorti 'Bettollo F1' 0,46 mg/kg. Povprečna vsebnost Cd v korenih je bila pri sorti 'Rocket' 0,46 mg/kg in pri sorti 'Bettollo F1' 0,31 mg/kg. Mejne vrednosti Cd so bile presežene tudi v korenih sorte 'Rocket' na lokacijah M in O2.



Slika 18: Povprečne vsebnosti Cd (mg/kg sv.s.) v korenih in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.

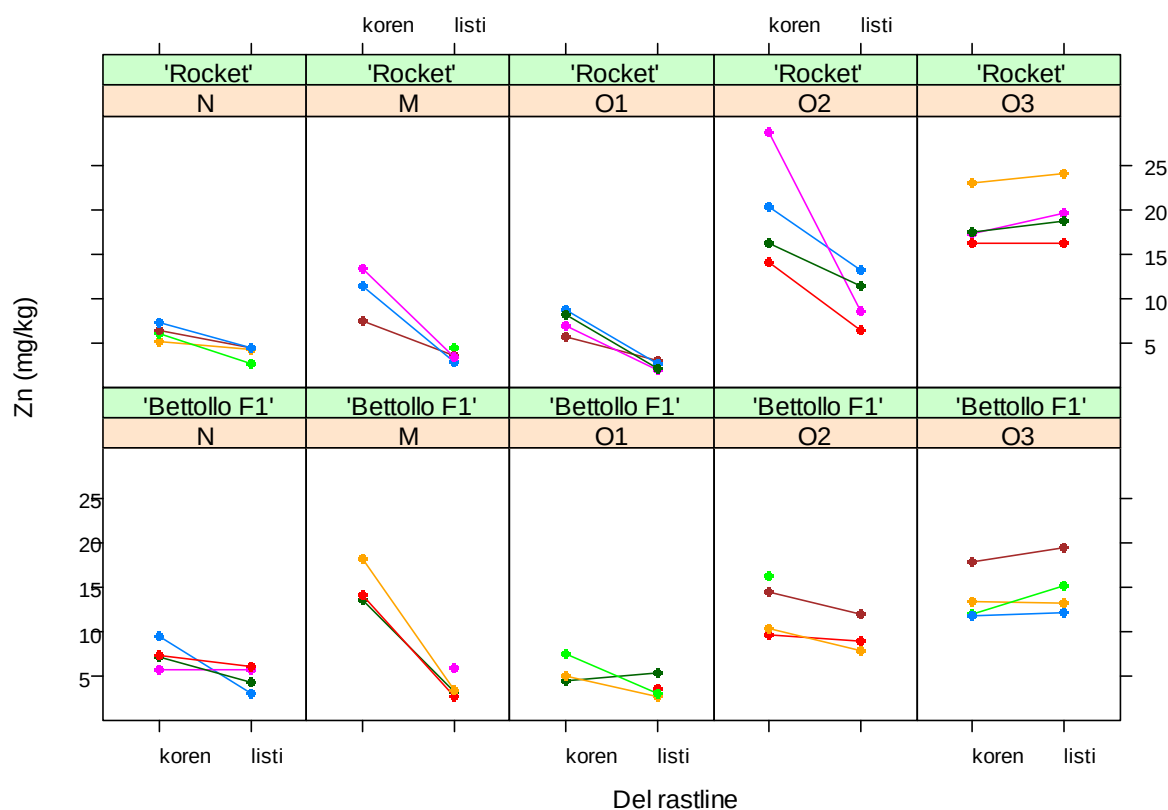
Statistična analiza vsebnosti Pb je pokazala, da interakcija medsebojnih vplivov med lokacijo, sorto in delom rastline ni statistično značilna, prav tako ni statistično značilna interakcija med sorto in delom rastline. Statistično značilna pa je interakcija med lokacijo in delom rastline. Največja povprečna vsebnost Pb je v korenih na lokaciji O3 in se statistično značilno razlikuje od ostalih povprečij. Na lokacijah M in O2 ni statistično značilnih razlik med povprečno vsebnostjo Pb v korenih.

Mejna vrednost za Pb v korenih rdeče pese je 0,1 mg/kg sv. s. Za zelene dele rdeče pese pa smo uporabili mejno vrednost za listnato zelenjavo, ki je 0,3 mg/kg sv. s. Mejne vrednosti so bile presežene pri 10 vzorcih. Največjo vsebnost smo izmerili v korenih rdeče pese na lokaciji O3, in sicer pri sorti 'Rocket' 0,50 mg/kg in pri sorti 'Bettollo F1' 0,54 mg/kg.



Slika 19: Povprečne vsebnosti Pb (mg/kg sv. s.) v korenih in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.

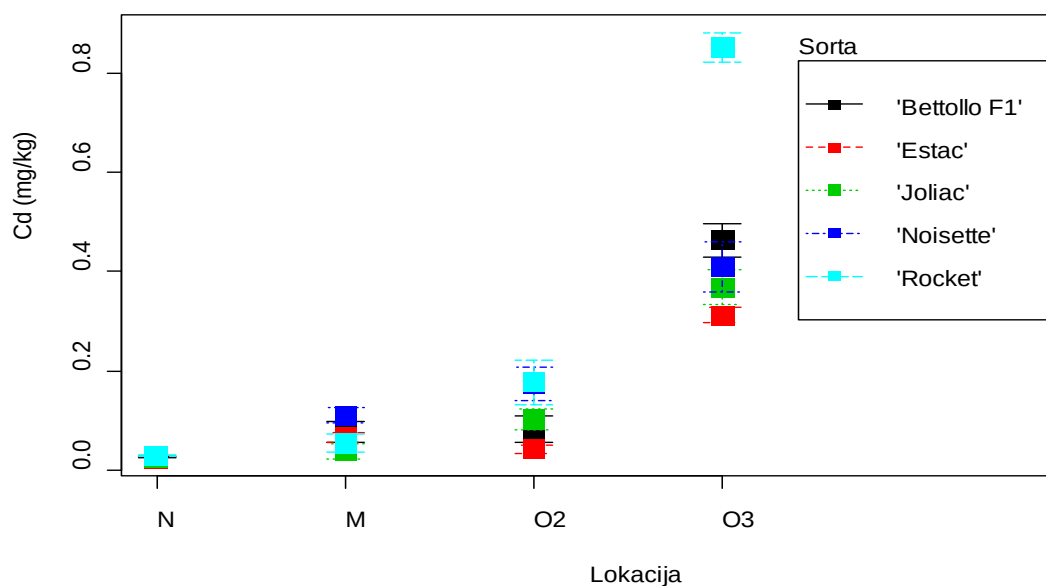
Na povprečno vsebnost Zn v listih in korenih rdeče pese statistično značilno vpliva medsebojna interakcija med lokacijo, sorto in delom rastline. Povprečna vsebnost Zn je pri sorti 'Rocket' v listih (24,41 mg/kg sv. s.) in v korenih (23,53 mg/kg sv. s.) na lokaciji O3 in v korenih (27,84 mg/kg sv. s.) na lokaciji O2 statistično značilno večja od ostalih obravnavanj. Pri sorti 'Bettollo F1' v korenih in listih na lokaciji O3 in v korenih na lokaciji M in O2 ni statistično značilnih razlik. Na lokaciji N so statistično značilne razlike pri sorti 'Bettollo F1' v korenu in sorti 'Rocket' v listih. Najmanjša povprečna vsebnost Zn je na lokaciji O1 v listih sorte 'Rocket' in se značilno razlikuje od vsebnosti v korenu iste sorte.



Slika 20: Povprečne vsebnosti Zn (mg/kg sv. s.) v korenih in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.

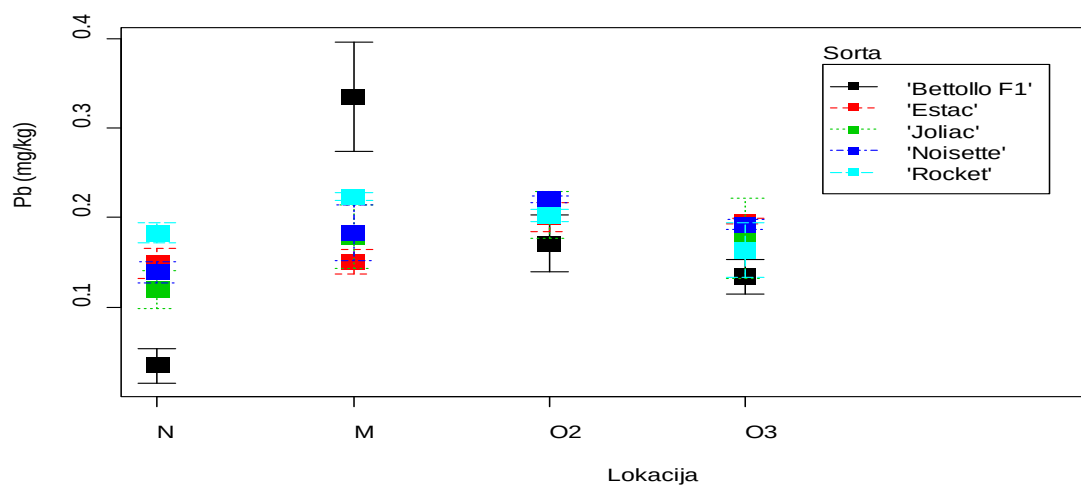
4.5 PRIMERJAVA KOVIN V LISTIH VRTNE SOLATE IN LISTIH RDEČE PESE

Statistična analiza je pokazala, da na povprečno vsebnost Cd (mg/kg sv.s) v listih vrtne solate in rdeče pese vpliva interakcija med lokacijo in sorto. Povprečno največja vsebnost Cd je pri sorti 'Rocket' na lokaciji O3 in se statistično značilno razlikuje od ostalih vrednosti na isti lokaciji. Na lokaciji O3 ni statističnih razlik med sortama 'Bettollo F1' in 'Noisette', in med sortama 'Joliac' in 'Estac'. Na lokaciji M ni statistično značilnih razlik med sortami solate in rdeče pese, na lokaciji O2 pa ni razlik med sortami vrtne solate 'Joliac', in 'Estac' ter rdečo peso 'Bettollo F1'. Prav tako ni statistično značilnih razlik med sortami na lokaciji N, kjer je najmanjša povprečna vsebnost Cd v listih.



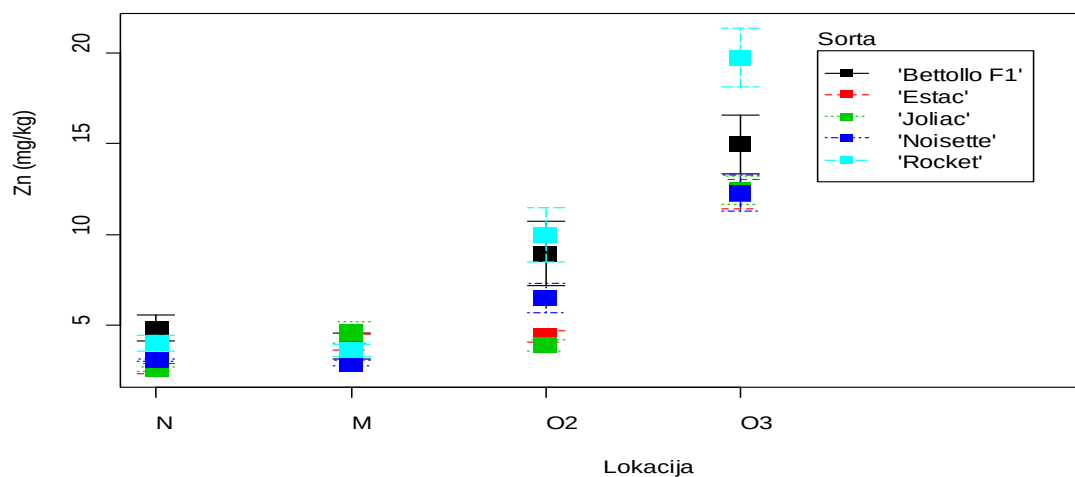
Slika 21: Povprečne vsebnosti Cd (mg/kg sv. s.) $\pm$ standardna napaka v listih vrtne solate in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.

Na povprečno vsebnost Pb v listih vrtne solate in listih rdeče pese statistično značilno vpliva interakcija med lokacijo in sorto. Statistično značilno odstopa sorta 'Bettollo F1' na lokaciji M s povprečno največjo vsebnostjo Pb v listih. Na ostalih lokacijah ni statistično značilnih razlik med sortami solate in rdeče pese, izjema je sorta 'Bettollo F1' na lokaciji N, ki statistično značilno odstopa od ostalih vrednostih z najmanjšo vsebnostjo Pb.



Slika 22: Povprečne vsebnosti Pb (mg/kg sv. s.) $\pm$ standardna napaka v listih vrtna solate in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.

