

**VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA**

**MAGISTRSKO DELO**

**VSEBNOSTI KOVIN V KRMNEM SIRKU (*SORGHUM  
BICOLOR* (L.) MOENCH) IN MISKANTUSU (*MISCANTHUS X  
GIGANTEUS*)**

**URŠKA TURNŠEK**

**VELENJE, 2021**

**VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA**

MAGISTRSKO DELO

**VSEBNOSTI KOVIN V KRMNEM SIRKU (*SORGHUM  
BICOLOR* (L.) MOENCH) IN MISKANTUSU (*MISCANTHUS X  
GIGANTEUS*)**

URŠKA TURNŠEK

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: doc. dr. Cvetka Ribarič Lasnik

Somentorica: dr. Nadja Romih

VELENJE, 2021

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

### SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Urška Turnšek** lahko izdela magistrsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

**Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*)**

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku:

**Metal content in fodder sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and miscanthus (*Miscanthus x giganteus*)**

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

Somentorica: **dr. Nadja Romih**

Magistrsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom.

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



Izr. prof. dr. Boštjan Pokorny  
dekan

Visoka šola za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

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

[www.vsvo.si](http://www.vsvo.si)



## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Urška Turnšek, vpisna številka 3410024, študentka podiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica magistrskega dela z naslovom **Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*)**, ki sem ga izdelala pod:

- mentorstvom doc. dr. Cvetke Ribarič Lasnik in
- somentorstvom dr. Nadje Romih.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

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

Datum:

Podpis avtorice: \_\_\_\_\_

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

## ZAHVALA

Zahvaljujem se Inštitutu za okolje in prostor (IOP) iz Celja in Nacionalnemu laboratoriju za zdravje, okolje in hrano (NLZOH) v Celju za izvajanje in pomoč pri izvedbi eksperimentalne metode raziskovalnega dela magistrske naloge.

Zahvaljujem se mentorici, doc. dr. Cvetki Ribarič Lasnik, in somentorici, dr. Nadji Romih, za strokovno pomoč in podporo pri opravljanju magistrskega dela.

Na koncu se zahvaljujem predvsem mojim najdražjim, možu Jerneju in hčerki Emi, staršem, bratu in sestri, Jernejevi družini in prijateljem za potrpežljivost in pomoč ter podporo pri pisanju magistrskega dela.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Turnšek U.:** Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*)

## IZVLEČEK:

Na podlagi številnih raziskav na območju Celjske kotline, ki so bile opravljene od leta 1989 naprej, je jasno, da je območje Celja onesnaženo z nekaterimi kovinami. Potencialno toksične kovine v tleh ostanejo tudi po prenehanju onesnaženja, njihova razgradnja pa lahko traja tudi več stoletij.

V našem magistrskem delu smo opazovali privzem kovin (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Tl in Ti) in polkovine As v rastlinske dele (korenine, stebila, semena) krmnega sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusa (*Miscanthus x giganteus*) na treh lokacijah na območju Celjske kotline (Šentjur, Medlog, Bukovžlak) v letu 2017 in 2018 ter s pomočjo metode LCA primerjali življenjski cikel rastlin z vidika obremenjevanja okolja. Vsebnosti kovin v rastlinah so odvisne od vsebnosti kovin v tleh in pH vrednosti tal. Glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96) so bile v Šentjurju prekoračene mejne vrednosti za Cd in Ni; v Medlogu je bila prekoračena mejna vrednost za As in opozorilne vrednosti za Cd, Pb in Zn; v Bukovžlaku sta bili prekoračeni opozorilni vrednosti za Cd in Pb in kritična vrednost za Zn. Glede na priporočila Mailander in Hammann je bila v Bukovžlaku prekoračena vrednost Tl v tleh. pH vrednosti tal so bile med 6,96 in 7,28.

Rezultati za krmni sirek na vseh onesnaženih območjih kažejo večjo mobilnost Cd, Mo, Ti in Zn ter slabšo mobilnost Ni, As, Pb in Tl. Rezultati za miskantus na vseh onesnaženih območjih kažejo večjo mobilnost Ti, Mo in Cd ter slabšo mobilnost Zn, Ni, As, Pb in Tl. Glede na dobljene rezultate faktorjev TF in BAF lahko rečemo, da je krmni sirek primeren za odstranjevanje Cd, Mo in Ti na območju Šentjurja in Bukovžlaka in Zn na območju Šentjurja. V Bukovžlaku je miskantus primeren za fitoremediacijo Ti in dobro privzema tudi Mo, na območju Medloga bi miskantus najbolje privzema Ti in Mo.

**Ključne besede:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Miscanthus x giganteus*, težke kovine, privzem kovin v rastline, translokacijski faktor (TF), bioakumulacijski faktor (BAF), LCA metoda.

## ABSTRACT:

Based on numerous researches in the area of the Celje valley, which have been carried out since 1989, it is clear that the area of Celje is polluted with certain metals. Potentially toxic metals remain in the soil even after the contamination has stopped and their decomposition can take centuries.

In our master's thesis we observed the uptake of metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Tl and Ti) and semi-metal As into plant parts (roots, stems, grains) of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) at three locations in the Celje valley (Šentjur, Medlog in Bukovžlak) in 2017 and 2018 and using the LCA method to compare the life cycle assesment of plants in terms of environmental pollution load. The content of metals in plants thus depends on the content of metals in the soil and the pH value of the soil. According to the Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96), the limit values for Cd and Ni were exceeded in Šentjur; in Medlog, the limit value for As and the warning values for Cd, Pb and Zn were exceeded; in Bukovžlak, the warning values for Cd and Pb and the critical value for Zn were exceeded. According to the recommendations of Mailander and Hammann, the value of Tl in the soil was exceeded in Bukovžlak. Soil pH values were between 6.96 and 7.28.

The results for fodder sorghum in all contaminated areas show higher mobility of Cd, Mo, Ti and Zn and poorer mobility of Ni, As, Pb and Tl. The results for miscanthus in all contaminated areas show higher mobility of Ti, Mo and Cd and poorer mobility of Zn, Ni, As, Pb and Tl. According to the obtained results of TF and BAF factors, it can be said that fodder sorghum is suitable for the removal of Cd, Mo and Ti in the area of Šentjur and Bukovžlak and Zn in the area of Šentjur. In Bukovžlak, miscanthus is suitable for phytoremediation of Ti and also absorbs Mo well, in the area of Medlog, miscanthus would best absorb Ti and Mo.

**Key Words:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Miscanthus x giganteus*, heavy metals, metal uptake in plants, translocation factor (TF), bioaccumulation factor (BAF), LCA method.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	10
1.1	OPREDELITEV RAZISKOVALNE TEME .....	11
1.2	NAMEN IN CILJI MAGISTRSKEGA DELA .....	11
1.3	NAČRTOVANE METODE DELA .....	12
1.4	HIPOTEZE MAGISTRSKEGA DELA .....	12
<b>2</b>	<b>PREGLED LITERATURE</b> .....	13
2.1	TEŽKE KOVINE .....	13
2.1.1.	OBRAVNAVANE TEŽKE KOVINE IN As .....	14
2.2	KOVINE V TLEH .....	16
2.2.1.	Pregled literature glede vsebnosti kovin v tleh na območju občine Celje.....	18
2.3	ESENCIALNI IN NEESENCIALNI ELEMENTI V RASTLINAH.....	20
2.4	PRIVZEM KOVIN V RASTLINE .....	20
2.4.1.	Izbira rastlin glede na kontaminirana tla.....	21
2.5	PREGLED VELJAVNE ZAKONODAJE .....	22
2.6	KRMNI SIREK.....	24
2.6.1	Hranilna vrednost krmnega sirka .....	25
2.6.2	Gnojenje krmnega sirka.....	26
2.6.3	Pridelava krmnega sirka v Sloveniji in drugod po svetu .....	27
2.7	MISKANTUS .....	29
2.7.1.	Kurilna vrednost miskantusa.....	30
2.7.3.	Pridelava miskantusa v Sloveniji in drugod po svetu.....	31
<b>3</b>	<b>MATERIALI IN METODE</b> .....	33
3.1	VZORČNA MESTA .....	33
3.2	VZORČENJE RASTLIN .....	35
3.3	PRIPRAVA VZORCEV .....	36
3.4	IZRAČUN TRANSLOKACIJSKEGA (TF) IN BIOAKUMULACIJSKEGA (BAF) FAKTORJA.....	37
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b> .....	38
4.1	VPLIV VREMENSKIH POGOJEV NA RAST KRMNEGA SIRKA IN MISKANTUSA 38	
4.2	VSEBNOST KOVIN V TLEH .....	40
4.3	DISTRIBUCIJA IN VSEBNOST KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH KRMNEGA SIRKA IN MISKANTUSA.....	41
4.3.1.	Distribucija in vsebnost Cd v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa ....	41
4.3.2.	Distribucija in vsebnost Pb v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa ....	42



4.3.3.	Distribucija in vsebnost Zn v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa ....	43
4.3.4.	Distribucija in vsebnost Ni v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa .....	44
4.3.5.	Distribucija in vsebnost As v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa ....	45
4.3.6.	Distribucija in vsebnost Mo v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa.....	46
4.3.7.	Distribucija in vsebnost Tl v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa.....	47
4.3.8.	Distribucija in vsebnost Ti v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa.....	48
<b>4.4</b>	<b>TRANSLOKACIJA TER BIOAKUMULACIJA KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH KRMNEGA SIRKA IN MISKANTUSA .....</b>	<b>49</b>
4.4.1.	Translokacija in bioakumulacija Cd.....	49
4.4.2.	Translokacija in bioakumulacija Pb.....	49
4.4.3.	Translokacija in bioakumulacija Zn.....	50
4.4.4.	Translokacija in bioakumulacija Ni.....	51
4.4.5.	Translokacija in bioakumulacija As.....	51
4.4.6.	Translokacija in bioakumulacija Mo.....	52
4.4.7.	Translokacija in bioakumulacija Tl.....	53
4.4.8.	Translokacija in bioakumulacija Ti.....	54
<b>4.5</b>	<b>REZULTATI KOVIN As, Cd in Pb V RASTLINSKIH DELIH KRMNEGA SIRKA GLEDE NA VELJAVNO ZAKONODAJO .....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>LCA METODA.....</b>	<b>56</b>
5.1	LCA METODA NA PRIMERU KRMNEGA SIRKA .....	58
5.2	LCA METODA NA PRIMERU MISKANTUSA.....	60
<b>6</b>	<b>RAZPRAVA.....</b>	<b>66</b>
6.1	VSEBNOST KOVIN V TLEH GLEDE NA VELJAVNO ZAKONODAJO IN PRETEKLE RAZISKAVE NA OBMOČJU CELJA IN SLOVENIJE.....	66
6.2	VSEBNOST KOVIN V RASTLINAH.....	68
<b>7</b>	<b>SKLEP .....</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>POVZETEK .....</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM UPORABLJENIH VIROV.....</b>	<b>75</b>
<b>11</b>	<b>PRILOGE .....</b>	<b>80</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1:</b> Pregled nekaterih značilnosti Cd, Pb, Zn, Ni, As, Mo, Tl in Ti.....	14
<b>Preglednica 2:</b> Stopnja onesnaženosti glede na normativne vsebnosti Uredbe o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh .....	17
<b>Preglednica 3:</b> Vsebnost kovin (mg/kg) v zgornjem sloju tal na območju stare občine Celje (n = 117) in stopnja onesnaženosti izražena z deležem lokacij v določenem koncentracijskem območju glede na *zakonodajo v Sloveniji .....	18
<b>Preglednica 4:</b> Povprečne vsebnosti kovin (mg/kg) v zgornjem sloju tal (0 - 5 cm, vrtovi 0 – 20 cm) na območju Celja .....	19
<b>Preglednica 5:</b> Najvišje vsebnosti nezaželenih snovi v proizvodih, namenjeni prehrani živali .....	22
<b>Preglednica 6:</b> Mejne, opozorilne in kritične vrednosti kovin v tleh.....	23
<b>Preglednica 7:</b> Hranilna vrednost krmnega sirka in koruze na 100 g.....	26
<b>Preglednica 8:</b> Priporočene količine hranil za krmni sirek .....	26
<b>Preglednica 9:</b> Priporočene količine hranil za miskantus .....	31
<b>Preglednica 10:</b> Vsebnost kovin v vzorcih tal (v mg/kg suhe snovi vzorca) .....	40
<b>Preglednica 11:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Cd krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	49
<b>Preglednica 12:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Pb krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	50
<b>Preglednica 13:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Zn krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	50
<b>Preglednica 14:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ni krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	51
<b>Preglednica 15:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) As krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	52
<b>Preglednica 16:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Mo krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	53
<b>Preglednica 17:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Tl krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	53
<b>Preglednica 18:</b> Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ti krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	54
<b>Preglednica 19:</b> Primerjava vsebnosti kovin As, Cd in Pb v semenih krmnega sirka na območju Šentjurja in Bukovžlaka v letu 2017 in 2018 glede na zakonodajo o krmi za živali .....	55
<b>Preglednica 20:</b> Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave krmnega sirka na območju 1 ha v obdobju 1 leta .....	58
<b>Preglednica 21:</b> Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave krmnega sirka na območju 1 ha v obdobju 10 let .....	59
<b>Preglednica 22:</b> Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave miskantusa na območju 1 ha v obdobju 1 leta .....	60
<b>Preglednica 23:</b> Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave miskantusa na območju 1 ha v obdobju 10 let .....	61
<b>Preglednica 24:</b> Kategorije vplivov, merske enote in vrsta onesnaženja, ki se pojavljajo pri pridelavi krmnega sirka in miskantusa po metodi LCA (od vrat do vrat) ter primerjava z drugimi viri.....	64
<b>Preglednica 25:</b> Mejne vrednosti privzema kovin v mg/kg suhe snovi v nadzemne dele rastlin v normalnem območju, območju akumulatorjev in hiperakumulatorjev .....	71

## KAZALO GRAFOV

<b>Graf 1:</b> Prikaz pridelave drugih zel. krm, enol. posev., med katere spada tudi krmni sirek v različnih letih v Sloveniji.....	27
<b>Graf 2:</b> Prikaz pridelave sirka za zrnje v letih 2000 in 2010 v Sloveniji.....	27
<b>Graf 3:</b> Prikaz površine (ha) za pridelavo krmnega sirka v 5 letih po svetu.....	28
<b>Graf 4:</b> Prikaz pridelka krmnega sirka na hektar (t/ha) v 5 letih po svetu.....	28
<b>Graf 5:</b> Prikaz površine (ha) za pridelavo miskantusa v 5 letih v Evropski uniji.....	32
<b>Graf 6:</b> Prikaz pridelka miskantusa na hektar (t/ha) v 5 letih v Evropski uniji.....	32
<b>Graf 7:</b> Walter-Gausenov klimadiagram za rastno sezono krmnega sirka in miskantusa v obdobju 2017/2018.....	38
<b>Graf 8:</b> Walter-Gausenov klimadiagram za rastno sezono krmnega sirka in miskantusa v obdobju 2018/2019.....	38

## KAZALO GRAFIKONOV

<b>Grafikon 1:</b> Prikaz odstotkov proizvodnje CO <sub>2</sub> na območju 1 ha za krmni sirek (v 1 letu in v 10 letih).....	65
<b>Grafikon 2:</b> Prikaz odstotkov proizvodnje CO <sub>2</sub> na območju 1 ha za miskantus v 1 letu.....	65
<b>Grafikon 3:</b> Prikaz odstotkov proizvodnje CO <sub>2</sub> na območju 1 ha za miskantus v 10 letih. ....	65

## KAZALO SLIK

<b>Slika 1:</b> Semena krmnega sirka.....	24
<b>Slika 2:</b> Krmni sirek.....	24
<b>Slika 3:</b> Miskantus.....	30
<b>Slika 4:</b> Miskantus v rastnem obdobju.....	30
<b>Slika 5:</b> Zemljevid s prikazom lokacij vzorčnih mest.....	33
<b>Slika 6:</b> Nasad krmnega sirka v Bukovžlaku.....	33
<b>Slika 7:</b> Nasad krmnega sirka v Šentjurju .....	33
<b>Slika 8:</b> Nasad miskantusa v Šentjurju .....	34
<b>Slika 9:</b> Nasad miskantusa v Medlogu.....	34
<b>Slika 10:</b> Korenine krmnega sirka.....	35
<b>Slika 11:</b> Rizomi miskantusa .....	35
<b>Slika 12:</b> Mlin ZM 200 Retsch.....	36
<b>Slika 13:</b> Deli mlina.....	36
<b>Slika 14:</b> sejanje zmletih delov skozi sito.....	36
<b>Slika 15:</b> Pripravljeni zmleti deli rastlin za analize .....	36
<b>Slika 16:</b> Vsebnost Cd v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	41
<b>Slika 17:</b> Vsebnost Pb v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	42
<b>Slika 18:</b> Vsebnost Zn v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	43
<b>Slika 19:</b> Vsebnost Ni v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	44
<b>Slika 20:</b> Vsebnost As v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	45
<b>Slika 21:</b> Vsebnost Mo v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	46
<b>Slika 22:</b> Vsebnost Tl v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	47
<b>Slika 23:</b> Vsebnost Ti v koreninah, steblu in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh.....	48
<b>Slika 24:</b> Meje nekaterih sistemov na življenjski poti izdelkov .....	56

## 1 UVOD

Vedno večja urbanizacija in migracija ter poseljevanje primestnih območij ter hkrati na drugi strani razpršena gradnja na podeželju nam vztrajno zmanjšuje kvalitetne površine kmetijskih zemljišč, ki jih nujno potrebujemo za samooskrbo. Poleg vedno večje poseljenosti v mestih in okolici pa se na podeželju vedno pogosteje pojavljajo zapuščene kmetije in neobdelane površine v zaraščanju. Na težje dostopnih terenih in v višjih legah se namreč zmanjšuje delež prebivalstva, ki je v preteklosti kmetijske površine obdeloval in skrbel za samooskrbo naselij. Vse to nas privede do iskanja novih površin za pridelavo rastlin v bližini mest, na katerih se bi lahko pridelovale rastline v namene prehrane ljudi in živali ali v energetske namene. Pogosto so v bližini mest najbolj dostopna in z vidika izkoriščenosti danega prostora primerna degradirana območja, ki jih lahko najdemo v vseh večjih mestih. Najpogosteje degradirana območja v mestih predstavljajo zapuščene in onesnažene t.i. »plombe« v prostoru, ki jih je potrebno revitalizirati.