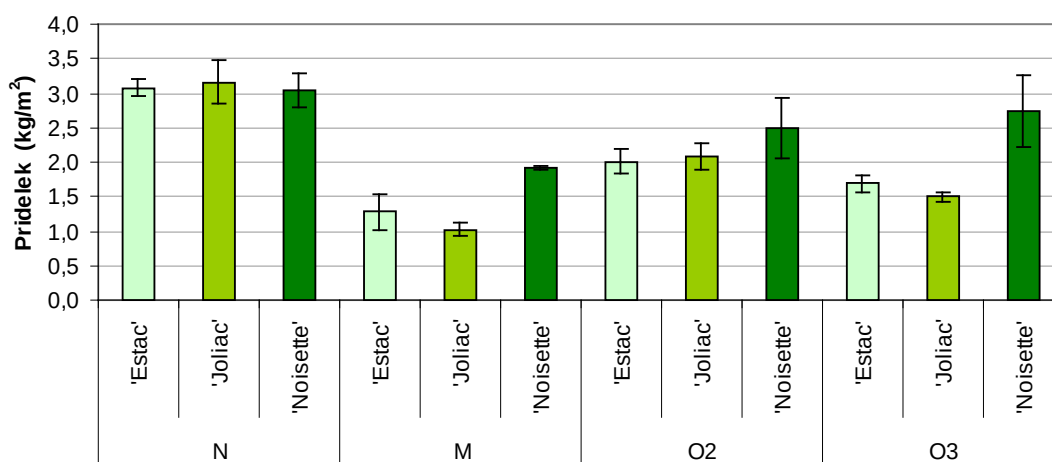
Na povprečno vsebnost Zn statistično značilno vpliva interakcija med lokacijo in sorto. Največjo povprečno vsebnost Zn imajo sorte na lokaciji O3, ki se statistično značilno razlikuje od ostalih lokacij. Statistično značilno se razlikuje tudi lokacija O2. Med lokacijam N in M ni statistično značilnih razlik. Med sortama rdeče pese ni statistično značilnih razlik, prav tako ni statistično značilnih razlik med sortami vrtna solate. Se pa sorti rdeče pese statistično značilno razlikujeta od sort vrtna solate.



Slika 23: Povprečne vsebnosti Zn (mg/kg sv. s.) $\pm$ standardna napaka v listih vrtna solate in listih rdeče pese na poskusnih lokacijah.

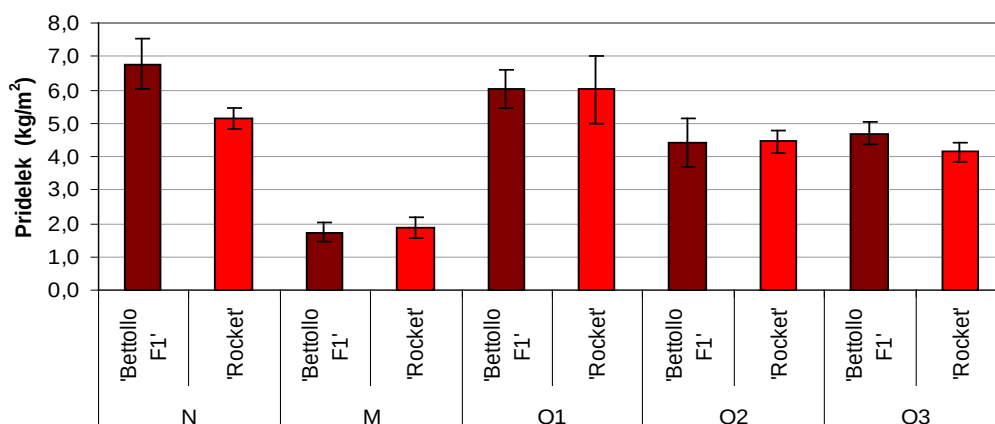
4.6 PRIDELEK

Statistična analiza je pokazala, da na povprečni pridelek vplivata lokacija in sorta, medsebojna interakcija pa ni statistično značilna. Povprečno največji pridelek so imele sorte vrtna solate na lokaciji N ('Joliac' 3,2 kg/m², 'Estac' 3,08 kg/m² in 'Noisette' 3,05 kg/m²), ki statistično značilno odstopa od ostalih lokacij. Med lokacijama O2 in O3 ni statistično značilnih razlik v pridelku. Povprečno najmanjši pridelek so imele sorte na lokaciji M. Sorta 'Noisette' ima povprečno največji pridelek in statistično značilno odstopa od ostalih dveh sort.



Slika 24: Povprečni pridelek (kg/m²) ± standardna napaka vrtna solate na poskusnih lokacijah.

Na pridelek rdeče pese statistično značilno vpliva lokacija, sorta pa ne. Statistično značilno odstopajo sorte rdeče pese na lokaciji M, ki so imele povprečno najmanjši pridelek ('Rocket' 1,9 kg/m² in 'Bettollo F1' 1,7 kg/m²). Med ostalimi lokacijami ni statistično značilnih razlik.

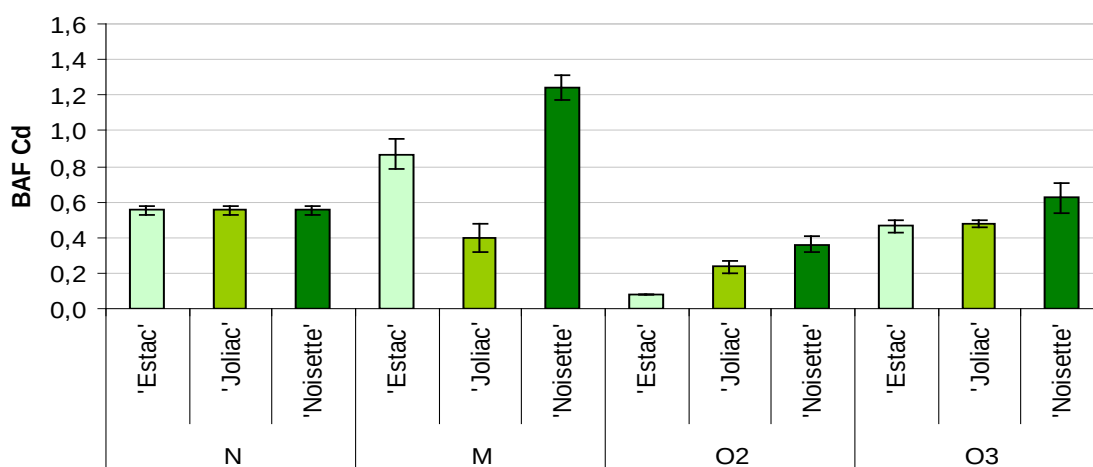


Slika 25: Povprečni pridelek (kg/m²) ± standardna napaka rdeče pese na poskusnih lokacijah.

4.7 BIOAKUMULACIJSKI FAKTOR

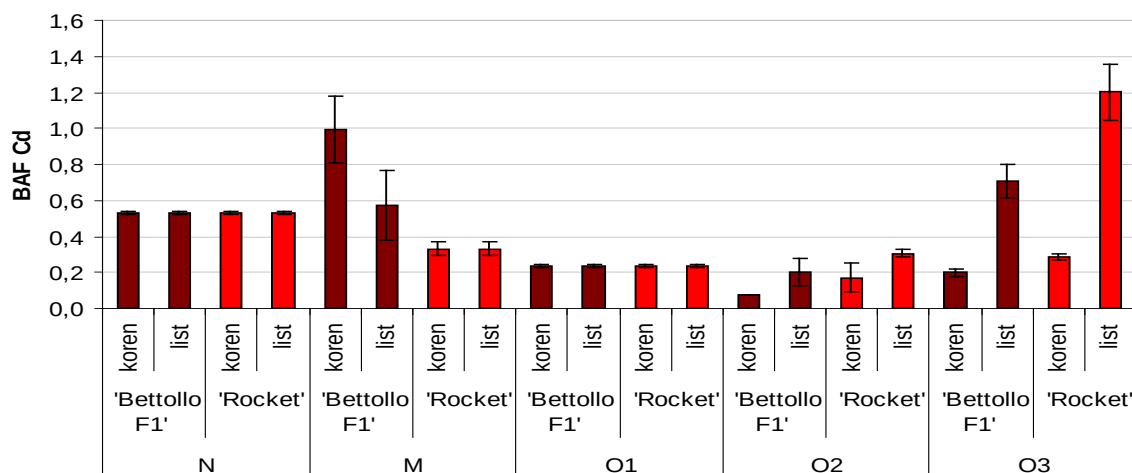
4.7.1 Bioakumulacijski faktor za Cd

Statistična analiza je pokazala, da na povprečni bioakumulacijski faktor vplivata tako lokacija kot sorta. Medsebojna interakcija je statistično značilna. Največji povprečni bioakumulacijski faktor (BAF) ima sorta 'Noisette' na lokaciji M (1,24), ki statistično značilno odstopa od ostalih BAF, na tej lokaciji statistično značilno odstopa tudi sorta 'Estac' (0,86). Med vsemi tremi sortami na lokaciji N in sorto 'Noisette' na lokaciji O3 ni statistično značilnih razlik. Prav tako ni statistično značilnih razlik med sortami 'Joliac' na lokaciji M in O3, sorto 'Estac' na lokaciji O3 in sorto 'Noisette' na lokaciji O2.



Slika 26: Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Cd $\pm$ standardna napaka pri vrtni solati na poskusnih lokacijah.

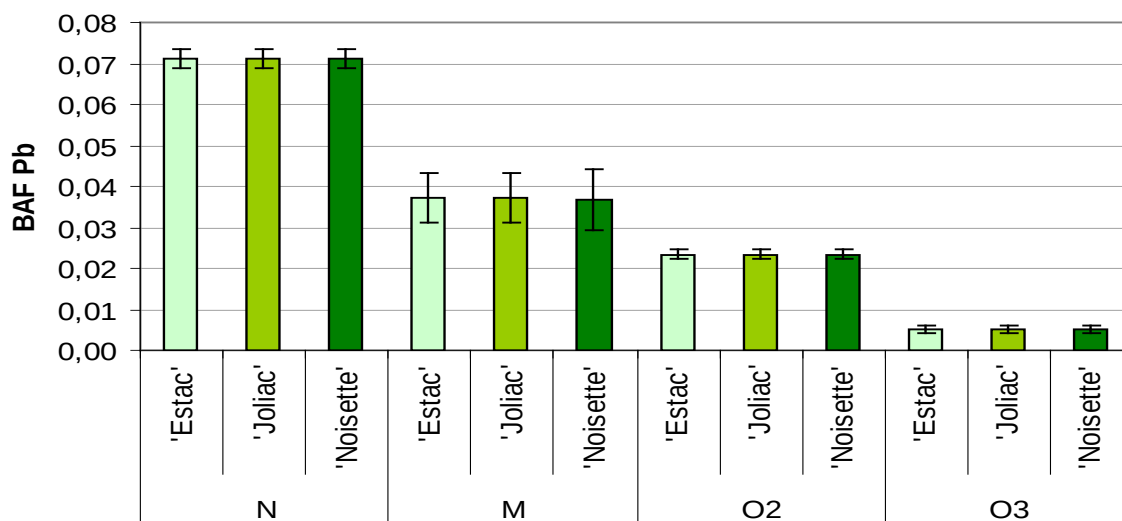
Na povprečni bioakumulacijski faktor za Cd je statistično značilna samo interakcija med lokacijo in delom rastline. Medsebojna interakcija med lokacijo, sorto in delom rastline ni statistično značilna. Statistično značilno odstopa bioakumulacijski faktor v listih na lokaciji O3. Med povprečnimi bioakumulacijskimi faktorji na lokaciji N in M ni statistično značilnih razlik. Statistično značilno se razlikujejo povprečne vrednosti v korenih rdeče pese na lokaciji O2 z najmanjšim bioakumulacijskim faktorjem. Največji bioakumulacijski faktor smo izmerili v listih sorte 'Rocket' na lokaciji O3 (1,20), najmanjšega pa smo izmerili v korenih sorte 'Bettollo F1' na lokaciji O2 (0,076).



Slika 27: Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Cd $\pm$ standardna napaka pri rdeči pesi na poskusnih lokacijah.