Na podlagi številnih raziskav na območju Celjske kotline, ki so bile opravljene od leta 1989 naprej (prvo obsežnejšo raziskavo je opravil Lobnik idr. v letu 1989), je jasno, da je območje Celja onesnaženo z nekaterimi kovinami. Potencialno toksične kovine v tleh ostanejo tudi po prenehanju onesnaženja, njihova razgradnja lahko traja tudi več stoletij, zato je pomembno, da poskušamo iz onesnaženih tal s sanacijskimi in remediacijskimi ukrepi v čim večji meri odstraniti nevarne snovi in zmanjšati negativne vplive onesnaženja na zdravje prebivalcev.

Kovine so v tleh naravno prisotne v manjših koncentracijah in so za rast in razvoj rastlin izrednega pomena. Kadar pride s kovinami do prekomernega onesnaženja tal, tla pričnejo prepuščati težke kovine, ki lahko nato preidejo v podzemne vode ali v rastlinske dele. Kovine namreč nimajo sposobnosti biološke ali kemične razgradljivosti, ampak v tleh ostanejo še dolgo časa po onesnaženju. Kadar se koncentracija kovin v tleh in v rastlinah poveča, se lahko pojavi nevarnost in tveganje za zdravje ljudi in živali.

Pridelki, ki se gojijo na onesnaženih tleh, lahko kopičijo kovine do te ravni, da postanejo pridelki nevarni za zdravje živali in ljudi in povzročijo rakotvorne, kardiovaskularne in prebavne bolezni (Sharma in sod. 2014 v Mahmood-ul-Hassan 2017).

Na posameznem degradiranem območju je čas in način revitalizacije odvisen od različnih dejavnikov. Pomembno je poznati vrste onesnaževala, način in stopnjo onesnaženja, strukturo tal, nadaljnjo rabo prostora in upoštevati ekonomski vidik revitalizacije. Na trgu se je skozi leta raziskalo in uporabilo veliko različnih vrst sanacijskih ukrepov, ki pa niso vedno okoljsko in finančno prijazna. Najpreprostejši je način z odkopavanjem onesnažene zemljine in predstavitev na drugo območje, s čimer pa je problem rešen le začasno in še vedno predstavlja kontaminirano zemljino v okolju. Vedno več študij preučuje možnosti odstranitve potencialno toksičnih kovin iz onesnažene zemljine z rastlinami, ki so za to primerne in ki jih lahko po žetvi uporabimo za druge namene. Postopek privzema nevarnih snovi v rastlino se imenuje fitoremediacija in je eden izmed cenejših, ekoloških in socialnih postopkov, s katerim zmanjšamo potencialno nevarne snovi v tleh. Poleg njene primarne naloge, odstranitve nevarnih snovi iz tal s fitoremediacijo izkoristimo onesnažena in degradirana območja in jih pripravimo na druge dejavnosti. Rastline, ki smo jih posejali na onesnažena tla, lahko po pobiranju uporabimo v različne namene, najpogosteje se uporabljajo za namene prehrane živali in v energetske namene. Pomembno je poznati, katere rastline so za privzem težkih kovin primerne in koliko onesnažil lahko v rastlinske dele privzamejo, da so še primerne za prehrano živali.

## 1.1 OPREDELITEV RAZISKOVALNE TEME

Področje onesnaženja tal s kovinami je že dolga leta pereč problem, ne samo v Sloveniji, ampak tudi drugod po svetu. Onesnažena območja ne predstavljajo samo nevarnosti za zdravje ljudi in živali, ampak so v prostoru pogosto prazna in degradirana območja, ki jih je potrebno izkoristiti za druge namene oz. revitalizirati. Remediacija posameznega degradiranega območja je odvisna od različnih dejavnikov, najpogosteje so to vrsta, način in stopnja onesnaženja, nadaljnja uporaba prostora in dejavnost ter finančna zmožnost investitorja.

Številne raziskave tal v Mestni občini Celje so pokazale, da je območje Celja obremenjeno s težkimi kovinami. Prevladuje onesnaženje s kadmijem, cinkom, in svincem. Kovine se v tleh dobro vežejo na organsko snov in glinene materiale, kar posledično pomeni, da ostajajo težke kovine v zgornjih slojih tal še dolgo časa po prenehanju izvajanja dejavnosti, ki onesnažujejo tla. Onesnažena tla v Mestni občini Celje so zlasti odraz izrazitega razvoja industrije v 19. in 20. stoletju ter posledica kmetijstva, prometa, zgoščenega urbanega naselja in odlaganja odpadkov (Zidanšek in sod. 2015, str. 17).

Eden od ukrepov remediacije onesnaženega ozemlja s težkimi kovinami je pozelenitev z energetskimi rastlinami *in situ*, s katerimi ne da samo lepšamo izgled okolice, pač pa tudi omejimo zapraševanje težkih kovin v okolico (Ribarič, Grabner in Romih 2010). Rastline, ki smo jih posejali na degradiranem območju, se lahko uporabijo za namene prehrane živali (krmni sirek) ali v energetske namene (miskantus).

## 1.2 NAMEN IN CILJI MAGISTRSKEGA DELA

Namen magistrskega dela je ugotoviti privzem težkih kovin v rastlinske dele (korenine, stebila, semena) krmnega sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusa (*Miscanthus x giganteus*) na treh lokacijah na območju Celjske kotline (Šentjur, Medlog in Bukovžlak) in primerjati življenjski cikel rastlin z vidika obremenjevanja okolja.

Cilji magistrskega dela:

- 1 grafično prikazati in opisno interpretirati primerjavo privzema težkih kovin v krmni sirek in miskantus na treh vzorčnih mestih v Celjski kotlini;
- 2 primerjati dobljene rezultate s slovensko zakonodajo glede prehrane živali s krmnim sirkom;
- 3 s pomočjo metode LCA prikazati in primerjati oceno življenjskega cikla krmnega sirka in miskantusa z vidika obremenjevanja okolja.

### 1.3 NAČRTOVANE METODE DE LA

Metode dela, ki jih bomo tekom priprave magistrskega dela uporabili:

- 1 opisna metoda: zbirali, pregledali in študirali bomo slovensko in tujo literaturo s področja privzema kovin v krmni serek in miskantus;
- 2 eksperimentalna metoda bo zajemala pripravo rastlinskih delov krmnega sirka in miskantusa za mletje; zmlate vzorce bomo primerno pripravili za analizo;
- 3 statistična metoda: statistično bomo obdelali in prikazali rezultate analiz;
- 4 LCA metoda (Life Cycle Assessment method): prikazali in primerjali bomo oceno življenjskega cikla krmnega sirka in miskantusa z vidika obremenjevanja okolja.

Pri eksperimentalni metodi smo korenine krmnega sirka in rizome miskantusa očistili in osušili ter s tem pripravili za mletje. Mletje in priprava (vsaj 1 gram suhe snovi) vzorcev rastlin je potekala v Nacionalnem laboratoriju za zdravje, okolje in hrano (NLZOH) v Celju, od tu smo vzorce poslali na analizo v laboratorij ACME-Lab v Vancouver. Rezultate analiz smo statistično obdelali, grafično prikazali in rezultate interpretirali. Z LCA metodo smo ocenili življenjski cikel obeh rastlin (krmnega sirka in miskantusa) z vidika obremenjevanja okolja, prikazali rezultate in jih med seboj primerjali.

### 1.4 HIPOTEZE MAGISTRSKEGA DE LA

Hipoteze magistrskega dela so naslednje:

- 1 vsebnost kovin in As v rastlinskih delih bo padala skladno s predvideno onesnaženostjo tal v Celju in okolici (Bukovžlak > Medlog > Šentjur);
- 2 na onesnaženih tleh bo večja vsebnost kovin in As v podzemnih delih rastlin (korenine in rizomi) kot v nadzemnih delih (steblo, semena);
- 3 vsebnost kovin in As v krmnem sirku bo pod zakonsko določeno mejno vsebnostjo za prehrano živali in bo primeren za prehrano živali, kadar raste na onesnaženih tleh;
- 4 življenjska cikla krmnega sirka in miskantusa se z vidika obremenjevanja okolja ne bosta bistveno razlikovala.

## 2 PREGLED LITERATURE

### 2.1 TEŽKE KOVINE

Izraz »težke kovine« se navadno uporablja za elemente, katerih specifična teža je večja od 5 g/cm<sup>3</sup> oziroma imajo atomsko število nad 20 (Barcelo in Poschenrieder 1990). V splošnem nas izraz »težke kovine« spominja na element, ki ga najpogosteje najdemo v industrijski dejavnosti in s katerim okolje prepoznamo kot onesnaženo. Kljub pogosto uporabljenemu izrazu in večletnim raziskavam se izraz »težka kovina« še vedno uporablja za različne skupine elementov in zelo raznoliko skupino spojin teh elementov.

Kovine so po kemični definiciji opredeljene kot »elementi, ki prevajajo elektriko, imajo kovinski sijaj, so duktilne, tvorijo katione in imajo osnovne okside«. Izraz »težka« običajno pomeni veliko gostoto, medtem ko se izraz »kovina« nanaša na čisti element ali zlitino kovinskih elementov, ki je definirana s fizikalnimi lastnostmi elementarnega stanja, kot so npr. elementi s kovinskim sijajem, zmožnostjo izgube elektronov za oblikovanje pozitivnih ionov ter sposobnostjo prevajanja toplote in električne energije (Duffus 2002).

V literaturi lahko zasledimo različne opredelitve glede gostote težkih kovin. Na splošno velja, da se kovine delijo na dve skupini: lahke kovine z gostoto pod 4 in težke kovine z gostoto nad 7. Prav tako obstajajo različna pojmovanja glede atomske mase težkih kovin. Izraz težke kovine je v splošnem izraz za kovine z visoko atomsko maso, zlati to velja za tiste kovine, ki so strupene in jih živi organizmi ne zmorejo predelati ter v okolju ostajajo (svinec, živo srebro in kadmij). Glede na strupenost je razlikovanje med kovinami odvisno od kemijskih lastnosti kovine in njegove spojine ter biološke lastnosti ogroženega organizma (Duffus 2002).

V zadnjih dveh desetletjih je izraz »težke kovine« postal pogosto uporabljen izraz, ki se uporablja kot skupno ime za kovine in polkovine (metaloide), ki jih povezujemo z onesnaženostjo tal. Pravni predpisi pogosto sami določajo seznam težkih kovin, do katerih predpisi veljajo, ki pa se pogosto razlikujejo in izraz uporabljajo za različne sezname kovin. Velikokrat je izraz uporabljen samo na splošno in ne opredeljuje točno, za katere kovine se uporablja. Čeprav ni dokazano, naj bi težke kovine in njihove spojine imele visoke toksične ali ekotoksične lastnosti. V izogib neenotni uporabi izraza težke kovine bi bilo potrebno določiti seznam elementov po periodnem sistemu, ki bi moral odražati razumevanje kemijske osnove toksikologije in predvideti toksične učinke posamezne težke kovine (Duffus 2002).



Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

## 2.1.1. OBRAVNAVANE TEŽKE KOVINE IN As

*Preglednica 1: Pregled nekaterih značilnosti Cd, Pb, Zn, Ni, As, Mo, Tl in Ti (prirejeno po Kugonič 2009; Alloway 2013; Adriano 2001; Kabata-Pendias in Pendias 2001; Kabata-Pendias 2011; Jamšek in Šarc 2009; Černe 2009; Gosar in Šajn 2005; Košak in Obreza 2012; Obreza 2008; Dart s sod., 2004 in Likar 1998)*

	KADMIJ (Cd)	SVINEC (Pb)	CINK (Zn)	NIKELJ (Ni)
<b>Esencialnost</b>	neesencialen	neesencialen	esencialen	esencialen za nekatere rastline in organizme
<b>Antropogeni viri</b>	topilnice, barvna metalurgija, industrija (baterije, plastika), fosilna goriva, promet, pesticidi, gnojila, sežigalnice odpadkov, cigareti	promet, rudarstvo, topilnice, fosilna goriva naftna, kovinska industrija, pesticidi, naboji za strelno orožje, ribiške svinčeve uteži	avtomobilska (antikorozijska sredstva), farmacevtska in kemična industrija ter mineralna gnojila	železarne, jeklarne, rafinerije, metalurgija, čistilne naprave z odlaganjem blata
<b>Vsebnosti v zemeljski skorji</b>	0,15–0,20 mg/kg	13–16 mg/kg	70 mg/kg	80 mg/kg
<b>Najpogostejše oblike v tleh</b>	kisla: Cd <sup>2+</sup> , CdSO <sub>4</sub> , CdCl <sup>+</sup> bazična: Cd <sup>2+</sup> , CdCl <sup>+</sup> , CdSO <sub>4</sub> , CdHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	kisla: Pb <sup>2+</sup> , Pb-org, PbSO <sub>4</sub> bazična: PbCO <sub>3</sub> , PbHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup> , Pb-org, Pb(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , PbOH <sup>+</sup>	najbolj mobilni v kislih mineralnih tleh s pH=4-5; odvisen od vrste rastline, pH in prisotnosti drugih ionov (Ca, Fe, Cu, P, Ni)	v obliki sulfidov, arzenidov in arzenatov ter v manj pogosti obliki - nikljevi silikati
<b>Biodostopnost</b>	velika, če se pH 7 zmanjša, je organska snov in glina, največja na sed. kamninah	večajo jo anaerobni pogoji in nizek pH, nizke vsebnosti org. snovi in fosfati	odvisen od vrste rastline, pH in prisotnosti drugih ionov (Ca, Fe, Cu, P in Ni); najbolj mobilni v kislih mineralnih tleh s pH=4-5	lažje se absorbira v rastline v ionski obliki, v topni fazi se hitro absorbira v korenine, pri višjem pH se zmanjša privzem
<b>Vnos v rastline</b>	pasiven ali aktiven, zelo mobilni v rastlini, zračna depozicija in daljinski transport pomembna, privzem iz tal, omejujejo mikorizne povezave	pasiven, transport iz korenin v ostale dele rastlin zelo majhen, zračna depozicija in vnos preko listov višajo vsebnost, omejujejo mikorizne povezave	največ Zn je v koreninah in starejših listih, najmanj v plodovih; srednja do visoka mobilnost	zelo mobilni v rastlini, najbolj se kopiči v semenih
<b>Vnos v ljudi</b>	hrana (absorbira se <5 % zaužitega), pitje z inhalacijo do 50-krat manj vnosa, večina se izloči z urinom, prenos na plod preko placente je majhen	hrana, vdihavanje, pitje. absorbira se 10-50 % inhaliranega Pb in 2-20 % zaužitega Pb, otroci absorbirajo več kot odrasli, znaten prenos prek placente, večina se ga izloči z urinom, iztrebljanjem. kopičenje v kosteh	izloča se z blatom	preko pljuč, prebavnega trakta in kože; absorbira se približno 20–35 % inhaliranega Ni, izloča se z urinom, v manjši meri pa preko potenja in z maternim mlekom
<b>Potencialna toksičnost</b>	toksičen za rastline, živali in ljudi	toksičen za rastline, živali in ljudi		toksičen za rastline, živali in ljudi
<b>Strupenost za ljudi (najpomembnejše motnje)</b>	poškodbe ledvic, zmanjšana rast, anemija, slaba mineralizacija kosti, malformacija ploda, kancerogenost	poškodbe ledvic, vpliv na centralni živčni sistem, poškodbe srca in ožilja, poškodbe prebav. trakta, inhibicija encimov, anemija, kancerogenost, zmanjšana spermatogeneza	pomanjkanje Zn povzroči anemijo, zaustavitev rasti, neodpornost; prevelike količine (vdihavanje delcev) lahko povzročijo motnje v reprodukciji in počasnejši razvoj zarodka	kontaktni dermatitis (najbolj razširjena alergija pri ženskah); slabost, vrtoglavica, glavobol, bolečine v prsih; zaužite velike količine pri otrocih lahko vodijo v srčni zastoj; potencialno kancerogen (Ni(CO) <sub>4</sub> )
<b>Akumulacijski organ</b>	ledvice > jetra (razm. cca 10:1)	kosti (90 %) > ledvice > jetra	mišice in kosti	pljuča, ledvica, jetra
<b>Mejne imisijske vrednosti v tleh (Ur. I. RS 68/96)</b>	1 2 12	85 100 530	200 300 720	50 70 210
<b>MDK v krmu (Ur. I. RS 101/06)</b>	1 mg/kg suhe mase	30 mg/kg suhe mase	/	/
<b>Problematičnost po ATSDR, 2015</b>	7.	2.	75.	57.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

	ARZEN (As)	MOLIBDEN (Mo)	TALIJ (Tl)	TITAN (Ti)
<b>Esencialnost</b>	neesencialen	esencialen za vse aerobne organizme	neesencialen	možno, da je esencialen za rastline in živali
<b>Antropogeni viri</b>	barvna metalurgija, rudarstvo, topilnice, pesticidi, veterinarski pripravki, industrija (kemična), fosilna goriva, kemično orožje	rudarstvo, topilnice, pri izdelavi keramike, gnojila, z odlaganjem blata	električna in elektronska industrija, medicina, industrija barvil ter impregnacija usnja in lesa	pri izdelavi industrijske kemijske opreme, v medicini, konstrukcijski material v letalstvu in ladjarstvu
<b>Vsebnosti v zemeljski skorji</b>	1,5 – 2 mg/kg	1,5 – 2,5 mg/kg	0,5 – 1,0 mg/kg	0,4 – 0,57 mg/kg
<b>Najpogostejše oblike v tleh</b>	različne As <sup>3+</sup> in As <sup>5+</sup> soli	v naravi se pojavlja kot molibatni(VI) ion (MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	v naravi se ne pojavlja v prostem stanju, ampak v mineralih: TlAsS <sub>2</sub> in Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	pojavlja se predvsem v mineralni obliki, in sicer: TiO <sub>2</sub>
<b>Biodostopnost</b>	najvišja pri nevtralnem pH in slabo alkalnem pH, nizki vsebnosti fosfatov zmanjša jo organska snov mobilne zlasti As <sup>3+</sup> oblike	odvisna od pH, v območju nevtralnega je adsorpcija slaba, vendar raste s padajočim pH; slabša na kisljih tleh	odvisna od vremenskih razmer (ko je suša, lahko rastlina kopičenje Tl bistveno zmanjša), pH tal (privzem do 50 % večji pri pH=5,6 kot pri pH=6,2) in od rastlinske vrste	zelo majhna
<b>Vnos v rastline</b>	pasiven, v obliki Al in Fe oksidov večina As v rastlinah je v koreninah in starih listih	v rastlino prehaja s privzemom preko korenin in difuzije, v rastlini pomemben za presnovo N	zelo mobilen v rastlinah, fitotoksičen	razmeroma nedosegljiv za rastline in težko mobilen v njih; obstaja nekaj poročil o njegovih pozitivnih učinkih na pridelek
<b>Vnos v ljudi</b>	absorpcija 40–100 % hrana, pitje, z dihanjem se ne vnaša, prenos prek placente je majhen v telesu v organski obliki (arzenobetain) 75 % se ga izloči z urinom	zaužijemo skoraj v celoti (90–99 %) s hrano; glavni organ za izločanje so ledvice, nekoliko manj se izloči z blatom, skoraj zanemarljivo pa je izločanje s potenjem	v nizkih vsebnostih prisotna v človeškem tkivu s povprečnim vnosom manj kot 5 µg/dan (večinoma pridobljen iz zelenjave)	v medicini ga uporabljajo kot biokompatibilen implantat.
<b>Potencialna toksičnost</b>	toksičen za rastline, živali in ljudi	> 20 mg/kg možna toksičnost za živali	toksičen za rastline, živali in ljudi	/
<b>Strupenost za ljudi (najpomembnejše motnje)</b>	potencialno kancerogen, teratogen, mutagen, bruhanje, diareja, obolenja kože, motnje centralnega živčnega sistema, zmanjšana rast, poškodbe jeter, paraliziranost	zanesljivih podatkov o toksičnosti pri ljudeh je malo in so v glavnem omejene na delavce v rudnikih, ki so izpostavljeni prašnim delcem, pri dolgotrajnem vdihavanju se pojavijo težave s dihalni	kronična zastrupitev: utrujenost, glavobol, nespečnost, slabost in bruhanje, bolečine v mišicah in sklepkih, odrevenelost prstov na rokah in nogah, izpadanje las lahko sledi po preteku nekaj tednov	predlog o razvrstitvi titanovega dioksida v skupino kancerogenih snovi 2A po IACR (možnost povzročitve raka pri inhalaciji)
<b>Akumulacijski organ</b>	možgani, mišičnina, ledvice, jetra, vranica	jetra in ledvice		
<b>Mejne, opozorilne in kritične imisijske vrednosti v tleh (Ur. I. RS 68/96)</b>	20 30 55	10 40 200	/	/
<b>MDK V krmi (Ur. I. RS 101/06)</b>	2 mg/kg suhe mase	/	/	/
<b>Problematičnost po ATSDR, 2005</b>	1.	/	275.	/

## 2.2 KOVINE V TLEH

Tla so stična točka med litosfero (Zemljino skorjo), hidrosfero in atmosfero. Nastajajo s preperevanjem kamninske osnove in tvorbo humusa ob razgradnji organskih ostankov v tleh. V spodnjih plasteh tal prevladujejo mineralne komponente, ki v geokemični sestavi odražajo izvorno kamninsko osnovo. V zgornjih plasteh je mineralni osnovi primešana organska snov, ki daje tlu temnejšo barvo in potencial za mikrobiotično aktivnost. Zaradi počasnega nastajanja uvrščamo tla med neobnovljive naravne vire, neobhodno pomembne za obstoj človeštva (Zupan in sod. 2008, str. 10).

Vnos kovin v okolje je trajen in nepovraten poseg v okolje. Narava sama pozna načine razgraditve mnogih, tudi toksičnih snovi. Vendar težke kovine, kot prvine, se v tleh ne razgrajujejo, ampak ostajajo. Samo sprejem kovin v nadzemne dele rastlin, spiranje in erozija tal prispevajo k zmanjševanju vsebnosti težkih kovin v tleh. Po nekaterih ocenah je čas, v katerem se koncentracija kovine v tleh zmanjša za polovico za Zn 70 do 510 let, za Cd 13 do 1.100 let, za Cu 310 do 1.500 let in za Pb 740 do 5.900 let (Kabata-Pendias in Pendias 2001 v Ribarič Lasnik idr. 2010, str. 1).

Imisija snovi v tleh je gostota posamezne nevarne snovi v tleh in se izraža v miligramih ali mikrogramih na kilogram mase suhih tal (Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh 1996).

Seznam onesnaževal v tleh je dolg in vključuje organske in anorganske snovi ter škodljive organizme. Največkrat v tleh kot onesnaževalo najdemo težke kovine in metaloide, sledijo jim policiklični aromatski ogljikovodiki, obstojna organska onesnaževala, pesticidi, dušik in fosfor v previsokih koncentracijah, radionuklidi, patogeni mikroorganizmi in nato drugi. Glede na vire in prostorsko razporeditev onesnaženj tal poznamo lokalno/točkovno in razpršeno onesnaženje tal. Lokalno/točkovno onesnaženje se pojavlja v manjšem obsegu, kar predstavlja nekaj deset m<sup>2</sup> ali ha. Posledice onesnaženja so vidne, prav tako je poznan vir in način onesnaženja. Najpogosteje se točkovni način onesnaženja pojavlja zaradi lokalnih antropogenih industrijskih dejavnosti (opuščenih in delujočih), odlagališč odpadkov, različnih razlitij, rudarstva, železarstva, kovinske in elektro industrije, uporabe kmetijskih, industrijskih in vojnih kemikalij itd. Razpršeno onesnaženje označuje onesnažena območja v širšem obsegu, kar predstavlja desetine/stotine km<sup>2</sup>. Onesnažila v tleh najpogosteje ne izvirajo samo iz ene vrste onesnaževal, ampak gre pogosto za več različnih virov onesnaženja, ki so posledica zračnega transporta ali poplavne dejavnosti. Med glavne vire lahko štejemo promet, industrijske izpuste in poselitev, mednje pa prištevamo tudi onesnažene odpadne vode, uporabo blata iz čistilnih naprav, fitofarmacevtska sredstva, onesnažena gnojila, erozijo tal, poplave, preizkuse jedrskega orožja itd. (Vrščaj 2018).

Anorganske snovi v tleh, med katerimi je večina kovin oziroma težkih kovin, se v tleh pojavljajo kot posledica naravnih procesov, predvsem je to preperevanje kamninske osnove, ter zaradi človekovih aktivnosti, kot so rudarjenje in taljenje rude, industrija, promet, kmetijstvo, odlaganje odpadkov ... Rudarjenje in taljenje rude je na prvem mestu dejavnosti, ki so vzrok za povečano vsebnost kovin v tleh, predvsem As, Cd, Hg, in Pb, posledica prometa so predvsem povečane koncentracije Pb in Cd, kmetijstvo danes prispeva predvsem z uporabo fitofarmacevtskih sredstev (Cu, nekoč tudi Hg in Pb) in mineralnih gnojil (Zn, Cd, As). Različna industrija prispeva različne kovine: industrija plastike Cd, Cr, Hg, Co, tekstilna industrija Zn, Sn, Al in Ti, metalurgija Pb, Cd, As, Cu, Zn, Cr, Ni, Mn in druge. Številni izvori kovin, naravni in antropogeni,

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

ter različni procesi premeščanja kovin v talnem profilu lahko mnogokrat otežijo identifikacijo izvora onesnaževanja (Zupan in sod. 2008, str. 28).

**Preglednica 2:** Stopnja onesnaženosti glede na normativne vsebnosti Uredbe o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Ur. l. RS, št. 68/96)

KONCENTRACIJA NEVARNIH SNOVI V TLEH (Ur. l. RS 68/96)	STOPNJA ONESNAŽENOSTI TAL	POTREBNI UKREPI	BODOČA RABA	PRIDELAVA HRANE IN KRME TER OBMOČJA ZA ZAJEM PITNE VODE
do mejne vrednosti	NEONESNAŽENO	preventiva	neomejena	neomejena
mejna vrednost do opozorilne vrednosti	MALO IN SREDNJE ONESNAŽENO (tveganja ne pričakujemo)	ostrejša preventiva in kontrola stanja tal	možne so vse rabe tal ob občasni kontroli stanja	omejena pridelava najbolj 'kritičnih' vrtnin, ne priporoča se intenzivna pridelava listne zelenjave in korenovk, kontrola vrtnin, krme in podtalnice
opozorilna vrednost do kritične vrednosti	MOČNO IN ZELO MOČNO ONESNAŽENO (tveganje je možno)	nadaljnje raziskave tal (določitev biodostopnosti); posredni sanacijski ukrepi (omejitve rabe tal), lahko tudi nekatere enostavne izvedbe neposrednih sanacijskih ukrepov	pogojno so možne vse rabe tal, vrtove za pridelavo vrtnin odsvetujemo, redna kontrola stanja - monitoring	zelo omejena pridelava vrtnin (le najmanj dovzetne za sprejem težkih kovin), redna in pogosta kontrola kmetijskih rastlin, krme in podtalnice
presežena kritična vrednost	KRITIČNO ONESNAŽENO (tveganje je zelo verjetno)	neposredni sanacijski ukrepi oziroma izključitev vsakovrstne rabe tal, ki lahko predstavlja izvor širjenja nevarnih snovi iz tal v okolje oziroma kakorkoli ogroža zdravje človeka	nekmetijska raba oziroma raba za kontrolirano pridelavo energetskih in industrijskih rastlin	prepovedana uporaba rastlin za prehrano živali in človeka, površine morajo biti ozelenjene, rastlinska masa se kompostira in odlaga na deponijo (rekultivacija deponij, avtocestnih brežin); kontrola podtalnice in eventualna začasna prepoved rabe vode za pitje

### 2.2.1. Pregled literature glede vsebnosti kovin v tleh na območju občine Celje

Na območju občine Celje se je od leta 1989 naprej, ko je prvo obsežnejšo raziskavo opravil Lobnik s sod., pričelo z obširnim spremljanjem stanja in opravljanje nadaljnjih raziskav na področju onesnaženja tal s potencialno toksičnimi kovinami. Celje je bilo v preteklosti izrazito industrijsko dejavno mesto, ki je zaradi urbanizacije in posledično vedno večjega prometa in industrije ter kmetijske dejavnosti v okolici mesta postalo onesnaženo z nekaterimi kovinami, ki so se v tleh dobro akumulirale. Zidanšek navaja, da so bile največje vsebnosti omenjenih težkih kovin določene v urbanih tleh na območju starega dela mesta ter na vzhodni 'industrijski' strani mesta in se tako onesnažena tla razprostirajo pretežno v smeri vzhod-zahod (Zidanšek in sod. 2015).

**Preglednica 3:** Vsebnost kovin (mg/kg) v zgornjem sloju tal na območju stare občine Celje (n = 117) (Lobnik in sod. 1989) in stopnja onesnaženosti, izražena z deležem lokacij v določenem koncentracijskem območju glede na \*zakonodajo v Sloveniji (Lobnik in sod. 2010, str. 16)

Nevarna snov	Povprečje	Min.–Maks.	Stopnja onesnaženosti izražena s % lokacij v posamezni kategoriji			
			< mejna	≥ mejna ≤ opozorilna	≥ opozorilna ≤ kritična	≥ kritična
Cd	2,5	0,2–21,4	50	21	25	4
Zn	337	55–3.010	56	15	19	10
Pb	99,5	17–657	65	7	27	1
Cu	24,8	5,6–99,5	96	4	-	-
Ni	25,2	1,9–76,4	95	3	2	-
Cr	25,1	4,8–61,1	100	-	-	-
As	6,4	1,0–85,0	96	2	1	1
Hg	0,32	< 0,1–1,39	95	5	-	-

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

V raziskavah, ki so sledile (Zupan in sod. 1994; Zupan in sod. 1997, Zupan in Klavs 2003), se je preučevala povezava med vsebnostjo kovin v tleh vrtov in zelenic ter vsebnosti kovin v vrtninah in indikatorskih rastlinah. Raziskave so potrdile visoke vsebnosti Cd, Zn in Pb. Njihove povprečne vsebnosti znatno presegajo slovenska povprečja. V preglednici 4 so navedene povprečne vsebnosti nekaterih elementov v zgornjem sloju tal, izmerjenih v različnih projektih od leta 1989 do 2008 (Zidanšek in sod. 2014, str. 15-16).