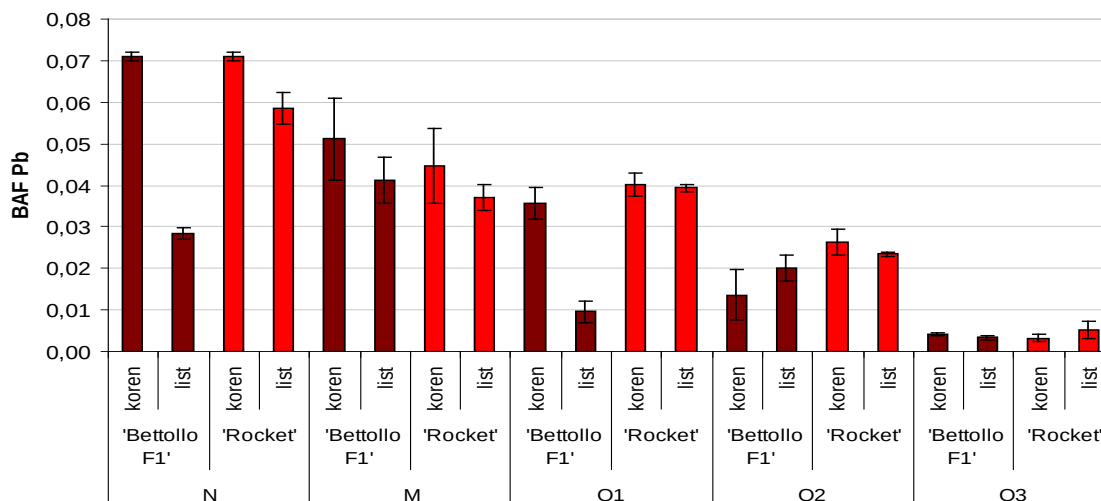
4.7.2 Bioakumulacijski faktor za Pb

Na povprečni bioakumulacijski faktor za Pb pri solati statistično značilno vpliva samo lokacija, med sortami ni statistično značilnih razlik. Med vsemi lokacijami so statistično značilne razlike. Največji povprečni bioakumulacijski faktor imajo sorte vrtno solate na lokaciji N (0,071). Najmanjši povprečni bioakumulacijski faktor pa imajo sorte na lokaciji O3 (0,0052).



Slika 28: Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Pb $\pm$ standardna napaka pri vrtni solati na poskusnih lokacijah.

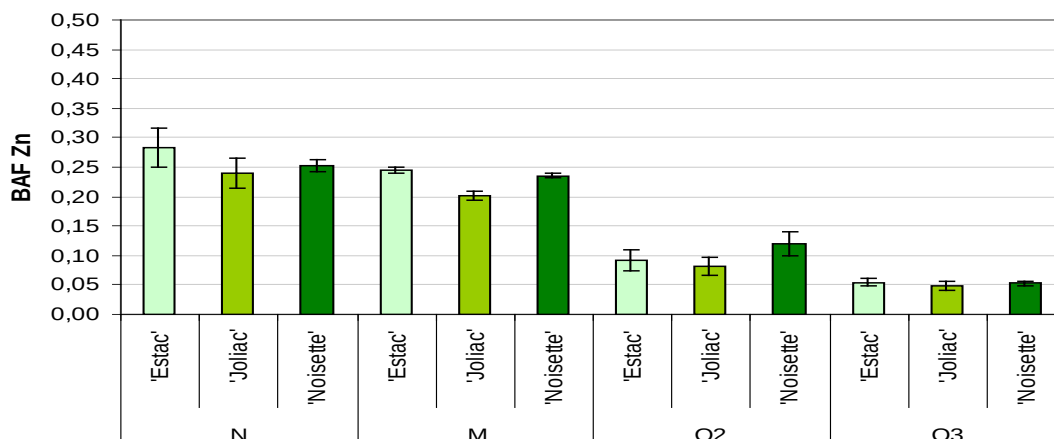
Na povprečni bioakumulacijski faktor za Pb pri rdeči pesi statistično značilno vpliva medsebojna interakcija med lokacijo, sorto in delom rastline. Največji povprečni bioakumulacijski faktor je v korenih na lokaciji N (0,071). Med povprečnimi bioakumulacijskimi faktorji na lokaciji O3 ni statistično značilnih razlik, se pa statistično značilno razlikujejo od ostalih obravnavanj z najmanjšimi bioakumulacijskimi faktroji.



Slika 29: Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Pb $\pm$ standardna napaka pri rdeči pesi na poskusnih lokacijah.

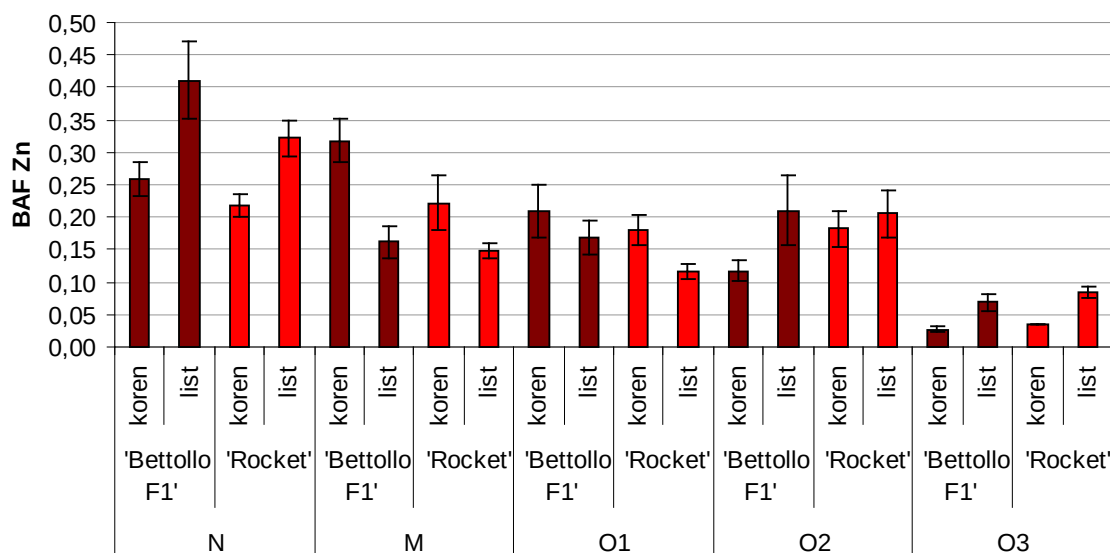
4.7.3 Bioakumulacijski faktor za Zn

Statistična analiza je pokazala, da na povprečni bioakumulacijski faktor pri vrtni solati vplivata lokacija in sorta, prav tako je statistično značilna medsebojna interakcija. Sorta 'Estac' na lokaciji N (0,283) statistično značilno odstopa z največjim povprečnim bioakumulacijskim faktorjem. Med ostalimi sortami na lokaciji N in M ni statistično značilnih razlik, razen pri sorti 'Joliac' na lokaciji M, ki ima nekoliko manjši bioakumulacijski faktor (0,201). Ni statistično značilnih razlik med sortami 'Estac' in 'Joliac' na lokaciji O2. Prav tako ni statistično značilnih razlik med sortami na lokaciji O3, ki imajo povprečno najmanjši bioakumulacijski faktor ('Estac' 0,054, 'Noisette' 0,052 in 'Joliac' 0,048).



Slika 30: Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Zn $\pm$ standardna napaka pri vrtni solati na poskusnih lokacijah.

Na povprečni bioakumulacijski faktor za Zn pri rdeči pesi je statistično značilna samo interakcija med lokacijo in delom rastline. Medsebojna interakcija med lokacijo, sorto in delom rastline ni statistično značilna. Največji povprečni bioakumulacijski faktor za Zn je v listih na lokaciji N (0,366) in značilno odstopa od ostalih. Statistično značilno odstopajo tudi bioakumulacijski faktorji v korenih na lokaciji M in N. Statistično značilno so najmanjši povprečni bioakumulacijski faktorji na lokaciji O3, in sicer v listih 0,077 in korenih 0,031.



Slika 31: Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev za Zn $\pm$ standardna napaka pri rdeči pesi na poskusnih lokacijah.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V Mestni občini Celje smo izbrali 5 lokacij na različno onesnaženih tleh na podlagi predhodnih analiz in predlagane conacije: cona N - neonesnaženo, cona M - koncentracija Cd med 1 in 2 mg/kg; cona O1 - koncentracija Cd med 2 in 4 mg/kg; cona O2 - koncentracija Cd med 4 in 8 mg/kg; cona O3 - koncentracija Cd med 8 in 12 mg/kg. Na lokaciji N je bila povprečna vrednost Cd 0,73 mg/kg, na lokaciji M je bila povprečna vrednost 1,28 mg/kg, na lokaciji O1 1,71 mg/kg, na lokaciji O2 5,29 mg/kg in na lokaciji O3 8,66 mg/kg. Lokacije N, M in O1 imajo povprečne vrednosti Pb v tleh pod mejno vrednostjo, ki je 85 Pb mg/kg. Opozorilna vrednost, ki je 100 mg/kg je bila presežena na lokaciji O2 (107 mg/kg) in na lokaciji O3 (491,9 mg/kg). Mejna vrednost za Zn je 200 mg/kg in je bila presežena na lokaciji M (275 mg/kg) in lokaciji O1 (263 mg/kg). Opozorilna vrednost, ki je 300 mg/kg je bila presežena na lokaciji O2 (608 mg/kg Zn). Kritična vrednost, ki je 720 mg/kg je bila presežena na lokaciji O3 (2892 mg/kg).

Vsebnost kovin v vrtni solati in rdeči pesi je odvisna od vsebnosti kovin v tleh. Mejna vrednost za Cd v listnati zelenjavi je 0,2 mg/kg sv. s., v korenih pa je 0,1 mg/kg sv. s. in je bila pri vrtni solati presežna na najbolj onesnaženem območju pri vseh treh sortah ('Noisette' 0,41 mg/kg sv. s., 'Joliac' 0,37 mg/kg sv. s. in pri sorti 'Estac' 0,31 mg/kg sv. s.). Ugotovili smo, da se razlike med sortami vrtna solate v vsebnosti Cd bolje opazijo v srednje onesnaženem območju (O2). V naši raziskavi smo tudi potrdili vpliv sorte vrtna solate na sprejem Cd, sorta 'Noisette' je imela statistično značilno večji sprejem Cd. Med sortama rdeče pese pa ni statistično značilnih razlik v sprejemu kovin. O sortni variabilnosti poročajo tudi Alexander in sod. (2006), ki so ugotovili, da je bil sprejem Cd pri šestih sortah vrtna solate od 9,97 do 19,68 mg/kg s.s. Eržen in sod., (2005) v svoji raziskavi, ki so jo izvedli v mestni občini Celje, so ugotovili, da vsebnost Cd pri vrtninah pada v naslednjem vrstnem redu solata > rdeča pesa > korenje > krompir > paradižnik > zelje > kumare > fižol. Mi smo ugotovili, da rdeča pesa statistično značilno bolje sprejema Cd kot vrtna solata. Naši rezultati so primerljivi z rezultati, ki jih navaja Kirinčič (2013), ki je v Mestni občini Celje analizirala vzorce vrtna solate in rdeče pese in ugotovila, da v vrtni solati ni presežena mejna vrednost in je pridelava vrtna solate varna, medtem ko pa rdeča pesa presega mejno vrednost in ni primerna za prehrano ljudi, vsebnost Cd v listih rdeče pese je bila 0,71 mg/kg in pri korenih 0,15 mg/kg sv. s.

Mejne vrednosti vsebnosti Cd za rdečo peso so bile presežene v 6 vzorcih, od 20 analiziranih vzorcev. Največjo vsebnost Cd smo izmerili v listih rdeče pese na lokaciji O3, in sicer pri sorti 'Rocket' 0,85 mg/kg in pri sorti 'Bettollo F1' 0,46 mg/kg. Vsebnost Cd v korenih je bila pri sorti 'Rocket' 0,46 mg/kg in pri sorti 'Bettollo F1' 0,31 mg/kg na najbolj onesnaženem območju. Mejne vrednosti Cd so bile presežene tudi v korenih sorte 'Rocket' na lokacijah M in O2.

Povprečna vsebnost Pb je bila v vseh vzorcih solate pod 5 mg/kg, zato smo povprečje izračunali z upoštevanjem polovične vrednosti spodnje meje detekcije (LOD/2). Za Pb smo uporabili LOD < 0,50 mg/kg (Sand in Becker, 2012). Mejne vrednosti za listnato zelenjavo so 0,3 mg/kg in za korenovke 0,1 mg/kg. Mejne vrednosti so bile presežene pri 10 vzorcih.

Največjo vsebnost smo izmerili v korenih rdeče pese na lokaciji O3, in sicer pri sorti 'Rocket' 0,500 mg/kg in pri sorti 'Bettollo F1' 0,537 mg/kg. Statistično značilna pa je interakcija med lokacijo in delom rastline. Največja povprečna vsebnost Pb je bila v korenih na lokaciji O3 in se je statistično značilno razlikovala od ostalih povprečij. Sekara in sod. (2005a) v svoji raziskavi navajajo, da je pri vsebnosti 22 mg/kg Pb v tleh, vsebnost Pb 8,71 mg/kg s.s v listih in 2,44 mg/kg s.s. v korenih rdeče pese. Mejne vrednosti so bile presežene tudi v korenih rdeče pese na lokaciji M ('Rocket' 0,30 mg/kg in 'Bettollo F1' 0,26 mg/kg), kar pa je lahko posledica majhne vsebnosti P_2O_5 v tleh. Tudi Ghasemi-Fasaei (2012) je v svojem delu ugotovil, da je pri zelo majhni vsebnosti P_2O_5 v tleh večji sprejem Pb v liste.

V nalogi smo ugotovili statistično značilen večji sprejem Zn v listih rdeče pese, kot pa v listih vrtna solate. Med sortama rdeče pese in med sortami vrtna solate pa ni bilo statistično značilnih razlik. Največja povprečna vsebnost Zn pri vrtni solati je bila pri sorti 'Joliac' na lokaciji O3, in sicer 12,44 mg/kg sv.s. Največjo vsebnost pri rdeči pesi smo izmerili na lokaciji O2 v korenih sorte 'Rocket', in sicer 27,84 mg/kg. Literatura navaja, da so običajne vrednosti Zn v korenih rdeče pese od 2,42 do 9,1 mg/kg (Kirinčič, 2013). V našem primeru to vrednost presega 9 vzorcev, od 20 analiziranih. Vrednosti Zn so bile večje v korenih kot v listih, razen na lokaciji O3, kjer pa so bile pri obeh sortah rdeče pese večje vrednosti Zn v listih. Sekara in sod., (2005b) navajajo, da rdeča pesa zelo dobro akumulira Zn. Pri vsebnosti 200 mg/kg v tleh so v listih izmerili dvakrat večjo vsebnost Zn kot v korenih. Vsebnost Zn v listih je bila 64,97 mg/kg s.s. in v korenih 32,68 mg/kg s.s.

Na izbranih lokacijah smo izračunali tudi povprečne pridelke. Razlike med pridelki na lokacijah niso posledica različnih koncentracij kovin v tleh, ampak predvsem različnih talnih lastnosti in oskrbe. Glede pedoloških lastnosti smo želeli imeti čim bolj homogene lokacije, vendar so se lokacije razlikovale v vsebnosti fosforja in kalija, kar pa vpliva na pridelek. Povprečno največji pridelek so imele sorte vrtna solate na lokaciji N, ki statistično značilno odstopa od ostalih lokacij. Sorta 'Noisette' ima povprečno največji pridelek in statistično značilno odstopa od ostalih dveh sort. Na pridelek rdeče pese statistično značilno vpliva samo lokacija. Statistično značilno najmanjši pridelek so imele sorte rdeče pese na lokaciji M, medtem ko med ostalimi lokacijami ni statistično značilnih razlik. Prav tako na povprečni pridelek sorta ne vpliva. Rezultati so primerljivi z rezultati drugih avtorjev, ki poročajo, da je pridelek pri ekološki pridelavi rdeče pese 4,1 kg/m² (Herak Custic in sod., 2007).

Sposobnost rastlin za sprejem kovin iz tal v rastline nam poda bioakumulacijski faktor. Vrednosti bioakumulacijskih faktorjev se razlikujejo med vrtno solato in rdečo peso, prav tako so razlike glede na vrsto kovine. Bioakumulacijski faktor za Pb in Zn je obratno sorazmeren z vsebnostjo kovin v tleh. To zmanjšanje se lahko zgodi zaradi regulacije rastline pri privzemanju kovin v nadzemne dele (Gaw in sod., 2008). V naši raziskavi smo ugotovili zelo podobne bioakumulacijske faktorje za vrtno solato in rdečo peso. Povprečne vrednosti so bile pri vrtni solati od 1,24 (pri sorti 'Noisette' na lokaciji M) do 0,09 (pri sorti 'Estac' na lokaciji O2) in pri rdeči pesi od 1,20 (v listih sorte 'Rocket' na lokaciji O3) do 0,076 (v korenih sorte 'Bettollo F1' na lokaciji O2), čeprav literatura navaja, da naj bi listnata zelenjava imela večje bioakumulacijske faktorje kot korenovke. Zhuang in sod.,

(2009) so v svoji raziskavi ugotovili, da ima listnata zelenjava bioakumulacijske faktorje od 0,63 do 2,10 in korenovke od 0,06 do 0,5.

Pri obeh vrtninah je največji bioakumulacijski faktor na lokaciji N in najmanjši na lokaciji O3. Med vsemi lokacijami so bile statistično značilne razlike. Med sortami vrtnih solat na posamezni lokaciji ni bilo statistično značilnih razlik. Povprečno največje vrednosti so bile na lokaciji N 0,071 in povprečno najmanjše vrednosti na lokaciji O3 0,052, za rdečo peso pa so bile povprečne vrednosti od 0,071 (v korenih sorte 'Rocket' na lokaciji N) do 0,033 (v korenih sorte 'Rocket' na lokaciji O3). O zelo majhnih bioakumulacijskih faktorjih poročata tudi Intawongse in Dean (2006), ki sta ugotovila, da je bioakumulacijski faktor pri vrtni solati od 0,00 do 0,09, kar pomeni, da je Pb zelo slabo mobilen element.

Povprečno največji bioakumulacijski faktor pri vrtni solati za Zn je bil na lokaciji N in najmanjši na lokaciji O3. Na povprečni bioakumulacijski faktor za vrtno solato je statistično značilna medsebojna interakcija med lokacijo in sorto. Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev pri vrtni solati so bile od 0,283 (pri sorti 'Estac' na lokaciji N) do 0,048 (pri sorti 'Joliac' na lokaciji O3). Pri bioakumulacijskih faktorjih za Zn pri rdeči pesi smo ugotovili, da so statistično značilno največji bioakumulacijski faktorji na lokaciji N in najmanjši bioakumulacijski faktorji na lokaciji O3. Statistično značilna je interakcija med lokacijo in delom rastline. Povprečne vrednosti bioakumulacijskih faktorjev so bile od 0,410 (v listih sorte 'Bettollo F1' na lokaciji N) do 0,027 (v korenih sorte 'Bettollo F1' na lokaciji O3).

5.2 SKLEPI

Rezultati naše raziskave so pokazali, da so razlike v akumulaciji kovin pri vrtni solati in rdeči pesi glede na različno stopnjo onesnaženosti tal.

- Ugotovili smo, da rdeča pesa bolj akumulira kovine kot vrtna solata. Pri upoštevanju podrobnejše razdelitve srednje onesnaženega območja s Cd (cona O), je pridelava vrtnih solat varna na lokacijah O1 in O2. Pridelava rdeče pese pa samo na lokaciji O1. Na podlagi rezultatov smo ugotovili, da je smiselno upoštevati podrobnejšo delitev cone O (O1, O2, in O3).
- Ugotovili smo razlike v koncentraciji kovin pri sortah vrtnih solat. Sorta 'Noisette' je imela povprečno največjo vsebnost Cd in Pb, sorta 'Joliac' pa najmanjšo.
- Razlike so bile tudi v koncentraciji kovin v korenih in listih rdeče pese. Pri obeh sortah rdeče pese je na lokacijah N, M in O1 povprečna vsebnost Cd in Zn večja v korenih, na lokacijah O2 in O3 pa so večje vsebnosti v listih.
- Povprečno največji pridelek so imele sorte vrtnih solat in rdeče pese na lokaciji N in povprečno najmanjši pridelek na lokaciji M. Sorta 'Noisette' je imela povprečno največji pridelek in statistično značilno odstopa od ostalih dveh sort. Na povprečni pridelek pri rdeči pesi sorta nima statistično značilnega vpliva.

- Povprečno največji bioakumulacijski faktorji za Pb in Zn pri obeh vrtninah so bili na lokaciji N in najmanjši na lokaciji O3. Povprečno največji bioakumulacijski faktorji pri vrtni solati za Cd so bili na lokaciji M in najmanjši na lokaciji O2. Pri rdeči pesi pa so bili bioakumulacijski faktorji za Cd največji v listih na lokaciji O3 in najmanjši v korenih na lokaciji O2.
- Bioakumulacijski faktorji si pri vrtni solati in rdeči pesi sledijo v naslednjem vrstnem redu: $Cd > Zn > Pb$, kar pomeni, da je Cd najbolj mobilni in Pb najmanj mobilni element.

6 POVZETEK

Tla območja Mestne občine Celje, so predvsem zaradi industrije v preteklosti, onesnažena z anorganskimi nevarnimi snovmi, med katerimi so najbolj pogoste kovine Cd, Pb in Zn. S stališča preventivnih oziroma sanacijskih ukrepov so problematična srednje onesnažena območja (med mejno in opozorilno imisijsko vrednostjo glede na uredbo RS 68/96). V novejših raziskavah so bile predstavljene cone območij z različno kontaminacijo s kovinami, predvsem na osnovi vsebnosti Cd v tleh, ki je od omenjenih elementov najbolj mobilna in najlažje prehaja v rastline.

V magistrski nalogi smo želeli ugotoviti razlike v akumulaciji Cd, Pb in Zn pri treh sortah vrtnih solate ('Noisette', 'Estac' in 'Joliac') in dveh sortah rdeče pese ('Bettollo F1' in 'Rocket') na srednje onesnaženih območjih. V Mestni občini Celje smo izbrali 5 lokacij na različno onesnaženih tleh glede na podlagi predhodnih analiz in predlagane conacije: cona N - neonesnaženo, cona M - koncentracija Cd med 1 in 2 mg/kg; cona O1 - koncentracija Cd med 2 in 4 mg/kg; cona O2 koncentracija Cd med 4 in 8 mg/kg; cona O3 - koncentracija Cd med 8 in 12 mg/kg. Poskusne lokacije so se razlikovale tudi v vsebnosti Pb in Zn v tleh.

Vsebnost kovin v vrtni solati in rdeči pesi je odvisna od vsebnosti kovin v tleh. Mejna vrednost za Cd v listnati zelenjavi je 0,2 mg/kg v korenih pa je 0,1 mg/kg sv. s. in je bila pri vrtni solati presežna pri vseh treh sortah na najbolj onesnaženem območju. V naši raziskavi smo tudi potrdili vpliv sorte vrtnih solate na sprejem Cd, sorta 'Noisette' je imela statistično značilno večji sprejem Cd od ostalih dveh sort. Ugotovili smo, da rdeča pesa statistično značilno bolje sprejema Cd kot vrtna solata. Povprečna vsebnost Pb je bila v vseh vzorcih solate pod 5 mg/kg, zato smo povprečje izračunali z upoštevanjem polovične vrednosti spodnje meje detekcije (LOD/2). Mejne vrednosti za listnato zelenjavo so 0,3 mg/kg in za korenovke 0,1 mg/kg. Mejne vrednosti so bile presežene pri 10 vzorcih od 20 analiziranih vzorcev. V nalogi smo ugotovili statistično značilen večji sprejem Zn v listih rdeče pese kot pa v listih vrtnih solate. Med sortama rdeče pese in med sortami vrtnih solate pa ni bilo statistično značilnih razlik.

Povprečno največji pridelek so imele sorte vrtnih solate na lokaciji N, ta je bil statistično značilno večji od pridelka solate z ostalih dveh lokacij. Sorta 'Noisette' je imela povprečno največji pridelek in statistično značilno odstopala od ostalih dveh sort. Na pridelek rdeče pese je statistično značilno vplivala samo lokacija. Statistično značilno so odstopale sorte rdeče pese na lokaciji M, ki so imele povprečno najmanjši pridelek. Med ostalimi lokacijami ni statistično značilnih razlik, prav tako na teh lokacijah na povprečni pridelek sorta ne vpliva.

Vrednosti bioakumulacijskih faktorjev se razlikujejo med vrtno solato in rdečo peso, prav tako so razlike glede na vrsto kovine. Pri obeh vrtninah je bil bioakumulacijski faktor za Pb in Zn največji na lokaciji N in najmanjši na lokaciji O3. Povprečni bioakumulacijski faktorji za Cd so bili pri vrtni solati največji na lokaciji M in najmanjši na lokaciji O2. Pri rdeči pesi pa so bili bioakumulacijski faktorji za Cd največji v listih na lokaciji O3 in najmanjši v korenih na lokaciji O2.