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Preglednica 4:** Povprečne vsebnosti kovin (mg/kg) v zgornjem sloju tal (0-5 cm, vrtovi 0–20 cm) na območju Celja (Lobnik in sod. 2010, str. 17)

	Lobnik in sod. 1989	Zupan in sod. 1994	Zupan in Klavs 2003	Zupan in sod. 1997	Šajn 2001	Šajn 2001	SLO Andjelov 1994	SLO ROTS 1989-2007
	Vse rabe n=117	Vrtovi n=7	Vrtovi n=53	Travniki in zelenice n=50	Travniki, vrtovi, zelenice n=66	Travniki, vrtovi, zelenice n=35	n=817	Vse rabe n=243-288
	<b>Bivša občina Celje</b>	<b>Obrobje mesta</b>	<b>MOC (brez Teharij in Medloga)</b>	<b>Ožje območje</b>	<b>Širše območje mesta</b>	<b>Urbani del mesta</b>	<b>Območje Slovenije</b>	<b>Območje Slovenije</b>
Cd	2,5	5,48	4,83	3,54	1,9	7,5	0,5	1,14
Zn	337	603	-	991	333	1.584	104	129
Pb	99,5	123,4	-	236	84	307	34	73
Cu	24,8	43,4	-	-	34	82	23	30,7
Ni	25,2	33,4	-	-	31	37	46	36,8
Cr	25,1	47,2	-	-	72	72	88	56,6
As	6,4	-	-	-	14	24	< 5,0	12,3
Hg	0,32	-	-	-	0,11	0,26	-	0,26

Opomba: Prikazani so tudi podatki nekaterih geokemičnih raziskav ter slovenska povprečja. Kemijske analize v okviru geokemičnih raziskav potekajo sicer po nekoliko drugačni metodologiji (štiri-kislinski razkroj vzorca namesto dvo-kislinskega), zato vrednosti ne moremo neposredno primerjati z ostalimi študijami in obstoječo zakonodajo v Sloveniji (kjer je predpisan razklop z zlatotopko).

Glede na rezultate iz Preglednice 4 lahko sklepamo, da so tla na območju Celja v zadnjih dveh desetletjih z nekaterimi kovinami, predvsem s kadmijem (Cd), cinkom (Zn) in svincem (Pb), bolj onesnažena kot v povprečju tla na celotnem območju Slovenije.

Povprečje, ki ga je določal Andjelov (1994), obsega veliko število meritev v okviru geokemičnih raziskav na različnih območjih Slovenije. Povprečje ROTS zajema podatke projekta Raziskave onesnaženosti tal Slovenije v obdobju 1989–2007 za vse lokacije, vključno z obremenjenimi območji (Zupan in sod. 2008), zato so vsebnosti za tipične antropogene elemente Cd, Pb, Zn in Cu nekoliko večje od naravnega ozadja na ozemlju Slovenije (Zidanšek in sod. 2014, str. 16).

Raziskava, ki je preučevala vertikalno razporeditev kovin po profilu, je pokazala višjo vsebnost kovin v zgornjem sloju tal in počasno migriranje skozi talni profil. Ugotovilo se je, da v zgornjem sloju travniških tal (0–5 cm) koncentracija svınca (Pb) bistveno presega opozorilno vrednost, koncentraciji kadmija (Cd) in cinka (Zn) pa celo kritično vrednost, medtem ko so na globini 15 do 20 cm vrednosti za vse tri kovine pod opozorilno vrednostjo. Ugotovljeno je bilo tudi, da je prostorska razporeditev kadmija, cinka in svınca podobna, kar je potrdil tudi Šajn (2001), ko je vzorčil tla in podstrešni prah (Zidanšek in sod. 2014).

S prostorsko analizo je bilo ugotovljeno, da je z vsaj enim elementom onesnaženih preko 7.000 ha površine bivše občine Celje; 2.800 ha je kmetijskih zemljišč, od tega 180 ha njiv (Lobnik in sod. 1994; Vršaj in sod. 2000 v Zidanšek in sod. 2014, str. 19).

### 2.3 ESENCIALNI IN NEESENCIALNI ELEMENTI V RASTLINAH

Kovine so neposredno in/ali posredno udeležene v rasti rastlin. Glede na njihov pomen pri rasti jih lahko razdelimo na esencialne mikro- (potrebni so v koncentracijah 20 ppm; npr. K, Ca, Na, Mg) ter neesencialne (npr. Cd, Ni, As, Co, V). Esencialnih elementov v smislu njihove biokemijske vloge ne morejo nadomestiti drugi elementi. Njihova odsotnost povzroči nenormalno rast ali motnjo v življenjskem ciklu rastline (Hagemeyer 1999 v Pavšič-Mikuž 2005, str. 11).

Najširši izbor nujno potrebnih mikro elementov zajema Al, B, Ca, Co, Cu, F, Fe, J, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Rb, Si, Ti, V in Zn. 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. Vnos v človekov organizem je možen neposredno z vdihovanjem prašnih talnih delcev v zraku oziroma z uživanjem tal preko umazanih rok ali pa posredno preko prehranjevalne verige. Tu bi radi poudarili, da so koncentracije posamezne kovine v rastlinskih tkivih lahko prevelike, tudi če rastlina sama ne kaže nobenih zunanjih znamenj toksičnosti in jih lahko ugotovimo le z analizo rastlinskega tkiva (Zupan in sod. 2008, str. 28).

### 2.4 PRIVZEM KOVIN V RASTLINE

Povečane koncentracije kovin se pogosto odražajo tudi v povečanih koncentracijah kovin v rastlinah, kar so potrdile tudi številne študije v občini Celje. Vsebnost kovin v rastlinah se povečuje glede na stopnjo onesnaženosti tal. Na sprejem kovin v rastline pa vplivajo tudi druge talne lastnosti, predvsem kislost tal, vsebnost organske snovi in gline; vrsta kovine in vrsta oziroma del rastline. Predvsem za kadmij (Cd) je značilno, da je mobilnost in dostopnost rastlinam večja v kislih tleh kot alkalnih (Lobnik in sod. 2010 str. 20). Koncentracija kovine v rastlini je odvisna tudi od dobre dostopnosti elementov v rastlino. Elementi Cd, B, Br, Cs in Rb imajo za večino rastlin dobro dostopnost, medtem ko so Pb, Ba, Ti, Zn, Sc, Bi, Ga in delno tudi Fe in Se težje sprejemljivi za rastline oziroma se slabo premeščajo od korenin v nadzemne dele (Adriano 2001; Kabata-Pendias in Pendias 1984).

Akumulacija kovin v rastlinskih tkivih je različna. Večinoma velja, da so koncentracije največje v koreninah, najmanjše pa v semenih in plodovih. Slednje moramo upoštevati pri izbiri rastlin za gojenje na zmerno onesnaženem območju (Lobnik in sod. 2010, str. 20). Proces fitoekstrakcije vključuje črpanje kovinskih onesnaževal iz zemlje (preko korenin rastline) in njihovo akumuliranje v dele rastline, ki so nad zemljo. Določene vrste, imenovane hiperakumulatorji, so sposobne absorbirati zelo velike količine kovin – v primerjavi z navadnimi rastlinami to pomeni od 50 do 100-krat višjo količino, občasno še precej več; (Primeri so *Thaspi caerulescens* in *Cardaminopsis halleri*, ki lahko akumulirata cink in kadmij ter *Alyssum lesbiacum*, ki lahko akumulira nikelj). Največ takih rastlin raste v krajih, ki že naravno vsebujejo velike količine kovin – njihova nenavadna sposobnost je posledica evolucijske prilagoditve (Vovk Korže in Janškovec 2009).

Na koncentracijo kovin v rastlinah v največji meri vpliva biodostopnost kovine v tleh ter drugi dejavniki, kot so vrsta in včasih tudi sorta rastline, starost rastline oziroma užitnega dela, razvejanost in aktivnost koreninskega sistema ter prisotnost mikoriznih gliv. Rastline lahko vsebujejo tudi prašne delce onesnaženih tal na svoji površini, kar ni nezanimljivo pri nadaljnjem vnosu kovin v prehranjevalno verigo preko živali (prašna krma) ali kadar uživamo

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

neoprane pridelke neposredno na vrtu (Bergmann 1992; Zupan in sod. 1996; Marschner 2012; Page in Feller 2015).

#### 2.4.1. Izbira rastlin glede na kontaminirana tla

Izbira rastlin je povezana s tehnologijami za njihovo pridelavo. V primeru uporabe rastlin za človeško in živalsko prehrano se pridelujejo tradicionalne rastline, ki so značilne za prehrano človeka in živali. Pridelava lahko poteka na minimalno onesnaženih zemljiščih s klasičnimi pridelovalnimi postopki oziroma obstaja tudi možnost redukcije števila delovnih operacij. V nekaterih primerih zadostujejo že enostavni in ekonomsko upravičeni ukrepi, kot je npr. globoka obdelava tal (pri minimalni kontaminaciji površinske plasti tal) ali obračanje horizontov tal, kjer je možno površinsko kontaminacijo spraviti v globlje plasti in na površini intaktnih tal gojiti rastline. Rastline, ki jih gojimo na srednje in zelo onesnaženih tleh, je možno uporabiti samo za energetske namene. V to skupino se uvrščajo rastline, ki so v osnovi tudi namenjene za človeško ali živalsko prehrano, vendar se zaradi velike vsebnosti škodljivih snovi ne smejo uporabiti za prehrano. Možna je uporaba klasičnih delovnih operacij in njihove redukcije, tako kot v prejšnjem primeru (Ribarič Lasnik in sod. 2014).

Na srednje do težko kontaminiranih zemljiščih lahko gojimo tudi veliko število nelesnatih rastlin – travnate energetske rastline. Pobiranje poteka z odstranjevanjem nadzemne biomase. Najbolj so zanimive večletne trave oziroma v nekaterih primerih enoletne. Enoletne rastline so bolj občutljive na erozijo vetra in vode, potrebujejo večji nadzor plevelov in imajo večje stroške proizvodnje zaradi potreb po ponovni letni vzpostavitvi pridelovalne površine. Večletne rastline imajo nižje finančne vložke, riziko pridelka je nižji, potrebe po dodatni obdelavi in fitofarmaceutskih sredstvih so minimalne ali pa sploh ne obstajajo (Ribarič Lasnik in sod. 2014).



## 2.5 PREGLED VELJAVNE ZAKONODAJE

- **Direktiva 2002/32/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 7. maja 2002 o nezaželenih snoveh v živalski krmi**

Direktiva 2002/32/ES obravnava nezaželene snovi v proizvodih, namenjenih za živalsko krmo. Nezaželena snov je v direktivi opredeljena kot »katera koli snov ali proizvod, z izjemo povzročiteljev bolezni, ki je prisotna v in/ali na proizvodu, namenjenem za krmo za živali, in ki predstavlja potencialno nevarnost za zdravje živali ali ljudi ali za okolje in ki bi lahko škodljivo vplivala na proizvodnjo rejnih živali«.

*Preglednica 5: Najvišje vsebnosti nezaželenih snovi v proizvodih, namenjenih prehrani živali (Direktiva 2002/32/ES)*

Nezaželena snov	Proizvodi, namenjeni prehrani živali	Najvišja vsebnost v mg/kg (ppm) pri krmi z 12-odstotno vsebnostjo vlage
Arzen	Posamična krmila	2
Kadmij	Posamična krmila rastlinskega izvora	1
Fluor	Posamična krmila	150
Svinec	Živinska krma	30
Živo srebro	Posamična krmila	0,1
Nitrit	Posamična krmila	15
Melamin	Krmilo	2,5

- **Zakon o varstvu okolja**

Zakon o varstvu okolja je v Republiki Sloveniji temeljni zakon, ki ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj. Določa temeljna načela in ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomske in finančne instrumente, javne službe in druga, z varstvom okolja povezana, vprašanja. Skladno z načelom trajnostnega razvoja je namen zakona spodbujanje in usmerjanje takšnega družbenega razvoja, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti (ZVO-1 2006).

- **Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh**

Na področju onesnaženja tal na celotnem območju Republike Slovenije zakonsko določa vsebnosti posameznih nevarnih snovi v tleh Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1). V uredbi je za 10 kovin določena mejna in kritična imisijska vsebnost snovi v tleh (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Hg, Co, Mo, As). Poleg kovin so v uredbi določene normativne vsebnosti tudi za druge anorganske spojine (fluoridi), aromatske spojine (hlapni fenoli, benzen, etilbenzen, toluen, ksilen), policiklične aromatske ogljikovodike, klorirane ogljikovodike, poliklorirane bifenile, insekticide

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

na bazi kloriranih ogljikovodikov, druga fitofarmacevtska sredstva (atrazin, simazin) in ogljikovodike, ki izvirajo iz nafte (mineralna olja) (Uradni list RS, št. 68/96).

**Preglednica 6:** Mejne, opozorilne in kritične vrednosti kovin v tleh (Uradni list RS, št. 68/96)

Nevarna snov	Mejna vrednost (mg/kg suhih tal)	Opozorilna vrednost (mg/kg suhih tal)	Kritična vrednost (mg/kg suhih tal)
Kadmij	1	2	12
Baker	60	100	300
Nikelj	50	70	210
Svinec	85	100	530
Cink	200	300	720
Krom	100	150	380
Živo srebro	0,8	2	10
Kobalt	20	50	240
Molibden	10	40	200
Arzen	20	30	55

- **Občinski program varstva okolja Mestne občine Celje 2016-2020**

Občinski program varstva okolja je strateški dokument, s pomočjo katerega občina načrtuje in izvaja aktivnosti na področju varstva okolja. Spremljanje in analiziranje stanja okolja ter poročanje javnosti o okoljskih izzivih je namreč ena izmed pomembnejših nalog lokalnih skupnosti. Mestna občina Celje si je v obdobju programa zadala strateške cilje, ki so varstvo zraka in prilaganje podnebnim spremembam, sanacija in varstvo tal, trajnostno usmerjen razvoj prometa in varstvo pred hrupom, trajnostno ravnanje z vodami, ohranjanje narave in mestnih zelenih površin, učinkovito ravnanje z odpadki ter okoljsko informiranje in ozaveščanje. Med strateške cilje za varstvo tal in sanacijo degradiranih območij ter vzdrževanje zelenih površin spada tudi sanacija in dekontaminacija degradiranih območij ter izboljšanje stanja urbanih in neurbanih tal (Zidanšek in sod. 2015).

## 2.6 KRMNI SIREK

Krmni sirek je rastlina z visoko toleranco na različne rastne pogoje, visoko produkcijo biomase, raznolikimi procesi v proizvodnji bioenergije in nizkimi zahtevami za dušikova gnojila (Oh in sod. 2015, str. 10). Krmni sirek (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) je krmna rastlina, ki je poznana predvsem po uspešni pridelavi v deželah s toplim podnebjem, saj za svojo rast in razvoj ne potrebuje velike količine vode. Krmni sirek je v zadnjih letih zaradi te lastnosti in ostalih prednosti postal alternativa koruzi, ne samo v bolj suhih območjih, kot so ZDA, Španija in Portugalska, ampak tudi v Sloveniji. Zaradi podnebnih sprememb in dviganja globalne temperature ozračja bo krmni sirek vse pogostejše nadomestilo koruzi in ostalim krmnim rastlinam, ki za svoj razvoj potrebujejo večje količine vode in nižje temperature ozračja.

Sirkove korenine so šopaste in imajo veliko črpalno moč za vodo. Oblika listov in stebela spominja na koruzo. Steblo je členovito, gladko, izpolnjeno s strženom; pri nas zraste od 1 do 4 metre. Tako stebela kot listi so pred vročino zavarovani z voščeno prevleko; manjše število listnih rež kot pri koruzi vpliva na bolj gospodarno ravnanje z vodo. V primerjavi s koruzo, ki ima posebej moško latasto in žensko klasasto socvetje (storž), so na sirkovem latu ali metlici dvospolni, večinoma samoprašni cvetovi, ki po oploditvi oblikujejo okrogla ali jajčasta zrna. Znanе so plevnate in golozrnate sorte. Ogrinjalne pleve so lahko bele, rumene, rdeče, rjave in tudi črne. Zrna dozoriijo pri zelenem stebru (Kocjan Ačko 2015, str. 58).



Slika 1: Semena krmnega sirka (vir: Nadja Romih)



Slika 2: Krmni sirek (vir: Nadja Romih)

Sirek sejemo spomladi, običajno v drugi polovici aprila ali ko se tla ogrejejo na 12 °C. Setev opravimo s koruzno sejalnico v vrste na medvrstno razdaljo od 65 do 75 cm. Z manjšo medvrstno razdaljo lahko povečamo število rastlin na površini in s tem vplivamo na večji pridelek. Razdalja v vrsti je lahko manjša od 10 cm, saj močan koreninski sistem in kompaktno steblo sirku omogočata izjemno stabilnost. Sirek je glede tipa tal dokaj neobčutljiva kultura, kar pomeni, da bomo tudi v bolj suhih letih na peščenih tleh uspeli pridelati optimalno količino kakovostne krme. Sirek za vznik potrebuje nekoliko višjo temperaturo od koruze. Ugotovili so, da hladnejša spomladanska obdobja zavirajo mladostni razvoj. Na tovrstne težave naletimo predvsem pri setvi sirka na težja nepropustna tla, ki se spomladi pozneje ogrejejo. Posledica je poznejše spravilo jeseni ali žetev z nizko sušino "sirkovine" (Vencelj 2008).