7 VIRI

- Adriano D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. New York, Springer-Verlag: 867 str.
- Alexander P.D, Alloway B.J., Dourado A.M. 2006. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb, and Zn by six commonly grown vegetables. Environmental Pollution, 144: 736-745
- Bajec V. 1994. Vrtnarjenje na prostem, pod folijo in steklom. Ljubljana, Kmečki glas: 417 str.
- Bergmann W. 1992. Nutritional disorders of plants. Jena. Gustav Fischer Verlag: 741 str.
- Catalogo lattuga. 2012. Parma, Seminis: 16 str. (katalog vrtnin)
- Ding C., Zhang T., Wang X., Zhou F., Yang Y., Yin Y. 2013. Effects of soil type and genotype on lead concentration in rootstalk vegetables and the selection of cultivars for food safety. Journal of Environmental Management, 122, 13: 8-14
- Dudka S., Piotrowskab M., Terelakb H. 1996. Transfer of cadmium, lead and zinc from industrially contaminated soil to crop plants: a field study. Environmental Pollution, 94, 2:181-188
- Enza Zaden. 2002. Kvaliteta z okusom (katalog semen). Ljubljana, Zeleni Hit d.o.o.: 18 str.
- Eržen I., Bošnjak K., Uršič S. 2005. Kadmij in svinec v živilih rastlinskega izvora, pridelanih na območju Teharij in Medloga (MO Celje) – Kazalca onesnaženosti okolja. Zdravstveno varstvo, 44: 85-92
- Fontes R., Pereira J., Neves J. 2009. Cadmium in fresh matter of shoots in lettuce cultivars grown in Cd enriched soil. V: The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, Department of Plant Sciences: 4 str.
<http://www.escholarship.org/uc/item/5rn1240p> (11. apr. 2015)
- Gaw S. K., Kin N. D., Nortcott G., L., Wilkins A. L., Robinson G. 2008. Uptake of Σ DDT, arsenic, cadmium, copper, and lead by lettuce and radish grown in contaminated horticultural soils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56, 15: 6584-6593
- Ghasemi-Fasaei R. 2012. Effects of edta and phosphorus levels on lead phytoremediation by maize. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4,23: 1786-1790
- Google Maps. 2015.
<https://www.google.si/maps/> (11. apr. 2015)

- Grabner B., Ribarič Lasnik C., Žerodnik N., Kos M. 2012. Posnetek stanja in izdelava predloga sanacije onesnaženosti kmetijskih tal v dolini Kotredeščice. Končno poročilo. Celje, Inštitut za okolje in prostor: 35 str.
- Grčman H., Lapajne S., Žibret G., Zupan M. 2013. Sanacijski ukrepi za preprečevanje vnosa kovin iz tal v človekov organizem. V: Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji-modelni pristop za degradirana območja: zbornik 2. Konference (januar 2012). Boštjan Grabner, Ribarič-Lasnik, Cvetka (ur.). Celje, Inštitut za okolje in prostor: 74-87
- Harmanescu M., Alda L. A., Bordean D. M., Gogoasa I., Gergen I. 2011. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County, Romania. Chemistry Central Journal, 5, 1: 8
- Herak Custic M., Petek M., Toth N., Poljak M., Cosic T. 2007. Effects of organic and mineral fertilization on NPK status in soil and plant, and yield of red beet (*Beta vulgaris* var. *conditiva*). Cereal Research Communications, 35, 2: 449-452
- Hu J., Wu F., Wu S., Sun X., Lin X., Wong H. 2013. Phytoavailability and phytovariety codetermine the bioaccumulation risk of heavy metal from soils, focusing on Cd-contaminated vegetable farms around the Pearl River Delta, China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 91: 18-24
- Intawongse M., Dean J. 2006. Uptake of heavy metal by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. Food Additives and Contaminants, 23,1: 36-48
- Ivasuc M. M., Rusu M. C. 2011. Translocation of Cu, Pb, Zn, Cd in some vegetables grown in polluted area of Baia Mare, Romania. Bulletin University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, 68, 2: 289-297
- Jamnik B., Smrekar A., Vrščaj B. 2009. Vrtničarstvo v Ljubljani. Ljubljana, Založba ZRC: 224 str.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1984. Trace elements in soil and plants. Boca Raton Florida, CRC Press: 315 str.
- Kachenko A., Singh B. 2006. Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. Water, Air, and Soil Pollution, 169, 4: 101-123
- Katalog za profesionalne pridelovalce vrtnin in cvetic. 2012. Ljubljana, Semenarna Ljubljana: 52 str.
- Kirinčič S. 2013. Onesnaženost vzorcev solate in rdeče pese z območja Celjske kotline s potencialno strupenimi elementi. Ljubljana, Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije: 20 str.

- Lešić R., Borošić J., Buturac I., Herak- Ćustić M., Pljak M., Romić D. 2004. Povrčarstvo. Zagreb, Zrinski d.d., založba Čakovec: 655 str.
- Leštan D. 2002. Študijsko gradivo za študente opredelilnega izbirnega predmeta študija Ekopedologije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo: 267 str.
- Li S., Liu R., Wang M., Wang X., Shan H., Wang H. 2006. Phytoavailability of cadmium to cherry-red radish in soils applied composted chicken or pig manure. *Geoderma*, 136: 260–271
- Lima F. S., Nascimento C., Silva F., Carvalho V., Ribeiro Filho M. 2009. Lead concentration and allocation in vegetable crops grown in a soil contaminated by battery residues. *Horticultura Brasileira*, 27: 362–365
- Liu H., Probst A., Liao B. 2005. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China). *Science of the Total Environment*, 339: 153–166
- Liu W., Zhoua Q., An J., Suna Y., Liua R. 2010. Variations in cadmium accumulation among Chinese cabbage cultivars and screening for Cd-safe cultivars. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 737–743
- Lobnik F., Zupan M., Grčman H. 2010. Onesnaženost tal in rastlin v Celjski kotlini. V: Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji - modelni pristop za degradirana območja: zbornik 1. Konference (september 2010). Ribarič-Lasnik Cvetka, Lakota Miran (ur.). Celje, Inštitut za okolje in prostor: 14-22
- Lokacije poskusnih vrtov v Mestni občini Celje. Conacija glede na onesnaženost tal s Cd. 2012. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja (Kartografsko gradivo, izpis iz baze podatkov, 2012)
- McBride M. B. 2013. Arsenic and lead uptake by vegetable crops grown on historically contaminated orchard soils. *Applied and Environmental Soil Science*, 13, 4: 1- 8
- Musilova J., Bystrická J., Vollmannová A., Melicháčová S. 2011. Contamination of potato tubers by heavy metals and their influence on the formation of phenolic substances. *Journal of Central European Agriculture*, 12, 3:433-444
- Nabulo G., Black C.R., Young S. D. 2011. Trace metal uptake by tropical vegetables grown on soil amended with urban sewage sludge. *Environmental Pollution*, 159: 368-376
- National Nutrient Database for Standard Reference. 2014. Agricultural Research Service, National Agricultural Library.
<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/> (15. 3. 2014)

Novosti semenarske hiše Bejo. 2013. Ljubljana, Agrocasol plus d.o.o.: 15 str.

ÖNORM L 1087. 1993. Chemical analysis of soil – Determination of plants – available phosphate and potassium by calcium - acetat – lactat: 4 str.

Osvald J., Kogoj - Osvald M. 1999. Gojenje solate. Šempeter pri Gorici, Oswald d.o.o.: 36 str.

Osvald J., Kogoj - Osvald M. 2005. Vrtnarstvo: Splošno vrtnarstvo in zelenjadarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 591 str.

Pal S., Singh B. H., Rakshit A. 2013. Potential of different crop species for nickel and cadmium phytoremediation in peri-urban areas of Varanasi district (India) with more than twenty years of wastewater irrigation history. Italian Journal of Agronomy, 8, 8: 58-64

Podgoršek J. 2010. Pridelava rdeče pese. Revija sad, 16, 4: 629-630 str.

Ribarič Lasnik C., Romih N., Marovt K., Grabner B., Sirše T., Lobnik F., Zupan M., Grčman H., Leštan D., Žibret G., Šajn R., Grilc V., Plut D., Eržen I., Lapajne V., Šomen Joksič A., Lakota M. 2010. Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni faktor razvoja v Celjski kotlini - modelni pristop - program sanacije. V: Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji - modelni pristop za degradirana območja: zbornik 1. Konference (september 2010). Ribarič-Lasnik Cvetka, Lakota Miran (ur.). Celje, Inštitut za okolje in prostor: 117-141.

Sand W., Becker S. 2012. Assessment of dietary cadmium exposure in Sweden and population health concern including scenario analysis. Food and Chemical toxicology, 50: 536-544

Sangster J.L., Nelson A. in Bartelt-Hunt S. 2012. The occurrence of lead in soil and vegetables at a community garden in Omaha, Nebraska. International Journal for Service Learning in Engineering, 7, 1: 62-68

SIST ISO 10390. 2005. Kakovost tal – Ugotavljanje pH: 15 str.

SIST ISO 11277. 1998. Soil Quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation: 30 str.

SIST ISO 11466. 1996. Kakovost tal – Ekstrakcija elementov v sledovih, topnih v zlatotopki: 6 str.

SIST ISO 14235. 1999. Kakovost tal – Določanje organskega ogljika z oksidacijo v kromžvepleni kislini (Modificirano po Walkley – Black): 5 str.

- SIST ISO 13878. 1999. Kakovost tal – Ugotavljanje skupnega dušika po suhem sežigu (elementarna analiza): 5 str.
- SIST ISO 11047. 1999. Kakovost tal – Določevanje kadmija, kroma, kobalta, bakra, svinca, mangana, niklja in cinka – Metoda plamenske in elektrotermične atomske absorpcijske spektrometrije: 18 str.
- Sekara A., Poniedzialek M., Ciura J., Jedrszezyk E., 2005a. Cadmium and lead accumulation and distribution in the tissues of nine crops: implications of phytoremediation. Polish Journal of Environmental studies, 14: 509-516
- Sekara A., Poniedzialek M., Ciura J., Jedrszezyk E., 2005b. Zink and copper accumulation and distribution in the tissues of nine crops: implications of phytoremediation. Polish Journal of Environmental studies, 14: 829-835
- Seregin I. V. Ivanov V. B. 2001. Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants. Russian Journal of Plant Physiology, 48, 4: 523-544.
- Soil survey laboratory methods manual. 1992. United states department of agriculture. Soil Conservation service, National soil Survey Center: 400 str.
- Sterrett S. B., Chaney R. L., Gifford C. H., Mielke H. W. 1996. Influence of fertilizer and sewage sludge compost on yield and heavy metal accumulation by lettuce grown in urban soils. Environmental Geochemistry and Health, 18: 135-142
- Szczyglowska M., Konieczka P., 2013. The potential of different varieties of white cabbage in Phytoremediation of Zn and Cd. Ph.D. Interdisciplinary Journal, 4: 27–31
- Škerbot I. 2011. Osnove tehnologije pridelave rdeče pese (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *conditiva*). Celje, Kmetijsko gozdarski zavod Celje: 2 str.
- Tambasco G., Sauvé S., Cook N., McBride M., Hendershot W. 1999. Phytoavailability of Cu and Zn to lettuce (*Lactuca sativa*) in contaminated urban soils. Canadian Journal of Soil Science, 80: 309–317
- Ugrinović K. 2000. Pridelovanje solate. Sodobno kmetijstvo, 33, 5: 227-229
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh. 1996. Ur.l. RS, št. 68/96
- Uredba komisije št. 629/2008 o spremembi Uredbe komisije št. 181/2006 o določitvi mejnih vrednosti nekaterih onesnažil v živilih. 2008. Uradni list Evropske unije, L 173: 6-9
- Yang J., Guo H., Ma Y., Wang L., Wei D., Hua L. 2010. Genotypic variations in the accumulation of Cd exhibited by diferent vegetables Journal of Environmental Sciences, 22, 8: 1246–1252

- Yang Y., Zhang F., Li H.F., Jiang R.F. 2009. Accumulation of cadmium in the edible parts of six vegetable species grown in Cd-contaminated soils. *Journal of Environmental Management*, 90: 1117–1122
- Zheng N., Wang Q., Zheng D. 2007. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables. *Science of the Total Environment*, 383: 81–89
- Zhuang P., McBride M., Xia H., Li N., Li. Z. 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of Total Environment*, 407: 1551-56
- Zupan M., Hudnik V., Lobnik F., Grčman H. 1996. Akumulacija kadmija, svinca in cinka v nekaterih kmetijskih rastlinah. V: 1. slovenski kongres o hrani in prehrani z mednarodno udeležbo, Bled: 313- 321
- Zupan M., Grčman H., Lobnik F. 2008. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 63 str.
- Zupan M., Karo Bešter P., Klavs V., Lobnik F., Grčman H. 2010. V: Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji - modelni pristop za degradirana območja: zbornik 1. Konference (september 2010). Ribarič-Lasnik Cvetka, Lakota Miran (ur.). Celje, Inštitut za okolje in prostor: 23-36

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. Heleni Grčman in somentorici izr. prof. Nini Kacjan-Maršič za vodenje, usmerjanje in strokovno pomoč pri pisanju naloge.

Za praktično izvedbo in usmerjanje pri poskusu se zahvaljujem mag. Marku Zupanu.

Za pomoč pri laboratorijskem delu se zahvaljujem tehničnim sodelavcem na Centru za pedologijo in varstvo okolja.

Vsem lastnikom vrtov, ki so sodelovali v raziskavi se zahvaljujem za vzorce tal in oskrbo vrtnin.

PRILOGA A

Standardna pedološka analiza tal na izbranih lokacijah. N - neonesnaženo, M - malo onesnaženo, O1 – onesnaženost 1, O2 – onesnaženost 2 in O3 – onesnaženost 3.

Priloga A: Standardna pedološka analiza tal $\pm$ standardna napaka.