### 2.6.1 Hranilna vrednost krmnega sirka

Primerljiva hranilna vrednost sirka in koruze na 100 g znaša v energiji za sirek (329 kcal) manj kot za koruzo (365 kcal), vendar je sirek bogatejši v beljakovinah, ki predstavljajo eno izmed pomembnejših hranil pri rasti in razvoju živali. Žgajnar v svoji publikaciji omenja, da so »beljakovine nujno potrebne v obroku goveda, od začetka rasti večje količine, potem pa vse manjše«. Navaja tudi, da pretiravanje krmljenja z beljakovinami ne prinese hitrejši rasti živali, vendar nezadostna količina beljakovin ne povzroča zgolj slabše rasti, ampak se odraža tudi v manjši odpornosti proti boleznim, v motnjah pri delovanju žlez z notranjim izločanjem in v povečani neplodnosti pri odraslih živalih (Žgajner 1990).

Poleg beljakovin sirek v primerjavi s koruzo vsebuje večje vsebnosti kalcija, železa, fosforja in kalija. Rudninske/mineralne snovi so potrebne v prvi dobi rasti predvsem za rast okostja, pa tudi kasneje za tvorbo in pravilno delovanje vseh organov telesa. Ob pomanjkanju rudnin zaostaja splošen razvoj živali, plodnost se zmanjša (Žgajner 1990).

Vendar se po mnenju strokovnjaka dr. Jožeta Verbiča s Kmetijskega inštituta Slovenije trenutno najboljši hibridi sirka še ne morejo kosati s koruzo. Potrebno je razviti nove in boljše hibride, ki bodo vsebovali večji delež zrnja in kjer bo imel sirek dobro prebavljivo sirkovino. Ugotavlja, da bo, tako kot je bilo pri koruzi, potrebno kar nekaj časa za zagotovitev kakovostnejših informacij o hibridih, pridelovanju in siliranju ter sprejetju in uporabi krmnega sirka pri kmetih (Verbič 2008).

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Preglednica 7:** Hranilna vrednost krmnega sirka in koruze na 100 g (Nutrition Value)

Hranila	Hranilna vrednost sirka na 100 g	Hranilna vrednost koruze na 100 g
Energija:	329 kcal	365 kcal
Ogljikovi hidrati:	72 g	74 g
- od tega vlaknine:	6,7 g	7,3 g
- od tega sladkorji:	2,5 g	0,6 g
Maščobe:	3,5 g	4,7 g
- od tega nasičene:	0,6 g	0,7 g
Beljakovine:	11 g	9,4 g
Voda:	12,40 g	10,37 g
Kalcij:	13 mg	7 mg
Železo:	3,36 mg	2,71 mg
Fosfor:	289 mg	210 mg
Kalij:	363 mg	287 mg
Natrij:	2 mg	35 mg

## 2.6.2 Gnojenje krmnega sirka

Sirek potrebuje približno 3/4 koruznih potreb po hranilih (N, P, K). Večje količine hranil, kot pri koruzi, lahko povzročijo poganjanje. Potrebe sirka po Ca in Mg so večje kot pri koruzi (Novalis 2019).

**Preglednica 8:** Priporočene količine hranil za krmni sirek (Novalis 2019)

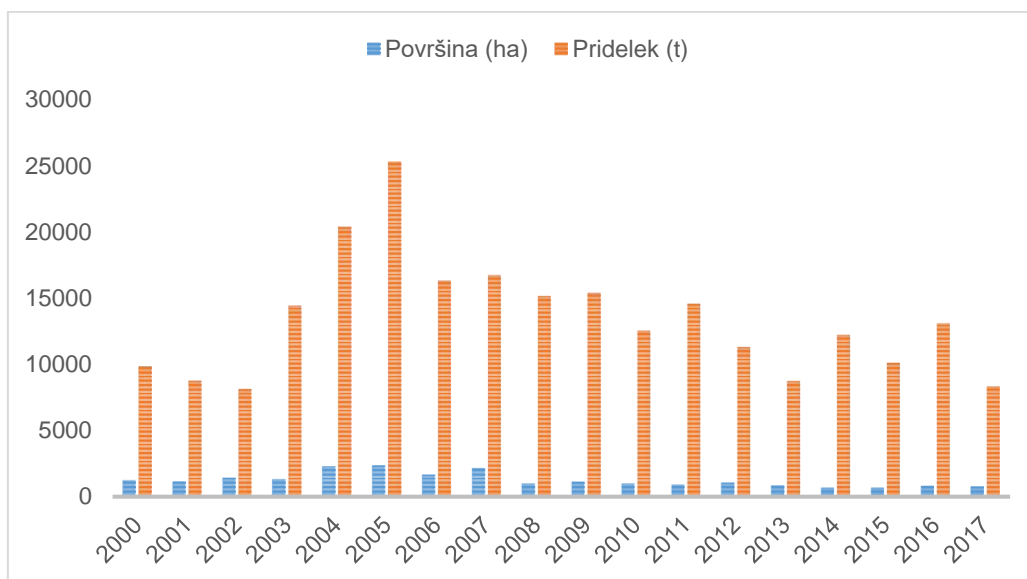
Hranila	Priporočene količine hranil (kg/ha) v mineralni ali organski obliki
N	100–150
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60–80
K <sub>2</sub> O	120–150
Ca	30–50
Mg	15–30

Tehnologija gnojenja pri sirkih se ne razlikuje od koruze. Za velike pridelke potrebuje sirek optimalno založena tla. Posevek je priporočljivo enkrat do dvakrat okopati. Prvič okopavamo, ko so rastline sirka visoke do 5 cm. Drugo okopavanje opravimo nekaj tednov kasneje, odvisno od hitrosti razvoja plevelov in same zapleveljenosti. Plevela lahko zatiramo tudi s herbicidi (izbor je omejen). Posevek dognojujemo z dušikom v fazi, ko rastlina doseže približno 30 cm. Odmerek je lahko podoben tistemu za koruzo. Pri spravilu sirka se oziramo na zrelost zrnja v metlici, ki mora biti voščena (Vencelj 2008).

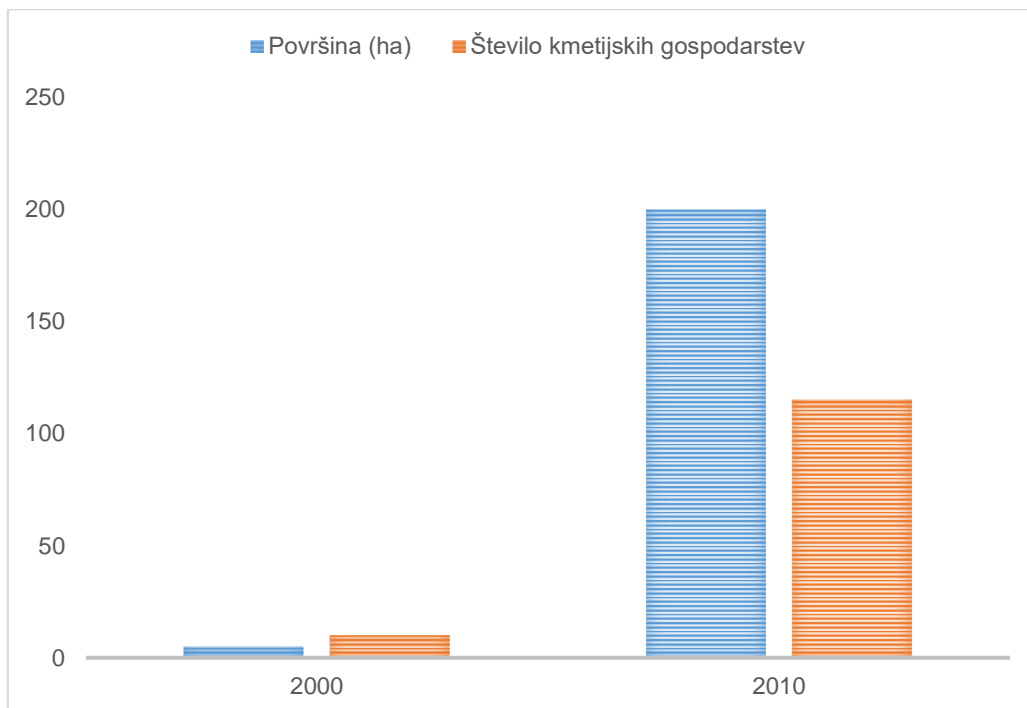
### 2.6.3 Pridelava krmnega sirka v Sloveniji in drugod po svetu

Po podatkih SI-STAT je podatke o pridelavi krmnega sirka v Sloveniji možno pridobiti v dveh kategorijah. Podatki o pridelavi krmnega sirka, ki ga SI-STAT uvršča med »druga zel. krma, enol. posev«, med katere se uvrščajo tudi krmna ogrščica, repica, krmne buče, krmni radič, grašica za zeleno krmo, krmna žita ter mešanice stročnic in žit za zeleno krmo, so prikazani v Grafu 1. Graf 2 prikazuje pridelavo krmnega sirka za zrnje za leti 2000 in 2010 v Sloveniji.

**Graf 1:** Prikaz pridelave drugih zel. krm, enol. posev., med katere spada tudi krmni sirek, v različnih letih v Sloveniji (SI-STAT)



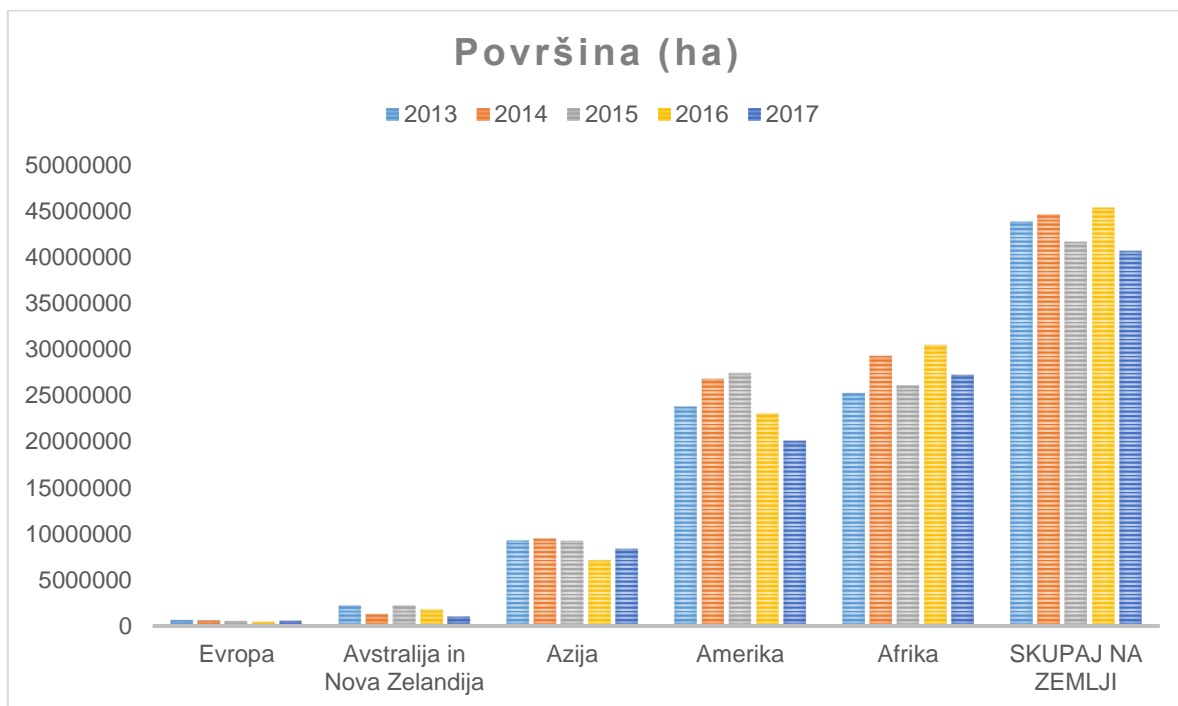
**Graf 2:** Prikaz pridelave sirka za zrnje v letih 2000 in 2010 v Sloveniji (SI-STAT)



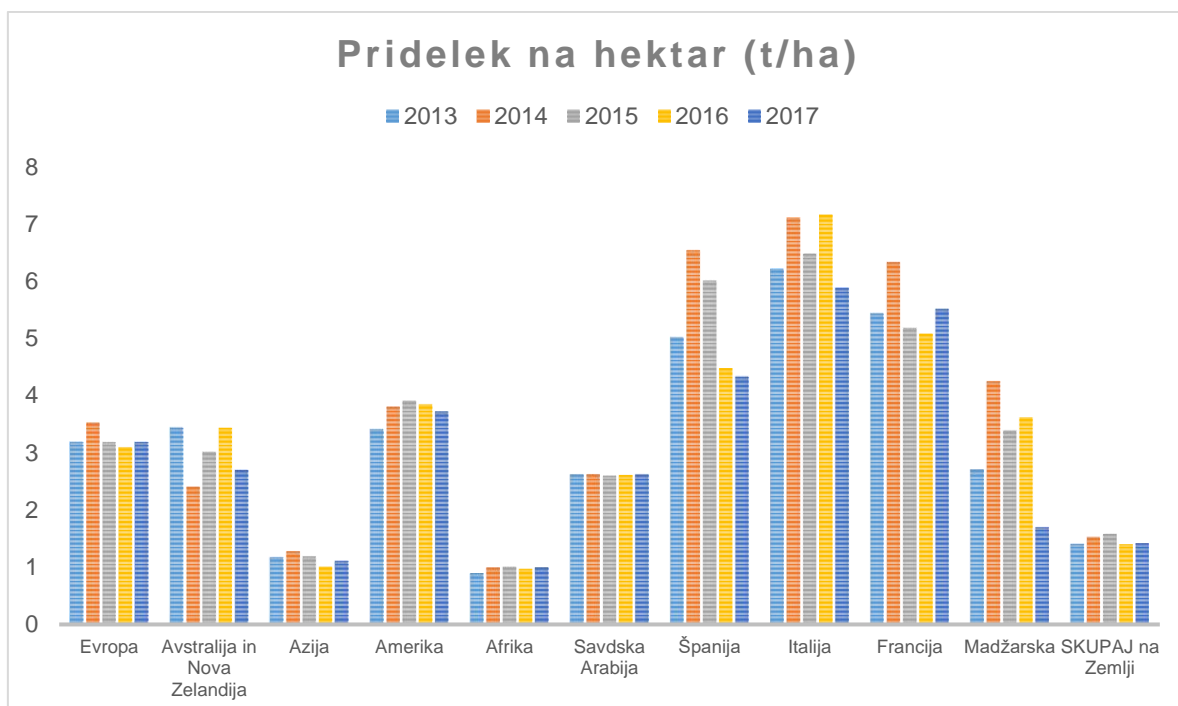
Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Sirek (*Sorghum* sp. L.) izvira iz Azije, kjer so ga sejali Kitajci že v tisočletjih pred našim štetjem, njegova domovina pa je tudi Afrika. V Sredozemlje so ga razširili Arabci. Največ sirka za krmo in zrnje pridelajo v Aziji, Afriki in Ameriki. Na manjših površinah, kjer dozori tudi zrnje, ga pridelujejo v južni Evropi, v Španiji, Italiji, Franciji ter na Madžarskem, izključno za silažo pa je razširjen na sever Evrope (Kocjan Ačko 2015, str. 58).

**Graf 3:** Prikaz površine (ha) za pridelavo krmnega sirka po svetu v 5 letih (FAOSTAT)



**Graf 4:** Prikaz pridelka krmnega sirka na hektar (t/ha) po svetu v 5 letih (FAOSTAT)



## 2.7 MISKANTUS

*Miscanthus x giganteus* je trava, ki spada med velike trajnice in je triploidni hibrid med tetraploidom *Miscanthus x sacchariflorus* in diploidom *Miscanthus x sinensis*. Velja za eno bolj primernih rastlin za fitoremediacijo in fitostabilizacijo ter proizvodnjo biogoriv. Miskantus ima C-4 fotosintezno pot in dokazano dosega visoko učinkovitost fotosinteze v primerjavi z ostalimi C-4 rastlinami. Naravno se pojavlja v zmernih do subtropskih območjih Azije, vendar ga uspešno pridelujejo tudi v hladnejšem zmernem podnebju v Evropi in Ameriki. Njegova stebila dosežejo višino od 2 do 4 metre. Nadzemna vegetacija dozori jeseni in je zrela za pobiranje v jesensko-zimskem času, ko je vsebnost suhe snovi visoka, kar daje biomasi ugodne zgorevalne lastnosti. Poleg energetske uporabe je miskantus uporaben tudi v geotekstilni industriji ter kot gradbeni in papirni material (Pidlisnyuk in sod. 2018).