Parameter	Enota	N	M	O1	O2	O3
pH		6,8 $\pm$ 0,03	7,0 $\pm$ 0,00	6,9 $\pm$ 0,05	6,8 $\pm$ 0,03	7,1 $\pm$ 0,02
Organska snov	%	5,7 $\pm$ 0,28	4,4 $\pm$ 0,48	6,8 $\pm$ 0,12	5,5 $\pm$ 0,16	3,5 $\pm$ 0,3
P rastlinam dostopni	P ₂ O ₅ /100 g	123,0 $\pm$ 3,37	25,0 $\pm$ 0,99	170,1 $\pm$ 4,76	181,0 $\pm$ 1,33	22,1 $\pm$ 1,56
K rastlinam dostopni	K ₂ O/100 g	63,5 $\pm$ 4,90	27,1 $\pm$ 2,53	52,2 $\pm$ 4,80	27,9 $\pm$ 2,01	17,1 $\pm$ 1,59
Glina	%	11,7 $\pm$ 1,70	19,1 $\pm$ 0,72	17,6 $\pm$ 0,37	15,2 $\pm$ 0,16	18,2 $\pm$ 1,74
Melj	%	34,0 $\pm$ 1,96	65,1 $\pm$ 0,60	57,6 $\pm$ 1,56	45,6 $\pm$ 0,98	51,7 $\pm$ 1,68
Pesek	%	54,4 $\pm$ 0,49	15,8 $\pm$ 0,80	24,8 $\pm$ 1,28	39,3 $\pm$ 0,83	30,1 $\pm$ 1,19
C	%	3,3 $\pm$ 0,16	2,6 $\pm$ 0,29	3,9 $\pm$ 0,08	3,2 $\pm$ 0,09	2,0 $\pm$ 0,15
Ca	mmolc/100g	27,32 $\pm$ 0,59	19,27 $\pm$ 0,99	22,30 $\pm$ 0,19	16,99 $\pm$ 0,24	28,05 $\pm$ 0,37
Mg	mmolc/100g	5,81 $\pm$ 0,11	2,52 $\pm$ 0,04	3,54 $\pm$ 0,10	2,17 $\pm$ 0,06	1,72 $\pm$ 0,09
K	mmolc/100g	1,46 $\pm$ 0,13	0,58 $\pm$ 0,06	1,02 $\pm$ 0,08	0,51 $\pm$ 0,04	0,32 $\pm$ 0,03
Na	mmolc/100g	0,06 $\pm$ 0,00	0,09 $\pm$ 0,01	0,10 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,00	0,06 $\pm$ 0,00
H	mmolc/100g	6,39 $\pm$ 0,08	4,3 $\pm$ 0,14	4,86 $\pm$ 0,15	4,9 $\pm$ 0,05	3,26 $\pm$ 0,26
S_vrednost	mmolc/100g	34,7 $\pm$ 0,56	22,5 $\pm$ 0,95	27,0 $\pm$ 0,14	19,7 $\pm$ 0,30	30,2 $\pm$ 0,39
T_vrednost	%	41,1 $\pm$ 0,50	26,8 $\pm$ 0,86	31,8 $\pm$ 0,23	24,7 $\pm$ 0,29	33,5 $\pm$ 0,53
V_vrednost	%	84,4 $\pm$ 0,36	83,9 $\pm$ 0,94	84,7 $\pm$ 0,36	80,0 $\pm$ 0,36	90,1 $\pm$ 0,67
Ca_delež	%	66,5 $\pm$ 0,63	71,8 $\pm$ 1,51	70,1 $\pm$ 0,37	68,9 $\pm$ 0,25	83,9 $\pm$ 0,94
Mg_delež	%	14,1 $\pm$ 0,15	9,5 $\pm$ 0,35	11,1 $\pm$ 0,32	8,8 $\pm$ 0,20	5,1 $\pm$ 0,22
K_delež	%	3,6 $\pm$ 0,35	2,2 $\pm$ 0,28	3,2 $\pm$ 0,26	2,1 $\pm$ 0,14	1,0 $\pm$ 0,09
Na_delež	%	0,1 $\pm$ 0,03	0,3 $\pm$ 0,03	0,3 $\pm$ 0,03	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0
H_delež	%	15,6 $\pm$ 0,38	16,1 $\pm$ 0,94	15,3 $\pm$ 0,36	19,9 $\pm$ 0,35	9,4 $\pm$ 0,66

PRILOGA B

Vsebnost kovin v tleh in vrtninah gojenih na poskusnih lokacijah.

Priloga B1: Vsebnost kovin v tleh in vrtninah na lokaciji N – ne onesnaženo (povprečje in standardna napaka).

N (Apotekar)		TLA (mg/kg suhe snovi)					
		Cd		Pb		Zn	
	1	0,64		34,9		174	
	2	0,77		36,7		175	
	3	0,72		35,4		167	
	4	0,77		33,9		164	
	povprečje	0,73		35,2		170	
	SE	0,03		0,58		2,52	
		RASTLINE (mg/kg sveže snovi)					
VRTNA SOLATA	Ponovitev	listi		listi		listi	
'Estac'	1	0,02		0,18		2,95	
	2	0,02		0,17		3,25	
	3	0,02		0,11		2,06	
	4	0,02		0,14		2,32	
	povprečje	0,02		0,15		2,65	
	SE	0,00		0,02		0,28	
sadike		0,03		0,18		4,01	
'Joilac'	1	0,026		0,08		2,66	
	2	0,026		0,28		2,36	
	3	0,026		0,13		2,50	
	4	0,026		0,15		2,90	
	povprečje	0,026		0,16		2,61	
	SE	0,00		0,04		0,12	
sadike		0,03		0,18		4,42	
'Noisette'	1	0,029		0,16		3,14	
	2	0,029		0,14		3,18	
	3	0,029		0,30		2,90	
	4	0,029		0,12		3,10	
	povprečje	0,029		0,18		3,08	
	SE	0,00		0,04		0,06	
sadike		0,03		0,18		5,48	
RDEČA PESA		koren	listi	koren	listi	koren	listi
'Bettollo F1'	1	0,15	0,028	0,42	0,01	9,56	3,05
	2	0,07	0,028	0,41	0,02	5,66	5,77
	3	0,07	0,026	0,43	0,24	7,20	4,40
	4	0,06	0,030	0,42	0,07	7,38	6,17
	povprečje	0,09	0,03	0,42	0,09	7,45	4,85
	SE	0,02	0,00	0,00	0,05	0,80	0,71
sadike			0,08		0,19		6,00
'Rocket'	1	0,07	0,03	0,43	0,17	5,27	4,28
	2	0,06	0,03	0,39	0,16	6,17	2,68
	3	0,06	0,03	0,38	0,18	6,55	4,47
	4	0,09	0,03	0,54	0,21	7,43	4,60
	povprečje	0,07	0,03	0,43	0,18	6,35	4,01
	SE	0,01	0,00	0,04	0,01	0,45	0,45
sadike			0,08		0,19		6,22

Priloga B2: Vsebnost kovin v tleh in vrtninah na lokaciji M – malo onesnaženo (povprečje in standardna napaka).

M (Žnidarec)		TLA (mg/kg suhe snovi)					
		Cd		Pb		Zn	
	1	1,40		80,4		302	
	2	1,40		73,4		302	
	3	0,97		55,6		228	
	4	1,35		65,4		269	
	Povprečje	1,28		68,7		275	
	SE	0,10		5,32		17,42	
		RASTLINE (mg/kg sveže snovi)					
VRTNA SOLATA	Ponovitev	listi		listi		listi	
'Estac'	1	0,08		0,14		4,34	
	2	0,08		0,14		4,23	
	3	0,04		0,13		2,86	
	4	0,07		0,19		4,91	
	povprečje	0,07		0,15		4,08	
	SE	0,01		0,01		0,44	
sadike		0,03		0,17		4,01	
'Joilac'	1	0,01		0,08		1,82	
	2	0,03		0,20		5,19	
	3	0,03		0,19		3,47	
	4	0,08		0,25		5,21	
	povprečje	0,04		0,18		3,92	
	SE	0,02		0,02		0,81	
sadike		0,03		0,17		4,42	
'Noisette'	1	0,09		0,12		2,66	
	2	0,14		0,20		3,22	
	3	0,10		0,22		2,88	
	povprečje	0,11		0,18		2,92	
sadike	SE	0,02		0,03		0,62	
		0,03		0,18		5,48	
RDEČA PESA		koren	listi	koren	listi	koren	listi
'Bettollo F1'	1	0,07	0,11	0,45	0,44	4,91	5,92
	2	0,15	0,13	0,47	0,19	13,65	3,34
	3	0,20	0,09	0,45	0,34	14,16	2,80
	4	0,32	0,04	0,66	0,23	18,27	3,43
	povprečje	0,18	0,09	0,51	0,30	12,74	3,87
	SE	0,05	0,19	0,05	0,06	2,81	0,70
sadike		0,08	0,08	0,19	0,19	6,00	6,00
'Rocket'	1	0,43	0,11	0,86	0,21	25,10	4,57
	2	0,08	0,04	0,28	0,23	7,53	3,62
	3	0,07	0,04	0,49	0,23	11,42	2,90
	4	0,07	0,04	0,74	0,23	13,39	3,46
	povprečje	0,17	0,06	0,59	0,22	14,36	3,64
	SE	0,09	0,02	0,13	0,00	3,78	0,35
sadike		0,08	0,08	0,19	0,19	6,22	6,22

Priloga B3: Vsebnost kovin v tleh in vrtninah na lokaciji O1 – onesnaženost (povprečje in standardna napaka).

O1 (Bajuk)		TLA (mg/kg suhe snovi)					
		Cd		Pb		Zn	
	1	1,77		62,4		269	
	2	1,72		61,3		264	
	3	1,77		71,9		269	
	4	1,59		66,9		252	
	povprečje	1,71		65,6		263	
	SE	0,04		2,41		4,02	
		RASTLINE (mg/kg sveže snovi)					
RDEČA PESA							
	Ponovitev	koren	listi	koren	listi	koren	listi
'Bettollo F1'	1	0,06	0,03	0,15	0,21	4,57	5,46
	2	0,07	0,03	0,08	0,20	9,26	3,68
	3	0,06	0,03	0,05	0,14	5,10	2,76
	4	0,07	0,03	0,10	0,22	7,56	3,01
	povprečje	0,06	0,03	0,09	0,19	6,62	3,73
	SE	0,00	0,00	0,02	0,02	1,09	0,61
sadike			0,08		0,19		6,00
'Rocket'	1	0,06	0,03	0,39	0,09	5,78	3,03
	2	0,06	0,03	0,38	0,21	8,72	2,79
	3	0,07	0,03	0,05	0,20	7,06	1,96
	4	0,06	0,04	0,37	0,22	8,29	2,26
	povprečje	0,06	0,03	0,30	0,18	7,46	2,51
	SE	0,00	0,00	0,08	0,03	0,66	0,24
sadike			0,08		0,19		6,22

Priloga B4: Vsebnost kovin v tleh in vrtninah na lokaciji O2 – onesnaženost (povprečje in standardna napaka).

O2 (Kvar)		TLA (mg/kg suhe snovi)					
		Cd		Pb		Zn	
	1	5,65		114,8		624	
	2	5,37		106,7		616	
	3	5,19		105,3		600	
	4	4,94		101,1		594	
	povprečje	5,29		107,0		608	
	SE	0,15		2,88		6,91	
		RASTLINE (mg/kg sveže snovi)					
VRTNA SOLATA	Ponovitev	listi		listi		listi	
'Estac'	1	0,07		0,15		4,26	
	2	0,03		0,21		3,72	
	3	0,03		0,22		4,53	
	4	0,04		0,22		5,10	
	povprečje	0,04		0,20		4,40	
	SE	0,02		0,03		0,58	
sadike		0,03		0,17		4,01	
'Joilac'	1	0,11		0,25		4,65	
	2	0,04		0,13		3,38	
	3	0,11		0,24		4,22	
	4	0,15		0,20		3,32	
	povprečje	0,10		0,20		3,89	
	SE	0,02		0,03		0,33	
sadike		0,03		0,17		4,42	
'Noisette'	1	0,24		0,23		8,06	
	2	0,14		0,21		5,39	
	3	0,14		0,23		6,12	
	4	0,03		0,22		3,93	
	povprečje	0,14		0,22		5,88	
	SE	0,042		0,004		0,859	
sadike		4,42		0,18		5,48	
RDEČA PESA		koren	listi	koren	listi	koren	listi
'Bettollo F1'	1	0,07	0,08	0,04	0,18	9,62	8,93
	2	0,07	0,07	0,43	0,22	10,32	5,88
	3	0,07	0,03	0,08	0,08	16,14	3,23
	4	0,07	0,15	0,45	0,21	14,51	16,04
	povprečje	0,07	0,08	0,25	0,17	12,65	8,52
	SE	0,001	0,026	0,111	0,032	1,588	2,764
sadike			0,08		0,19		6,00
'Rocket'	1	0,17	0,31	0,47	0,19	20,30	13,29
	2	0,34	0,12	0,45	0,21	28,69	8,58
	3	0,07	0,15	0,65	0,20	16,29	11,48
	4	0,07	0,13	0,43	0,21	14,10	6,56
	povprečje	0,16	0,18	0,50	0,20	19,84	9,98
	SE	0,064	0,046	0,052	0,007	3,216	1,497
sadike			0,08		0,19		6,22

Priloga B5: Vsebnost kovin v tleh in vrtninah na lokaciji O3 – onesnaženost 3 (povprečje in standardna napaka).

O3 (Cajhen)		TLA (mg/kg suhe snovi)					
		Cd		Pb		Zn	
	1	8,95		393,3		2438	
	2	7,66		555,3		2974	
	3	8,87		492,7		2711	
	4	9,17		526,3		3444	
	povprečje	8,66		491,9		2892	
	SE	0,34		35,26		214,34	
		RASTLINE (mg/kg sveže snovi)					
VRTNA SOLATA							
	Ponovitev	listi		listi		listi	
'Estac'	1	0,29		0,19		11,00	
	2	0,34		0,20		13,75	
	3	0,29		0,20		10,73	
	4	0,34		0,20		13,47	
	povprečje	0,31		0,20		12,24	
	SE	0,02		0,00		0,80	
sadike		0,03		0,17		4,01	
'Joilac'	1	0,07		0,05		2,28	
	2	0,31		0,21		11,93	
	3	0,43		0,24		13,95	
	4	0,36		0,22		11,43	
	povprečje	0,29		0,18		9,90	
	SE	0,08		0,04		2,60	
sadike		0,03		0,17		4,42	
'Noisette'	1	0,30		0,19		9,55	
	2	0,42		0,21		11,39	
	3	0,37		0,20		11,22	
	4	0,55		0,18		14,30	
	povprečje	0,41		0,19		11,62	
	SE	0,05		0,01		0,99	
sadike		0,03		0,03		0,03	
RDEČA PESA		koren	listi	koren	listi	koren	listi
'Bettollo F1'	1	0,31	0,47	0,19	0,18	13,41	13,13
	2	0,29	0,52	0,49	0,10	12,02	15,17
	3	0,39	0,82	0,37	0,10	17,91	24,41
	4	0,27	0,40	0,45	0,15	11,77	12,17
	povprečje	0,31	0,55	0,37	0,13	13,78	16,22
	SE	0,03	0,09	0,07	0,02	1,42	2,80
sadike			0,08		0,19		6,00
'Rocket'	1	0,50	0,79	0,05	0,43	17,40	19,72
	2	0,41	0,87	0,27	0,19	17,58	18,83
	3	0,40	0,53	0,45	0,14	16,19	16,29
	4	0,52	0,89	0,47	0,09	22,94	28,26
	povprečje	0,46	0,77	0,31	0,21	18,53	20,77
	SE	0,03	0,08	0,10	0,08	1,50	2,60
sadike			0,08		0,19		6,22

PRILOGA C

Statistična analiza za vsebnost kovin v vrtni solati.

Priloga C1: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Cd v vrtni solati (mg/kg).

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
ponovitev	3	0,01265	0,004218	2,3983	0,08758
lokacija	3	0,76435	0,254782	144,8738	0,00000
sorta	2	0,03761	0,018806	10,6933	0,00031
lokacija:sorta	6	0,02463	0,004106	2,3345	0,05722

Priloga C2: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za dejavnik "lokacija". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Lokacija	Vsebnost Cd (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
O3	0,3627 $\pm$ 0,0234	a
O2	0,1004 $\pm$ 0,0198	b
M	0,0687 $\pm$ 0,0113	b
N	0,0260 $\pm$ 0,0006	c

Priloga C3: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za dejavnik "sorta". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Sorta	Vsebnost Cd (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
'Noisette'	0,1862916 $\pm$ 0,0442	a
'Joliac'	0,1181203 $\pm$ 0,0353	b
'Estac'	0,1114630 $\pm$ 0,0442	b

Priloga C1: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Zn v vrtni solati (mg/kg).

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
ponovitev	3	15,00	5,001	5,4841	0,0043
lokacija	3	569,53	189,845	208,174	0,00000
sorta	2	1,70	0,852	0,9341	0,4049
lokacija:sorta	6	17,08	2,847	3,1215	0,0180

Priloga C3: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za dejavnik "sorta". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Vsebnost Zn (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
O3_ 'Joliac'	12.43967 $\pm$ 0,7713	a
O3_ 'Noisette'	12.30326 $\pm$ 1,002	a
O3_ 'Estac'	12.24042 $\pm$ 0.79608975	a
O2_ 'Noisette'	6.525342 $\pm$ 0.79585632	b
M_ 'Joliac'	4.62153 $\pm$ 0.57820284	c
O2_ 'Estac'	4.402771 $\pm$ 0.28772953	cd
M_ 'Estac'	4.082111 $\pm$ 0.43583420	cde
O2_ 'Joliac'	3.893553 $\pm$ 0.32644521	cde
N_ 'Noisette'	3.08 $\pm$ 0.06218253	cde
M_ 'Noisette'	2.920189 $\pm$ 0.16153414	de
N_ 'Estac'	2.645 $\pm$ 0.27490908	e
N_ 'Joliac'	2.605 $\pm$ 0.27490908	e

PRILOGA D

Statistična analiza za vsebnost kovin v rdeči pesi.

Priloga D1: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Cd v rdeči pesi (mg/kg).

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Del rastline	1	0,0055	0.005544	1.8011	0.19118
Lokacija: del rastline	4	0,2532	0.063301	20.5657	0.0000
Sorta: del rastline	1	0.011661	0.011661	3.7886	0.05148
lokacija:sorta: del rastline	4	0.080027	0.005881	1.9108	0.13867

Priloga D2: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija del rastline". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Vsebnost Cd (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
O3_listi	0.85055 $\pm$ 0.0217768233	a
O3_koren	0.3855287 $\pm$ 0.3855287	b
M_koren	0.1383371 $\pm$ 0.78743	c
O2_listi	0.1302763 $\pm$ 0.338644	cd
N_listi	0.1170212 $\pm$ 0.3855287	cd
N_koren	0.07931 $\pm$ 0.387666	cd
M_listi	0.06483429 $\pm$ 0.71245	cd
O1_koren	0.0633 $\pm$ 0.02855	cd
O1_listi	0.03315 $\pm$ 0.03654	d
N_listi	0.02855 $\pm$ 0.01983	d

Priloga D3: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Pb v rdeči pesi (mg/kg).

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Del rastline	1	0.187392	0.187392	24.7230	0.0000
Lokacija: del rastline	4	0.194152	0.048538	6.4037	0.001002
Sorta: del rastline	1	0.018418	0.018418	2.4300	0.131124
lokacija:sorta : del rastline	4	0.050374	0.012593	1.6615	0.189124

Priloga D4: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija:del rastline". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Vsebnost Pb (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
O3_koren	0.4370383 $\pm$ 0.58622	a
O2_koren	0.2790936 $\pm$ 0.39845	b
M_koren	0.2772782 $\pm$ 0.03586	b
M_listi	0.2339833 $\pm$ 0.58444	bc
O1_listi	0.186683 $\pm$ 0.763222	bcd
O2_listi	0.1866458 $\pm$ 0.38562	bcd
O1_koren	0.1858300 $\pm$ 0.01543	bcd
N_koren	0.1580981 $\pm$ 0.56843	cd
O3_listi	0.1489045 $\pm$ 0.83475	cd
N_listi	0.1048819 $\pm$ 0.93261	d

Priloga D5: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Zn v rdeči pesi (mg/kg).

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Del rastline	1	271.860	271.860	59.8022	0,0000
Lokacija: del rastline	4	239.832	59.958	13.1892	0,0000
Sorta: del rastline	1	6.945	6.945	1.5278	0.22750
lokacija:sorta: del rastline	4	72.108	18.027	3.9655	0.01213

Priloga D6: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija: sorta: del rastline". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Vsebnost Zn (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
'Rocket'_O2_koren	19.84 $\pm$ 0.48735	a
'Rocket'_O3_listi	19.75 $\pm$ 0.03826	a
'Rocket'_O3_koren	18.53 $\pm$ 0.098345	ab
'Bettollo F1'_M_koren	15.36 $\pm$ 0.03683	bc
'Bettollo F1'_O3_listi	14.97 $\pm$ 0.437612	bcd
'Bettollo F1'_O3_koren	13.78 $\pm$ 0.486732	cde
'Bettollo F1'_O2_koren	12.65 $\pm$ 0.003978	cde
'Rocket'_M_koren	10.78 $\pm$ 0.9456843	def
'Rocket'_O2_listi	9.978 $\pm$ 0.984757	efg
'Bettollo F1'_O2_listi	9.615 $\pm$ 0.054345	efg
'Rocket'_O1_koren	7.461 $\pm$ 0.056932	fgh
'Bettollo F1'_N_koren	7.451 $\pm$ 0.98321	fgh
'Rocket'_N_koren	6.355 $\pm$ 0.98463	ghi
'Bettollo F1'_O1_koren	5.742 $\pm$ 0.87465	ghi
'Bettollo F1'_N_listi	4.849 $\pm$ 0.973643	hi
'Rocket'_N_listi	4.009 $\pm$ 0.024875	hi
'Bettollo F1'_M_listi	3.872 $\pm$ 0.173567	hi
'Bettollo F1'_O1_listi	3.727 $\pm$ 0.458359	hi
'Rocket'_M_listi	3.636 $\pm$ 0.87564	hi
'Rocket'_O1_listi	2.507 $\pm$ 0.76453	i

PRILOGA E

Statistična analiza za vsebnost kovin v listih vrtné solate in listih rdeče pese.

PRILOGA E1: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Cd (mg/kg) v listih vrtné solate in listih rdeče pese.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Ponovitev	3	0,06351	0.02117	9.9689	0.0000
Lokacija	3	2,10249	0.70083	330.0037	0.0000
Sorta	4	0.18729	0.04682	22.0472	0.0000
lokacija:sorta	12	0.44010	0.03667	17.2692	0.0000

PRILOGA E2: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija: sorta". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Vsebnost Cd (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
O3_'Rocket'	0.85055 $\pm$ 0.0217768	a
O3_'Bettollo F1'	0.4626433 $\pm$ 0.01003	b
O3_'Noisette'	0.4095857 $\pm$ 0.0147341	bc
O3_'Joliac'	0.3676514 $\pm$ 0.014734	cd
O3_'Estac'	0.3122373 $\pm$ 0.0188307	d
O2_'Rocket'	0.1768775 $\pm$ 0.0008698	e
O2_'Noisette'	0.1746370 $\pm$ 0.0000000	e
M_'Noisette'	0.1104761 $\pm$ 0.000000000	ef
O2_'Joliac'	0.1026811 $\pm$ 0.0000000	efg
O2_'Bettollo F1'	0.083675 $\pm$ 0.001796	fg
M_'Bettollo F1'	0.07764 $\pm$ 0.0262884644	fg
M_'Estac'	0.06713896 $\pm$ 0.0078130	fg
M_'Rocket'	0.05523 $\pm$ 0.0213963913	fg
O2_'Estac'	0.04247577 $\pm$ 0.03398	fg
M_'Joliac'	0.03901146 $\pm$ 0.0459673	fg
N_'Rocket'	0.0292 $\pm$ 0.0343308153	g
N_'Noisette'	0.0286 $\pm$ 0.0151273465	g
N_'Bettollo F1'	0.0279 $\pm$ 0.0349663459	g
N_'Joliac'	0.02552 $\pm$ 0.0511086415	g
N_'Estac'	0.024 $\pm$ 0.0306792715	g

PRILOGA E2: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Pb (mg/kg) v listih vrtné solate in listih rdeče pese.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Ponovitev	3	0.002968	0.0009893	0.4339	0.7296225
Lokacija	3	0.065982	0.0219940	9.6468	0.0000
Sorta	4	0.008309	0.0020772	0.9111	0.4644718
lokacija:sorta	12	0.114233	0.0095195	4.1754	0.0001423

PRILOGA E3: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija: sorta".
 Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Vsebnost Pb (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
M_ 'Bettollo F1'	0.3351277 $\pm$ 0.015075391	a
M_ 'Estac'	0.223125 $\pm$ 0.013592852	b
M_ 'Joliac'	0.22 $\pm$ 0.035726591	b
M_ 'Noisette'	0.2025 $\pm$ 0.030798516	bc
M_ 'Rocket'	0.2025 $\pm$ 0.004492471	bc
N_ 'Bettollo F1'	0.2008125 $\pm$ 0.019367836	bc
N_ 'Estac'	0.195625 $\pm$ 0.016878858	bc
N_ 'Joliac'	0.191875 $\pm$ 0.021262251	bc
N_ 'Noisette'	0.1828333 $\pm$ 0.011577037	bc
N_ 'Rocket'	0.1825 $\pm$ 0.015844294	bc
O2_ 'Bettollo F1'	0.1783125 $\pm$ 0.031827470	bc
O2_ 'Estac'	0.176875 $\pm$ 0.015930636	bc
O2_ 'Joliac'	0.1707917 $\pm$ 0.026020825	bc
O2_ 'Noisette'	0.1637959 $\pm$ 0.003952847	bc
O2_ 'Rocket'	0.150625 $\pm$ 0.006535161	bc
O3_ 'Bettollo F1'	0.14875 $\pm$ 0.019174261	bc
O3_ 'Estac'	0.1391667 $\pm$ 0.003125000	bc
O3_ 'Joliac'	0.134013 $\pm$ 0.044457084	c
O3_ 'Noisette'	0.12 $\pm$ 0.005716843	c
O3_ 'Rocket'	0.0347245 $\pm$ 0.018070016	d