Miskantus izvira iz vzhodne Azije. Njegova prilagodljivost različnim vrstam tal in podnebju ga uvršča kot primeren pridelek za podnebne spremembe v Evropi in severni Ameriki. Tudi pri nizkih temperaturah miskantus ostaja produktiven in ima visoko absorpcijo za asimilacijo CO<sub>2</sub>. Poleg tega miskantus učinkovito porablja vodo, potrebuje namreč med 100–300 l vode za proizvodnjo 1 kg biomase. Za primerjavo znašajo tipične vrednosti za koruzo ali sirek bližje vrhu tega razpona, okoli 300 l/kg biomase. Študije na splošno kažejo, da se vrednosti pridelka miskantusa, kadar se pobira, gibajo med 5–55 t na 1 ha površine (Menardo in sod. 2012).

Glavne značilnosti miskantusa so izjemna prilagodljivost za pridelavo v različnih klimatsko-pedoloških pogojih (od morske gladine do nadmorske višine 3.000 m), možnost gojenja na tleh slabše kakovosti, lastnosti naravnega sterilnega hibrida (neinvazivna rastlina), visok donos suhe snovi na enoto površine, odlična odpornost na bolezni in škodljivce, nizke zahteve za zdravljenje med rastnim obdobjem in visoka energijska vrednost (Prelac in sod. 2016).

Na prvi pogled je steblo miskantusa zelo podobno bambusu. Pri razvoju stebila ni vej, notranjost pa je izpolnjena s "parenhimom", ki oblikuje trdo in gosto jedro stebila. Ob koncu julija se začne odmiranje nižjih listov na stebilu. Proces sušenja biomase se pospeši v jeseni. Čez zimo odpade suho listje in ustvari debelo listno steljo okrog debla. Listi, ki ostanejo na deblu, se posušijo in zmrznejo. Steblo se v teku zime izsuši zaradi zmrzali, tako da je vsebnost vlage (vode) okrog 30 %. Maksimalni dnevni prirast rastline je v teku maja in junija (dnevni prirast po stebilu je 30–35 g suhe mase, oziroma 0,28–0,32 t/ha). V jeseni se prirast biomase zmanjšuje zaradi staranja in odpadanja listov (povzeto po Miskantus, d.o.o.).

Miskantusovi rizomi (korenina – gomolj) v zemlji ostanejo tudi do 20 let. V povprečju za Slovenijo količina pridelka znaša okoli 20 t/ha/leto. Od drugega leta dalje od sajenja rizomov tal ni več potrebno obdelovati. Priprava tal za rizome je enaka kot za koruzo (povzeto po Zorko, Miskantus – energetska rastlina).

Večletna trava miskantus dobro raste na območjih, ki so onesnažena z nižjimi koncentracijami onesnaževal in ima visok potencial za stabilizacijo in odstranitev težkih kovin iz onesnaženih območij. Ker ta vrsta v nadzemne dele rastlin sprejema manjše količine težkih kovin, je njena biomasa primerna za proizvodnjo energije. V raziskavi Fernanda in Oliveira (2004), kjer je bil analiziran vpliv težkih kovin (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn) na rast in donos miskantusa, so avtorji prišli do zaključka, da visoke koncentracije omenjenih kovin povzročajo zmanjšanje donosa biomase in suhe snovi pri miskantusu. Avtorji kljub temu priporočajo uporabo te rastlinske vrste za očiščevanje onesnaženih območij. Nadaljnje analize (Arduini 2006) so pokazale višje koncentracije kadmija in kroma v rizomu miskantusa. Pogrzeba (2013) navaja sposobnost te rastline v privzemanju velike količine cinka iz onesnaženih območij in opazi velike



Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

koncentracije cinka v nadzemnih delih miskantusa, zato ga uvrščajo v skupino akumulatorjev (Prelac in sod. 2016).



*Slika 3: Miskantus (vir: Nadja Romih)*



*Slika 4: Miskantus v rastnem obdobju (vir: Nadja Romih)*

#### 2.7.1. Kurilna vrednost miskantusa

Energijska vrednosti biomase miskantusa je 19 MJ/kg. Če pridelamo na enem hektarju 20 ton suhe snovi, s tem nadomestimo 10 ton premoga ali 7.000 litrov kurilnega olja. Lastnosti izgorevanja so bolj ugodne (veliko manjše emisije ogljikovega dioksida) v primerjavi z drugimi poljedelskimi kulturami v klasju in zrnju. Miskantus ima največjo kurilno vrednost glede na povprečni donos po hektarju (20 t/ha–204 GJ/ha), biomasa iz lesa (vrba, topol okoli 168 GJ/ha), biodizel, ki ga pridobivamo iz zrnja ogrščice (27 GJ/ha) ali pa etanol iz škrobne in sladkorne biomase (od 14 do 114 GJ/ha) (Miskantus, d.o.o.).

#### 2.7.2. Gnojenje miskantusa

Nasad miskantusa ima majhne potrebe po gnojenju. V prvem letu sajenja potrebe po gnojenju ni. Dušik se dodaja od konca aprila in v začetku maja po začetku vegetacije, fosfor in kalij pa pozno v jeseni. Pozno jeseni in pozimi se lahko zlije na nasad tekoče organsko gnojilo v obliki gnojnice do največ 30 m<sup>3</sup>/ha, kar je enako 180 kg N/ha, 75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 150 kg K<sub>2</sub>O/ha in 30 kg MgO/ha. Ta odmerek lahko popolnoma nadomesti mineralna gnojila. Ena od posebnosti miskantusa je selitev hranilnih snovi iz stebela v korenski sistem na koncu vegetativne sezone. Koncentracija dušika je v listih, ki odpadejo v zimskem času. Tako dušik ostaja okrog stebela

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

miskantusa. Pri žetvi žanjemo samo stebela v aprilu oz. maju. Dodajanje dušika povečuje pridelek (Miskantus, d.o.o.).

**Preglednica 9:** Priporočene količine hranil za miskantus (*Miskantus, d.o.o.*)

Hranila	Priporočene količine hranil (kg/ha) v mineralni ali organski obliki
N	60–90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3–40
K <sub>2</sub> O	120–150

### 2.7.3. Pridelava miskantusa v Sloveniji in drugod po svetu

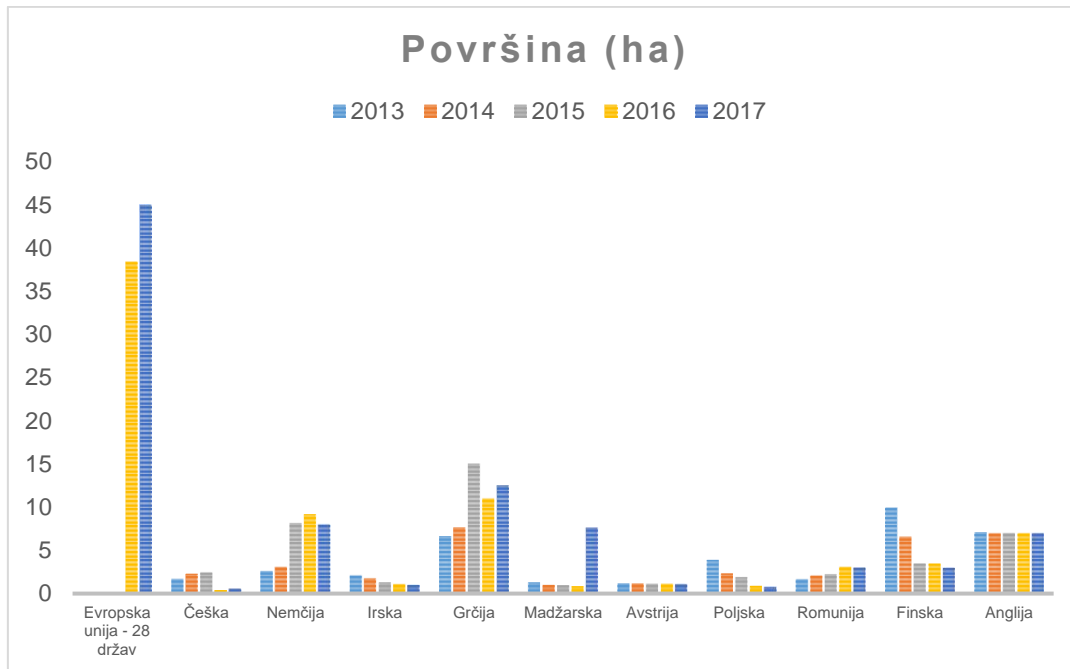
Miskantus je v Sloveniji od leta 2016 opredeljen v skupino energetskih rastlin, šifrant rastline je 720. Pred letom 2016 je bila rastlina miskantus s številko kmetijske rastline 735 v šifrantu vrst oziroma skupin kmetijskih rastlin ter pomoči uvrščena med vrtnine, njivska zelišča ali okrasne rastline, ki se nahajajo v zavarovanem prostoru in so v lončkih. V Sloveniji so znani trije večji pridelovalci miskantusa. Eden od pridelovalcev je podjetje Miskantus, d. o. o. iz Murske Sobote, ki se ukvarja s prodajo in gojenjem sadik. Večji pridelovalec je tudi kmetija Zorko iz Babnega pri Celju, ki se ukvarja s prodajo korenin in gojenjem nasada. Nasad imajo tudi na Gorenjskem, kjer je lastnik iz Britofa pri Kranju. V Sloveniji je poleg velikih pridelovalcev tudi nekaj manjših (Zorko 2015 in 2016 v Golčman 2016, str. 16). Pridelek miskantusa in površina, namenjena pridelavi miskantusa v Sloveniji, se v evidenci SI-STAT zaradi premajhne vrednosti še ne objavlja javno in zato ni vključena v magistrsko delo.

Miskantus je bil v Evropo pripeljan iz Japonske v tridesetih letih 20. stoletja. V osemdesetih letih prejšnjega stoletja se je v Evropi pričelo izvajati terenske poizkuse za ugotavljanje potenciala miskantusa za biomaso. Po izvedbi preizkusov je tudi Amerika pričela z obsežno proizvodnjo in ustanovitvijo velikih podjetij, kot so Freedom Giant *Miscanthus commercialization* (Brosse in sod. 2012, str. 2). Nasadi miskantusa se iz leta v leto povečujejo. Tako na letni ravni v Evropi in Ameriki skupaj nastane okoli 100 ha novih nasadov. V Evropi imajo površine z miskantusom, poleg Slovenije s 15 ha, posajene tudi v drugih državah, v Avstriji (6.000 ha), Nemčiji (40.000 ha), Franciji (20.000 ha), Poljski (8.000 ha), Veliki Britaniji (60.000 ha), Belgiji (1.200 ha), Madžarski (500 ha) in Srbiji (50 ha) (Miskantus 2014 v Golčman 2016). Med državami, ki imajo nasade miskantusa, so tudi Švedska, Danska, Portugalska, Španija, Italija, Grčija, Turčija, Kanada in ZDA (Brosse in sod. 2012 v Golčman 2016).

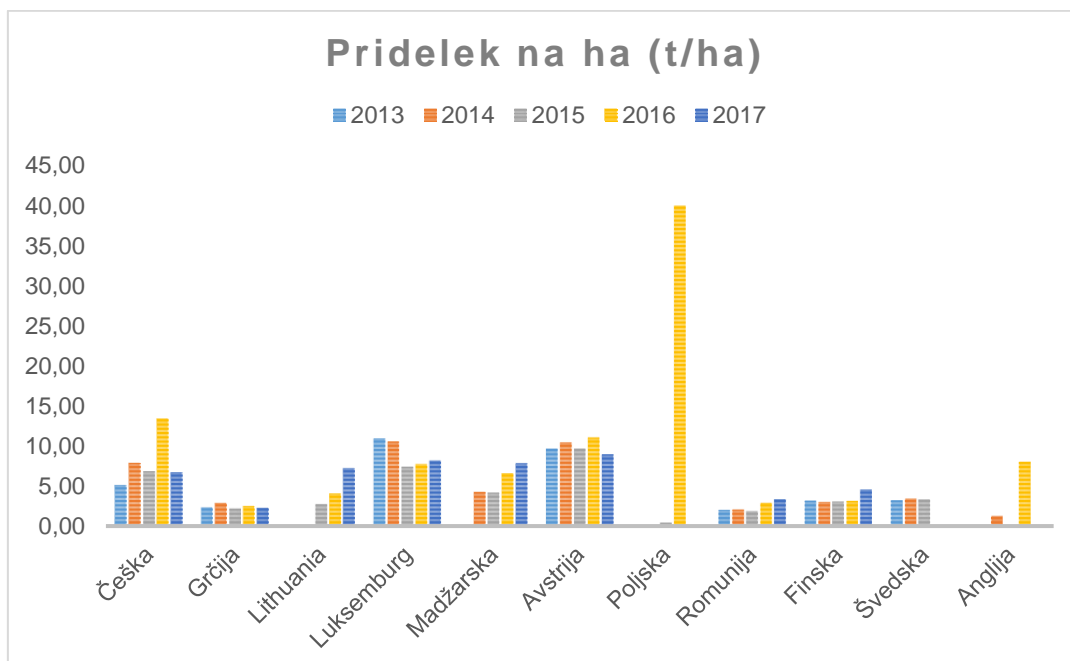
V grafu 5 in 6 so prikazani podatki za miskantus (površina in pridelek) v Evropski uniji. Prikazana je skupina energetskih pridelkov n.e.c. (I6000), ki poleg miskantusa vključujejo še trsno kanarsko travo (*Phalaris arundinacea* L.) in druge posebne vrste. Podatkov v statistični bazi FAOSTAT za celotno področje na Zemlji za miskantus oz. energetske rastline niso na voljo, zato niso vključeni v magistrsko delo.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Graf 5:** Prikaz površine (ha) za pridelavo miskantusa v 5 letih v Evropski uniji (EUROSTAT)



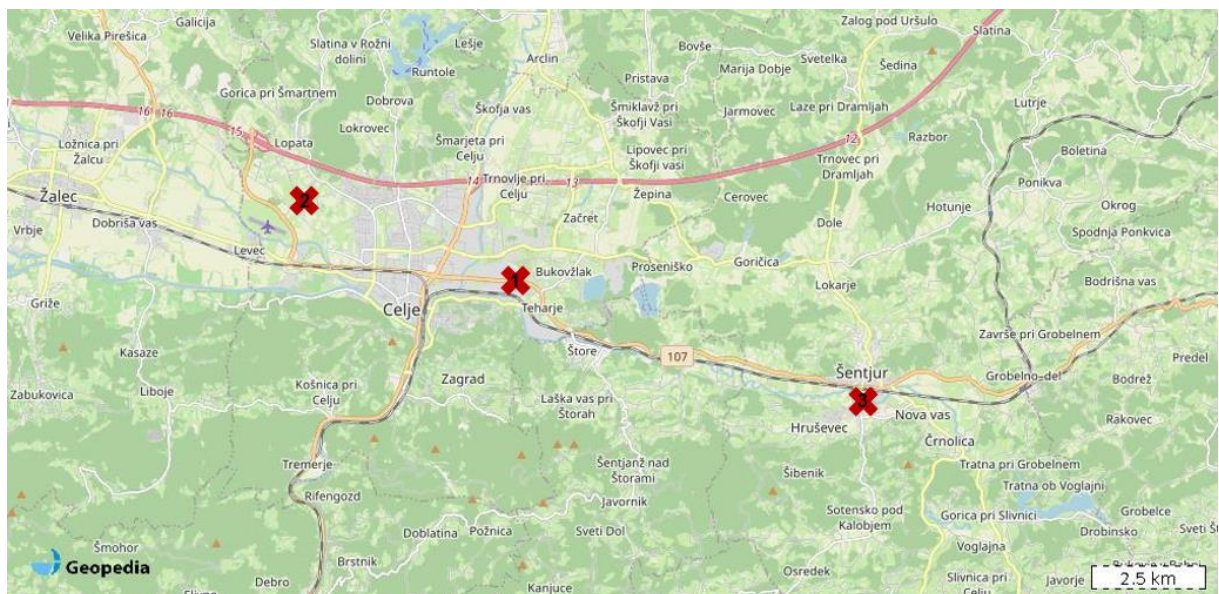
**Graf 6:** Prikaz pridelka miskantusa na hektar (t/ha) v 5 letih v Evropski uniji (EUROSTAT)



### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 VZORČNA MESTA

Izbrana so bila tri vzorčna mesta na območju Celja in okolice. Prvo vzorčno mesto je lokacija Bukovžlak (1), ki je zaradi neposredne bližine industrijske dejavnosti najbolj dovzetna za kopičenje težkih kovin v tleh. Drugi primerjalni vzorčni mesti sta bili izbrani na lokaciji Medlog (2 - nasad miskantusa) in Šentjur (3 - vrt), kjer je zračna oddaljenost od vpliva industrije 4 km oziroma 7 km.



Slika 5: Zemljevid s prikazom lokacij vzorčnih mest (vir: Geopedia)



Slika 7: Nasad krmnega sirka v Šentjurju (vir: Nadja Romih)



Slika 6: Nasad krmnega sirka v Bukovžlaku (vir: Nadja Romih)

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.



**Slika 8:** Nasad miskantusa v Šentjurju (vir: Nadja Romih)



**Slika 9:** Nasad miskantusa v Medlogu (vir: Nadja Romih)

Na lokaciji Bukovžlak smo v letu 2017 in 2018 na vzorčni površini cca. 9 m<sup>2</sup> posadili vzorce krmnega sirka in miskantusa. Na lokaciji Medlog, ki je obsegala večjo vzorčno površino (cca. 100 m<sup>2</sup>), smo v letu 2017 in 2018 posadili vzorce miskantusa. Na lokaciji Šentjur, na kontrolni površini cca. 20 m<sup>2</sup>, smo v letu 2018 posadili vzorce krmnega sirka. Na lokacijah smo posadili sorto krmnega sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusa (*Miscanthus x giganteus*). Lokacije se med seboj razlikujejo po velikosti ter teksturi in stopnji onesnaženosti tal.

### 3.2 VZORČENJE RASTLIN

Vzorčenje krmnega sirka v sezoni 2017/2018 je na lokaciji Bukovžlak potekalo v mesecu novembru, ko je rastlina dopolnila 164 dni od saditve. V sezoni 2018/2019 je bil na lokaciji Bukovžlak krmni sirek posajen v mesecu juniju in vzorčen v mesecu oktobru (rastno obdobje je bilo 144 dni). Na kontrolni lokaciji Šentjur je bil v sezoni 2018/2019 krmni sirek posajen v mesecu juniju in vzorčen v mesecu novembru (dopolnil je 147 rastnih dni).

Na vseh lokacijah je vzorčenje potekalo, ko so bile rastline zrele in primerne za prehrano v primeru krmnega sirka in energetskega izkoristka v primeru miskantusa. Pri vzorčenju se je uporabila lopata in vrečke za shranjevanje rastlin. Vzorčenje posamezne rastline je potekalo po metodi naključno izbranih vzorcev, pri čemer se naključno izbere skupke rastlin, ki se nato združijo v en skupen vzorec. Vzorčenje je potekalo v naključnih treh ponovitvah. Zemlja je bila vzorčena v novembru 2018 na vseh treh lokacijah in zračno sušena do mletja. Vzorce krmnega sirka smo ročno ločili na koreninski del, stebelni del in strok z zrnjem, vzorce miskantusa pa na koreninski in stebelni del. Posamezne rastlinske dele smo označili glede na lokacijo rasti, vrsto rastline, paralelno skupino in leto rasti. Koreninske dele obeh rastlin smo prečistili z dezinfekcijsko vodo in mehko krtačko. Vzorce smo nato zračno sušili približno 14 dni. Semena krmnega sirka smo po sušenju ločili od klasja in jih shranili v papirnate vrečke.



Slika 10: Korenine krmnega sirka (vir: lasten)



Slika 11: Rizomi miskantusa (vir: lasten)

### 3.3 PRIPRAVA VZORCEV

Vzorci zračno sušenih rastlinskih delov krmnega sirka in miskantusa ter zemlje s treh lokacij na območju Celjske kotline (skupaj 45 vzorcev) smo zmleli in pripravili za nadaljnje analize v Nacionalnem laboratoriju za zdravje, okolje in hrano (NLZOH) v Celju. Vzorčenje, analiza in obdelava analize je obsegala 42 rastlinskih vzorcev in 3 vzorce tal.

Pri mletju smo uporabili ultracentrifugalni mlin ZM 200 Retsch, ki se uporablja pri hitrem mletju mehkih do srednje trdih in vlaknatih materialov, ki imajo začetno velikost manjšo od 10 mm. Pri mletju smo poleg mlina uporabili tudi zbirno posodo (kaseto), rotor, obročasto sito, pokrov kasete, pokrov ohišja, plastični lijak, epruvete, kovinsko palčko, krtačo za pomivanje mlina in posode ter vrečke za shranjevanje odvečnih vzorcev. Pred mletjem posameznega vzorca smo rastlinske dele ustrezno pripravili na mletje. Korenine in korenike ter stebela smo prelomili ali narezali na manjše dele (odvisno od trdote posamezne rastline), zrnje smo pustili v naravni velikosti, zemljo, ki je bila sprijeta v večjih kosih, pa smo v terilnici razdrobili na manjše dele. Vse pripravljene rastlinske dele smo v mlinu zmleli pri hitrosti 14000 rpm in jih po mletju presejali skozi primerna sita. Skozi sito velikosti 0,6 mm smo presejali stebela obeh rastlin ter korenine in korenike, medtem ko smo zemljo presejali skozi sito velikosti 0,25 mm. Zrnja krmnega sirka so bila dovolj drobno zmleta, zato jih ni bilo potrebno sejati skozi sito. Vzorce smo shranili v epruvete in jih označili glede na lokacijo rasti, vrsto rastline, paralelno skupino in leto rasti. Skupaj smo pripravili 45 vzorcev, v vsakem vzorcu vsaj 1 g suhe snovi, za nadaljnjo analizo.



Slika 12: Mlin ZM 200 Retsch (vir: lasten)



Slika 13: Deli mlina (vir: lasten)



Slika 14: sejanje zmletih delov skozi sito (vir: lasten)



Slika 15: Pripravljene zmleti deli rastlin za analize (vir: lasten)

### 3.4 IZRAČUN TRANSLOKACIJSKEGA (TF) IN BIOAKUMULACIJSKEGA (BAF) FAKTORJA

Translokacijo težkih kovin v rastlinah od korenine do nadzemnega dela smo ocenili s translokacijskim faktorjem (TF) po formuli:

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

Kadar je  $TF > 1$  ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), to pomeni, da rastlina učinkovito prenaša kovine iz korenine v nadzemne dele.

Bioakumulacijski faktor v rastlinah je bil določen z izračunom razmerja med koncentracijo kovin v nadzemnih delih in koncentracijo kovin v tleh po formuli:

$$BAF = \frac{\text{vsebnost kovin v nadzemnem delu rastline}}{\text{vsebnost kovin v tleh}}$$

Kadar je  $BAF > 10$  ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), rastlino uvrščamo med hiperakumulatorje, kadar je  $BAF > 1$  ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), med akumulatorje, in kadar je  $BAF < 1$  ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), med izključevalce (Abdul in Bivin 2009).

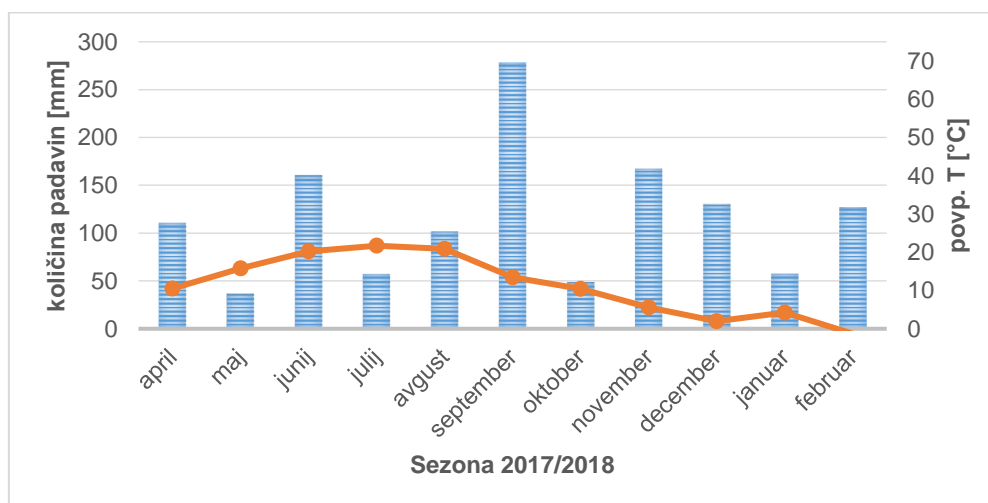


## 4 REZULTATI

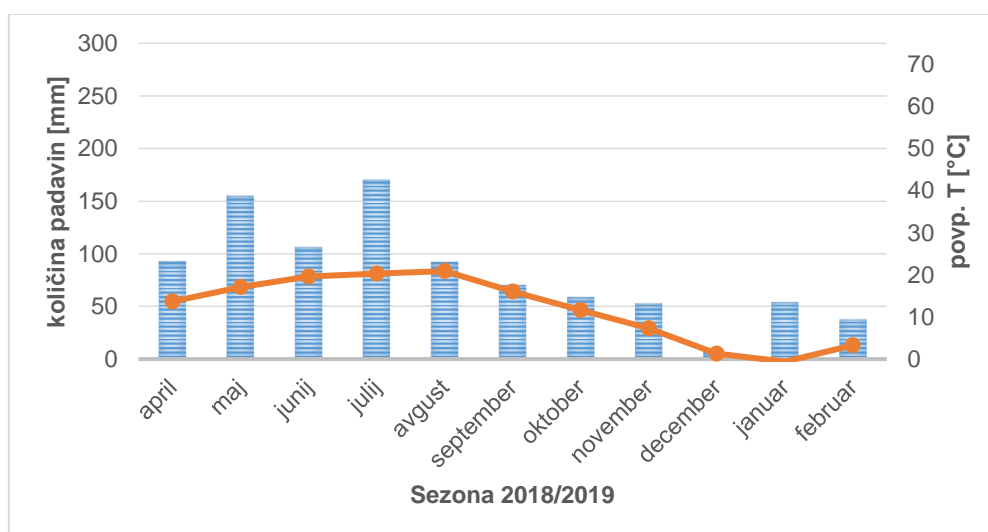
### 4.1 VPLIV VREMENSKIH POGOJEV NA RAST KRMNEGA SIRKA IN MISKANTUSA

Na rast in razvoj rastlin vplivajo vremenski pogoji, ki so prisotni v ravnem letu rastline, zato smo za sezoni 2017/2018 in 2018/2019 pripravili poenostavljen Walter-Gausenov klimadiagram. Podatki za vremensko postajo Medlog so bili pridobljeni na spletni strani Agencije RS za okolje in predstavljeni na grafu 7 in 8.

**Graf 7:** Walter-Gausenov klimadiagram za ravnno sezono krmnega sirka in miskantusa v obdobju 2017/2018 (ARSO 2018)



**Graf 8:** Walter-Gausenov klimadiagram za ravnno sezono krmnega sirka in miskantusa v obdobju 2018/2019 (ARSO 2018)



Na grafu 7 je po mesecih prikazana količina padavin [mm] in povprečna temperatura zraka na 2 m [°C] za rastno sezono 2017/2018 in na grafu 8 za rastno sezono 2018/2019. Skala je izbrana tako, da 0 °C ustreza 0 mm padavin. Razmerje med 0 °C in 0 mm na skali je 1:4 (1 °C:4 mm). Obdobje, ko je temperaturna krivulja nad padavinskim histogramom, predstavlja sušno obdobje. V rastni sezoni 2017/2018 je bilo sušno obdobje v mesecu maju in juliju, medtem ko v rastni sezoni 2018/2019 sušnih obdobj ni bilo. Za rastno sezono 2017/2018 vsota padavin znaša 1.276,1 mm in povprečna temperatura 11,2 °C, medtem ko za rastno sezono 2018/2019 vsota padavin znaša 894,2 mm in povprečna temperatura 11,9 °C.

Krmni sirek je bil v sezoni 2017/2018 vzorčen od meseca junija do novembra 2017. Vsota padavin je v obdobju rasti krmnega sirka v sezoni 2017/2018 znašala 646,7 mm in povprečna temperatura je bila 17,3 °C. Vsota padavin v sezoni 2018/2019 je v obdobju rasti krmnega sirka znašala 496,7 mm in povprečna temperatura je bila 17,7 °C.

## 4.2 VSEBNOST KOVIN V TLEH

Analize tal so bile opravljene po žetvi, v začetku meseca novembra v letu 2018. Glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96) so bile v Šentjurju prekoračene mejne vrednosti za Cd in Ni; v Medlogu je bila prekoračena mejna vrednost za As in opozorilne vrednosti za Cd, Pb in Zn; v Bukovžlaku sta bili prekoračeni opozorilni vrednosti za Cd in Pb in kritična vrednost za Zn. Glede na priporočila Mailander in Hammann je bila v Bukovžlaku prekoračena vrednost TI v tleh (Preglednica 10).

*Preglednica 10: Vsebnost kovin v vzorcih tal (v mg/kg suhe snovi vzorca)*

Vzorčno mesto	pH	Cd	Pb	Zn	Ni	As	Mo	TI	Ti
<b>ŠENTJUR</b>	7,23	1,3	28,3	135	54	8,6	0,6	0,2	60
<b>MEDLOG</b>	7,28	2,1	163,4	397	32	22,8	1,5	0,4	50
<b>BUKOVŽLAK</b>	6,96	10,9	153,4	1.14 3	23,1	12,7	0,6	0,7	40
	mejna vrednost	1	85	200	50	20	10		
	opozorilna vrednost	2	100	300	70	30	40		
	kritična vrednost	12	530	720	210	55	200		
	Priporočila po Mailander R.A., Hammann M. (2005)							0,5	
	Priporočila po H. J. M. Bowen (1966)								400–1.500

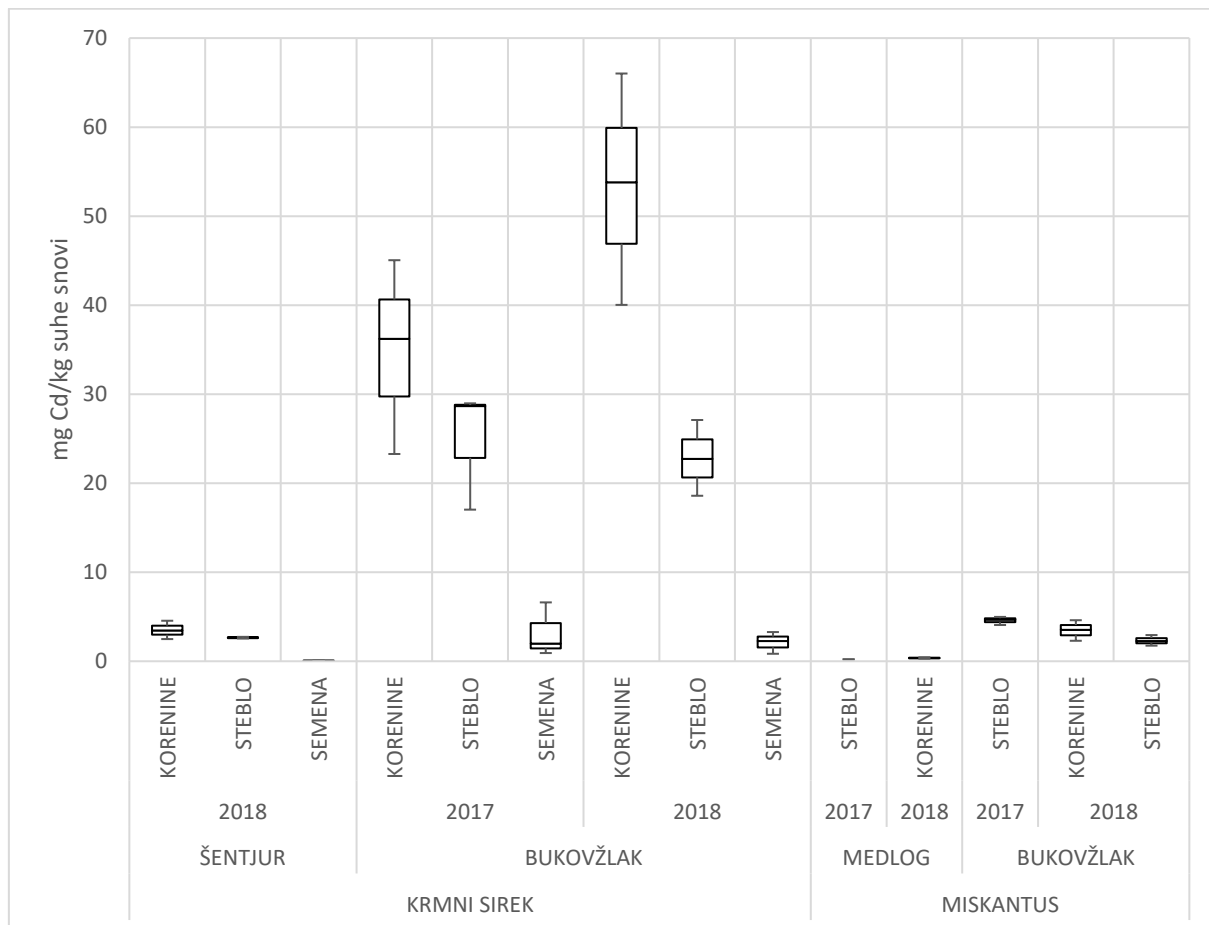
### 4.3 DISTRIBUCIJA IN VSEBNOST KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH KRMNEGA SIRKA IN MISKANTUSA

Opravljen je bil primerjava distribucije in vsebnosti kovin (Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, Tl in Ti) in polkovine As v rastlinskih delih (korenine, stebila in semena) krmnega sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusa (*Miscanthus x giganteus*) na različno onesnaženih tleh.