PRILOGA E4: Analiza variance (ANOVA) za povprečno vsebnost Zn (mg/kg) v listih
 vrtna solate in listih rdeče pese.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Ponovitev	3	0.2431	0.0810	1.8293	0.1535507
Lokacija	3	24.3422	8.1141	183.1462	0.00000
Sorta	4	2.2088	0.5522	12.4638	0.0000
lokacija:sorta	12	2.2330	0.1861	4.2001	0,00014

PRILOGA E5: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija: sorta".
 Med povprečji z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Vsebnost Zn (mg/kg) $\pm$ standardna napaka	
O3_ 'Rocket'	19.74678 $\pm$ 0.6973454	a
O3_ 'Bettollo F1'	14.96894 $\pm$ 0.16166	b
O3_ 'Joliac'	12.43967 $\pm$ 0.0621825	c
O3_ 'Noisette'	12.30326 $\pm$ 0.045879	c
O3_ 'Estac'	12.24042 $\pm$ 0.6973454	c
O2_ 'Rocket'	9.978365 $\pm$ 0.012376	cd
O2_ 'Bettollo F1'	8.948707 $\pm$ 0.16153414	de
O2_ 'Noisette'	6.525342 $\pm$ 1.005325	ef
N_ 'Bettollo F1'	4.848688 $\pm$ 0.7713337	fg
M_ 'Joliac'	4.62153 $\pm$ 0.692134	fg
O2_ 'Estac'	4.402771 $\pm$ 0.782187	fg
M_ 'Estac'	4.082111 $\pm$ 1.0014640	fg
N_ 'Rocket'	4.009205 $\pm$ 0.57989	fg
O2_ 'Joliac'	3.893553 $\pm$ 0.75483	fg
M_ 'Bettollo F1'	3.8719 $\pm$ 0.770533	fg
M_ 'Rocket'	3.63589 $\pm$ 0.64656	fg
N_ 'Noisette'	3.08 $\pm$ 0.764524	g
M_ 'Noisette'	2.920189 $\pm$ 0.798752	g
N_ 'Estac'	2.645 $\pm$ 0.783456	g
N_ 'Joliac'	2.605 $\pm$ 0.45721	g

PRILOGA F

Statistična analiza za povprečni pridelek vrtné solate in rdeče pese.

PRILOGA F1: Analiza variance (ANOVA) za povprečni pridelek vrtné solate kg/m^3 .

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
ponovitev	3	0.8804	0.2935	1.2767	1.1885
Lokacija	3	18.0877	6.0292	26.2307	0.000000
Sorta	2	2.7722	1.3861	6.0304	0.00629
lokacija:sorta	6	1.6391	0.2732	1.1885	0.33900

PRILOGA F2: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Lokacija	Povprečni pridelek (kg/m^3)	
N	3.099055 ± 0.1470505	a
O2	2.196667 ± 0.1283295	b
O3	1.905455 ± 0.1679956	b
M	1.36 ± 0.2111863	c

PRILOGA F3: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "sorta". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Sorta	Povprečni pridelek (kg/m^3)	
'Noisette'	2.544985 ± 0.1916414	a
'Estac'	2.0123 ± 0.2233875	b
'Joliac'	1.943 ± 0.2036580	b

PRILOGA F4: Analiza variance (ANOVA) za povprečni pridelek rdeče pese kg/m^3 .

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
ponovitev	3	3.245	1.0818	0.5881	0.6296
Lokacija	4	89.980	22.4949	12.2279	0.0000
Sorta	1	1.774	1.7743	0.9645	0.3372
lokacija:sorta	4	10.406	2.6015	1.4141	0.2638

PRILOGA F2: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Lokacija	Povprečni pridelek (kg/m^3)	
O1	6.021667 ± 0.3943891	a
N	5.854286 ± 0.4978566	a
O3	4.812857 ± 0.5937082	a
O2	4.8025 ± 0.6146072	a
M	1.508333 ± 0.6210732	b

PRILOGA G

Statistična analiza za bioakumulacijske faktorje.

PRILOGA G1: Analiza variance (ANOVA) za povprečni bioakumulacijski faktor za Cd pri vrtni solati.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Ponovitev	3	0.3685	0.1228	2.900	0.05119
Lokacija	3	10.4214	3.4738	82.007	0.00000
Sorta	2	1.7931	0.8966	21.165	0.0000
lokacija:sorta	6	4.4976	0.7496	17.696	0.00000

PRILOGA G2: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija:sorta". Med povprečji z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Povprečni bioakumulacijski faktor za Cd	
M_ 'Noisette'	1.241542 ± 0.084766664	a
M_ 'Estac'	0.8661435 ± 0.077312010	b
O3_ 'Noisette'	0.6216237 ± 0.075652959	c
N_ 'Estac'	0.5548791 ± 0.024872202	cd
N_ 'Joliac'	0.5548791 ± 0.024872202	cd
N_ 'Noisette'	0.5548791 ± 0.024872202	cd
O3_ 'Joliac'	0.4745981 ± 0.001884528	cde
O3_ 'Estac'	0.4639464 ± 0.036659488	cde
M_ 'Joliac'	0.3992489 ± 0.055151197	de
O2_ 'Noisette'	0.3615708 ± 0.033918110	ef
O2_ 'Joliac'	0.2336128 ± 0.018738998	f
O2_ 'Estac'	0.07751028 ± 0.084932491	g

PRILOGA G3: Analiza variance (ANOVA) za povprečni bioakumulacijski faktor za Cd pri rdeči pesi.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Del rastline	1	0.56617	0.56617	17.0706	0.0003314
Lokacija: del rastline	4	1.20449	0.30112	9.0792	0.000000
Sorta: del rastline	1	0.03852	0.03852	1.1615	0.2910520
lokacija:sorta : del rastline	4	0.09676	0.02419	0.7294	0.5800591

PRILOGA G4: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija:del rastline". Med povprečji z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Povprečni bioakumulacijski faktor za Cd	
listi_O3	0.9270752 ± 0.158314641	a
koren_M	0.6086705 ± 0.014822507	b
listi_M	0.5772397 ± 0.003980512	b
listi_N	0.5548791 ± 0.034952649	b
koren_N	0.5448619 ± 0.018981904	b
listi_O2	0.3093595 ± 0.121726251	c
koren_O3	0.2444346 ± 0.016282678	c
koren_O1	0.2338812 ± 0.003980512	c
listi_O1	0.2338812 ± 0.072147570	c
koren_O2	0.122264 ± 0.127878791	c

PRILOGA G5: Analiza variance (ANOVA) za povprečni bioakumulacijski faktor za Pb pri vrtni solati.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Ponovitev	3	0.079	0.0264	2.1663	0.1113
Lokacija	3	44.652	14.8842	1220.1395	0.00000
Sorta	2	0.000	0.0000	0.0016	0.9984
lokacija:sorta	6	0.000	0.0000	0.0020	1.0000

PRILOGA G6: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija". Med povprečij z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Lokacija	Povprečni bioakumulacijski faktor za Pb	
N	0.07101379 $\pm$ 0.0017128189	a
M	0.03698604 $\pm$ 0.0006027703	b
O2	0.02342035 $\pm$ 0.0003222166	c
O3	0.005170831 $\pm$ 0.0002152685	d

PRILOGA G7: Analiza variance (ANOVA) za povprečni bioakumulacijski faktor za Pb pri rdeči pesi.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Del rastline	1	0.00164735	0.00164735	23.8861	0.000000
Lokacija: del rastline	4	0.00207914	0.00051979	7.5367	0.0002977
Sorta: del rastline	1	0.00029856	0.00029856	4.3291	0.0467333
lokacija:sorta : del rastline	4	0.00090092	0.00022523	3.2657	0.0256209

PRILOGA G8: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija:sorta:del rastline". Med povprečji z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Povprečni bioakumulacijski faktor za Pb	
N_ 'Bettollo F1' _koren	0.07101379 $\pm$ 0.0098539904	a
N_ 'Rocket' _koren	0.07101362 $\pm$ 0.0054438569	a
N_ 'Rocket' _listi	0.05851378 $\pm$ 0.0090660764	ab
M_ 'Bettollo F1' _koren	0.05110905 $\pm$ 0.0030005053	bc
M_ 'Rocket' _koren	0.04477842 $\pm$ 0.0011542172	cd
M_ 'Bettollo F1' _listi	0.04126967 $\pm$ 0.0015927940	cde
O1_ 'Rocket' _koren	0.03941181 $\pm$ 0.0011542172	cdef
M_ 'Rocket' _listi	0.03708891 $\pm$ 0.0039497837	defg
O1_ 'Bettollo F1' _koren	0.03561080 $\pm$ 0.0038709178	defg
O1_ 'Rocket' _listi	0.03289428 $\pm$ 0.0026838988	defgh
N_ 'Bettollo F1' _listi	0.02831523 $\pm$ 0.0010356538	efgh
O2_ 'Rocket' _koren	0.02634321 $\pm$ 0.0049188457	fghi
O2_ 'Rocket' _listi	0.02342035 $\pm$ 0.0060961990	ghi
O2_ 'Bettollo F1' _listi	0.02025539 $\pm$ 0.0031191563	hij
O2_ 'Bettollo F1' _koren	0.01356427 $\pm$ 0.0030888800	ijk
O1_ 'Bettollo F1' _listi	0.009551568 $\pm$ 0.0006169979	jk
O3_ 'Rocket' _listi	0.005344258 $\pm$ 0.0004278190	k
O3_ 'Bettollo F1' _koren	0.004071527 $\pm$ 0.0006005115	k
O3_ 'Bettollo F1' _listi	0.003351054 $\pm$ 0.0010305087	k
O3_ 'Rocket' _koren	0.003285611 $\pm$ 0.0020752568	k

PRILOGA G9: Analiza variance (ANOVA) za povprečni bioakumulacijski faktor za Zn pri vrtni solati.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Ponovitev	3	0.00063	0.000209	0.7632	0.5233677
Lokacija	3	0.35160	0.117199	426.9492	0.0000000
Sorta	2	0.00595	0.002973	10.8296	0.0002712
lokacija:sorta	6	0.00480	0.000800	2.9158	0.0225909

PRILOGA G10: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija:sorta". Med povprečji z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Povprečni bioakumulacijski faktor za Zn	
N_ 'Estac'	0.2834018 $\pm$ 0.002442136	a
N_ 'Noisette'	0.2520230 $\pm$ 0.003698179	b
M_ 'Estac'	0.2458762 $\pm$ 0.002293924	b
N_ 'Joliac'	0.2398133 $\pm$ 0.017016099	b
M_ 'Noisette'	0.2359104 $\pm$ 0.012890039	b
M_ 'Joliac'	0.2014853 $\pm$ 0.004992447	c
O2_ 'Noisette'	0.1198846 $\pm$ 0.008550495	d
O2_ 'Estac'	0.09171891 $\pm$ 0.008141639	e
O2_ 'Joliac'	0.08160722 $\pm$ 0.011340000	e
O3_ 'Estac'	0.05444468 $\pm$ 0.002901831	f
O3_ 'Noisette'	0.05245198 $\pm$ 0.003652241	f
O3_ 'Joliac'	0.04818199 $\pm$ 0.002428696	f

PRILOGA G11: Analiza variance (ANOVA) za povprečni bioakumulacijski faktor za Zn pri rdeči pesi.

Vir variabilnosti	SP	VKO	SKO	F statistika	P vrednost
Del rastline	1	0.004747	0.004747	1.4786	0.2345
Lokacija: del rastline	4	0.143749	0.035937	11.1935	0.0000
Sorta: del rastline	1	0.000769	0.000769	0.2395	0.6285
lokacija:sorta : del rastline	4	0.014653	0.003663	1.1410	0.3585

PRILOGA G10: Duncanov preizkus mnogoterih primerjav za interakcijo "lokacija:del rastline". Med povprečji z enako črko ni statistično značilnih razlik pri $\alpha = 0,05$.

Obravnavanje	Povprečni bioakumulacijski faktor za Zn	
listi_N	0.366199 $\pm$ 0.035315257	a
koren_M	0.2694855 $\pm$ 0.016815972	b
koren_N	0.2383692 $\pm$ 0.022461510	bc
listi_O2	0.2074563 $\pm$ 0.018892286	bcd
koren_O1	0.1943760 $\pm$ 0.002544901	cd
listi_M	0.1552855 $\pm$ 0.012826005	d
koren_O2	0.1494724 $\pm$ 0.034612954	d
listi_O1	0.1427420 $\pm$ 0.016769829	d
listi_O3	0.07704628 $\pm$ 0.029985288	e
koren_O3	0.03107221 $\pm$ 0.008042798	e