#### 4.3.1. Distribucija in vsebnost Cd v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Iz rezultatov je razvidno, da večja kot je vsebnost Cd v tleh, večja je vsebnost Cd v krmnem sirku in miskantusu (Slika 15, Priloga 1 in Priloga 3). V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je vsebnost Cd najmanjša v semenih in največja v koreninah (Slika 15, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je v povprečju vsebnost Cd manjša v steblih. Vsebnost Cd je največja v koreninah krmnega sirka v Bukovžlaku v letu 2018. V Šentjurju je za krmni serek zaporedje povprečnih vrednosti Cd korenine > steblo > semena (Priloga 2). V Bukovžlaku je za krmni serek za leti 2017 in 2018 značilno zaporedje korenine > steblo > semena. V Bukovžlaku je za miskantus za leto 2018 zaporedje povprečnih vrednosti Cd korenine > steblo.

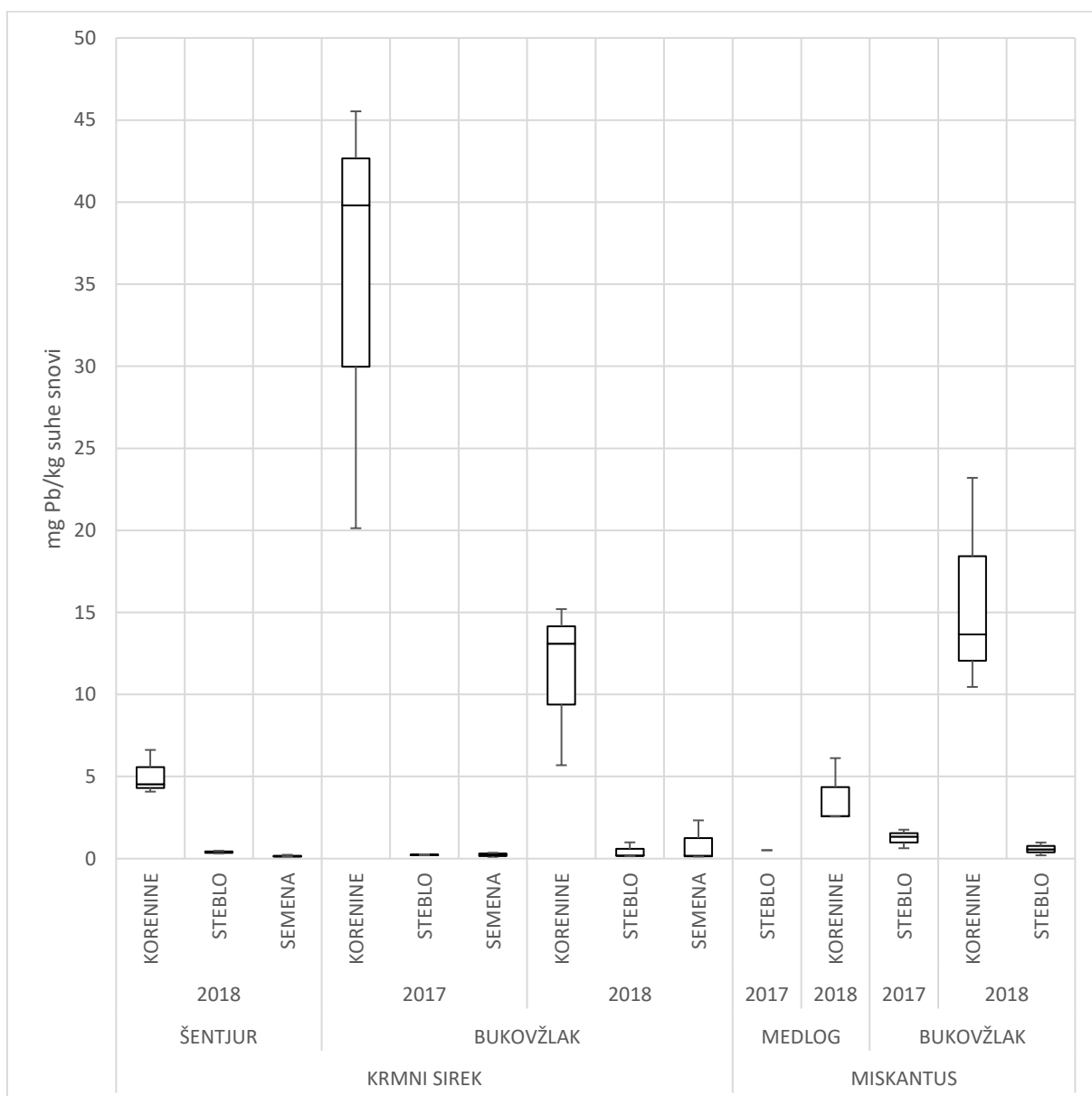
**Slika 16:** Vsebnost Cd v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh



#### 4.3.2. Distribucija in vsebnost Pb v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Iz rezultatov je razvidno, da večja kot je vsebnost Pb v tleh, večja je vsebnost Pb v krmnem sirku in miskantusu (Slika 16, Priloga 1 in Priloga 3). V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je v povprečju vsebnost Pb najmanjša v semenih in največja v koreninah (Slika 16, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je vsebnost Pb manjša v steblih. Vsebnost Pb je največja v koreninah krmnega sirka v Bukovžlaku v letu 2017. V Šentjurju je za krmni serek zaporedje povprečnih vrednosti Pb korenine > steblo > semena (Priloga 2). V Bukovžlaku je za krmni serek za leto 2017 značilno zaporedje Pb korenine > steblo > semena in za leto 2018 zaporedje Pb korenine > semena > steblo. V Bukovžlaku je za miskantus za leto 2018 značilno zaporedje povprečnih vrednosti Pb korenine > steblo.

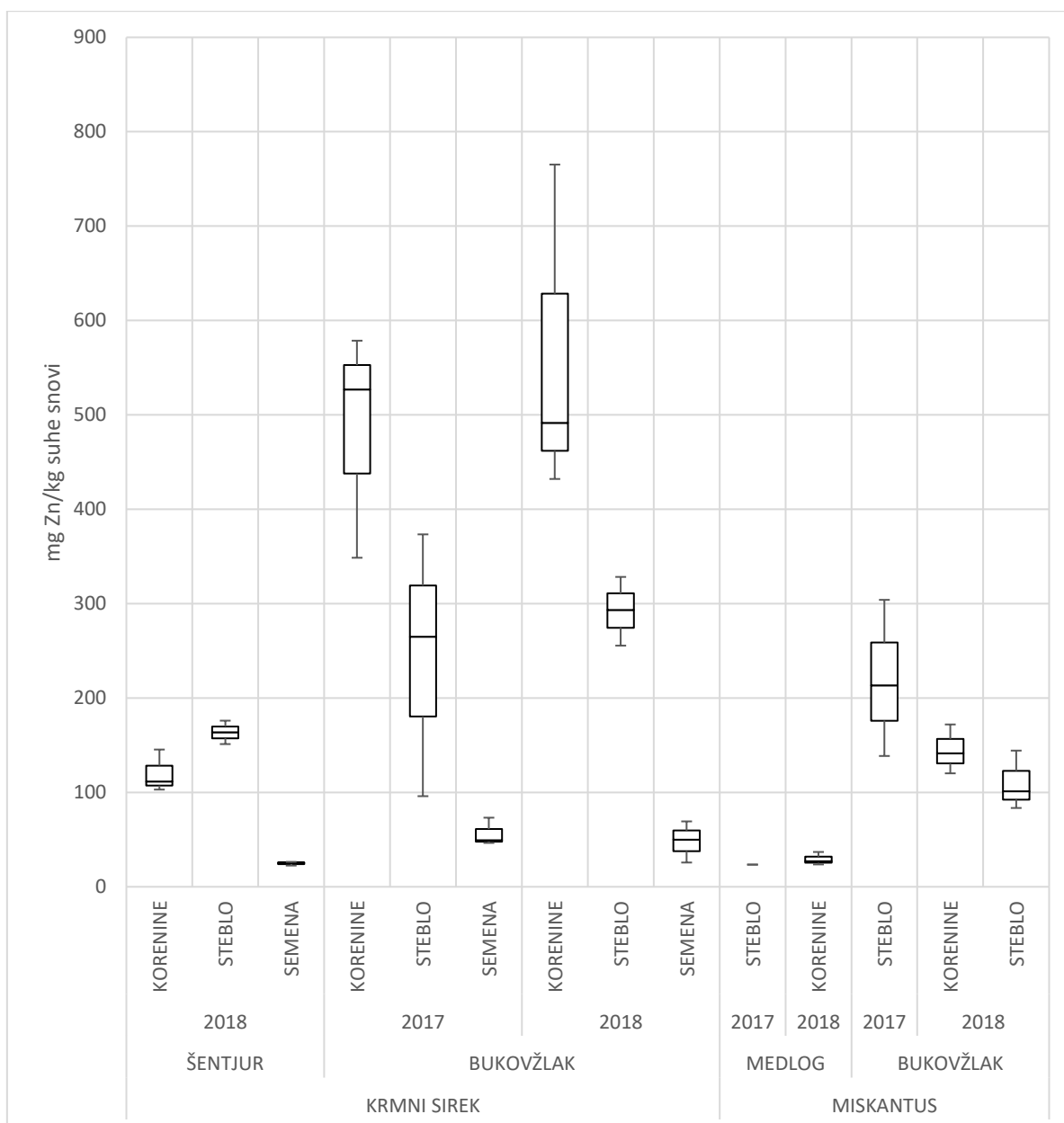
**Slika 17:** Vsebnost Pb v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh



#### 4.3.3. Distribucija in vsebnost Zn v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Iz rezultatov je razvidno, da večja kot je vsebnost Zn v tleh, večja je vsebnost Zn v krmnem sirku in miskantusu (Slika 17, Priloga 1 in Priloga 3). V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je v povprečju vsebnost Zn najmanjša v semenih in največja v koreninah (Slika 17, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je vsebnost Zn manjša v steblih. Vsebnost Zn je največja v koreninah krmnega sirka v Bukovžlaku v letu 2018. V Šentjurju je za krmni sirek zaporedje povprečnih vrednosti Zn steblo > korenine > semena (Priloga 2). V Bukovžlaku je za krmni sirek značilno zaporedje Zn korenine > steblo > semena. V Bukovžlaku je za miskantus za leto 2018 značilno zaporedje povprečnih vrednosti Zn korenine > steblo.

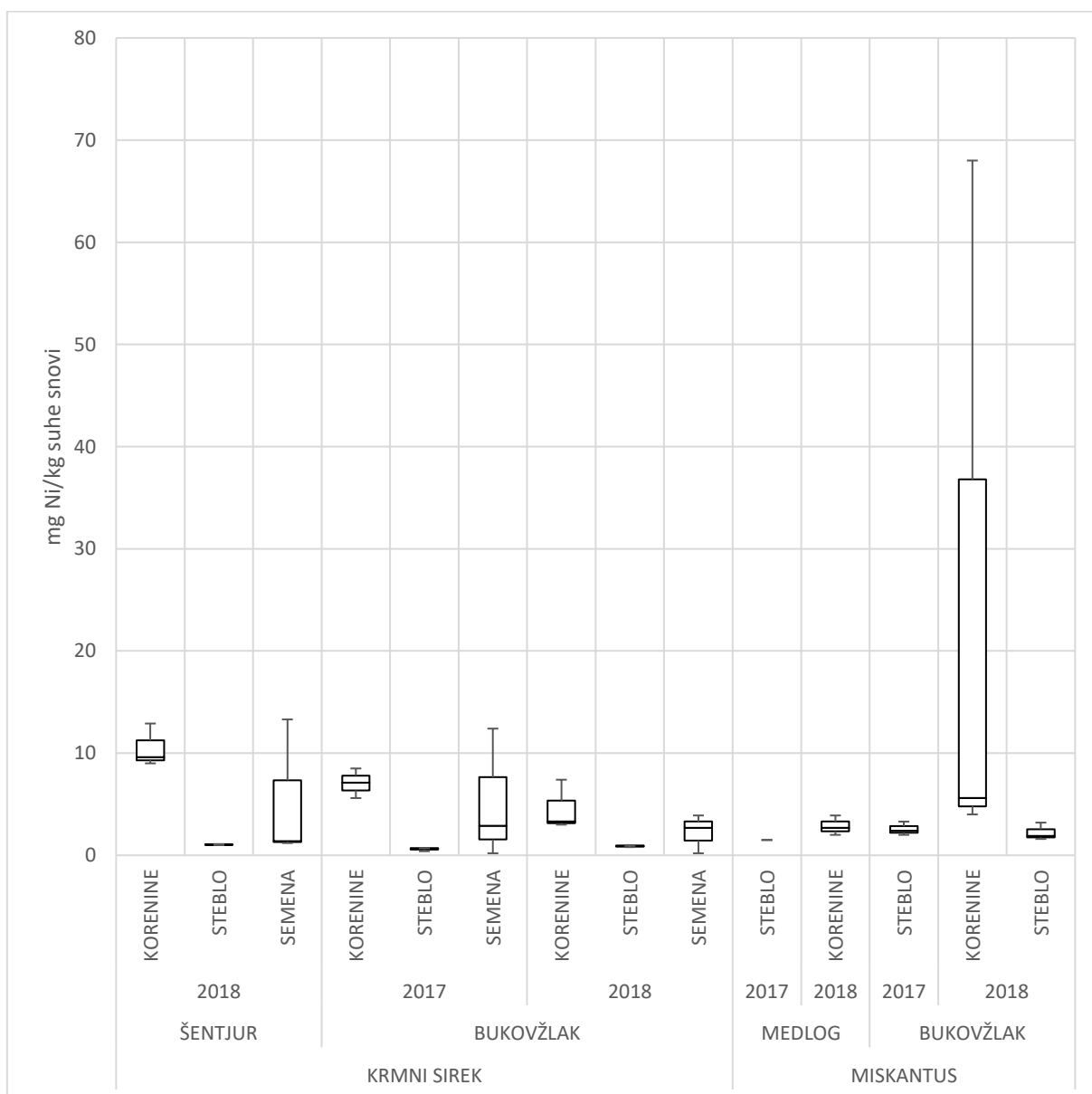
**Slika 18:** Vsebnost Zn v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh



#### 4.3.4. Distribucija in vsebnost Ni v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Iz rezultatov je razvidno, da večja kot je vsebnost Ni v tleh, večja je vsebnost Ni v krmnem sirku in miskantusu (Slika 18, Priloga 1 in Priloga 3). V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je v povprečju vsebnost Ni najmanjša v steblih in največja v koreninah (Slika 18, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je vsebnost Ni manjša v steblih. Vsebnost Ni je največja v koreninah krmnega sirka v Šentjurju v letu 2018. Na podlagi primerjave rezultatov smo preseženo vrednost Ni v koreninah miskantusa v Bukovžlaku v letu 2018 izločili (68). V Šentjurju je za krmni sirek zaporedje povprečnih vrednosti Ni korenine > semena > steblo (Priloga 2). V Bukovžlaku je za krmni sirek značilno zaporedje Ni korenine > semena > steblo. V Bukovžlaku značilnega zaporedja povprečnih vrednosti Ni zaradi nezadostnega števila meritev ne moremo določiti.

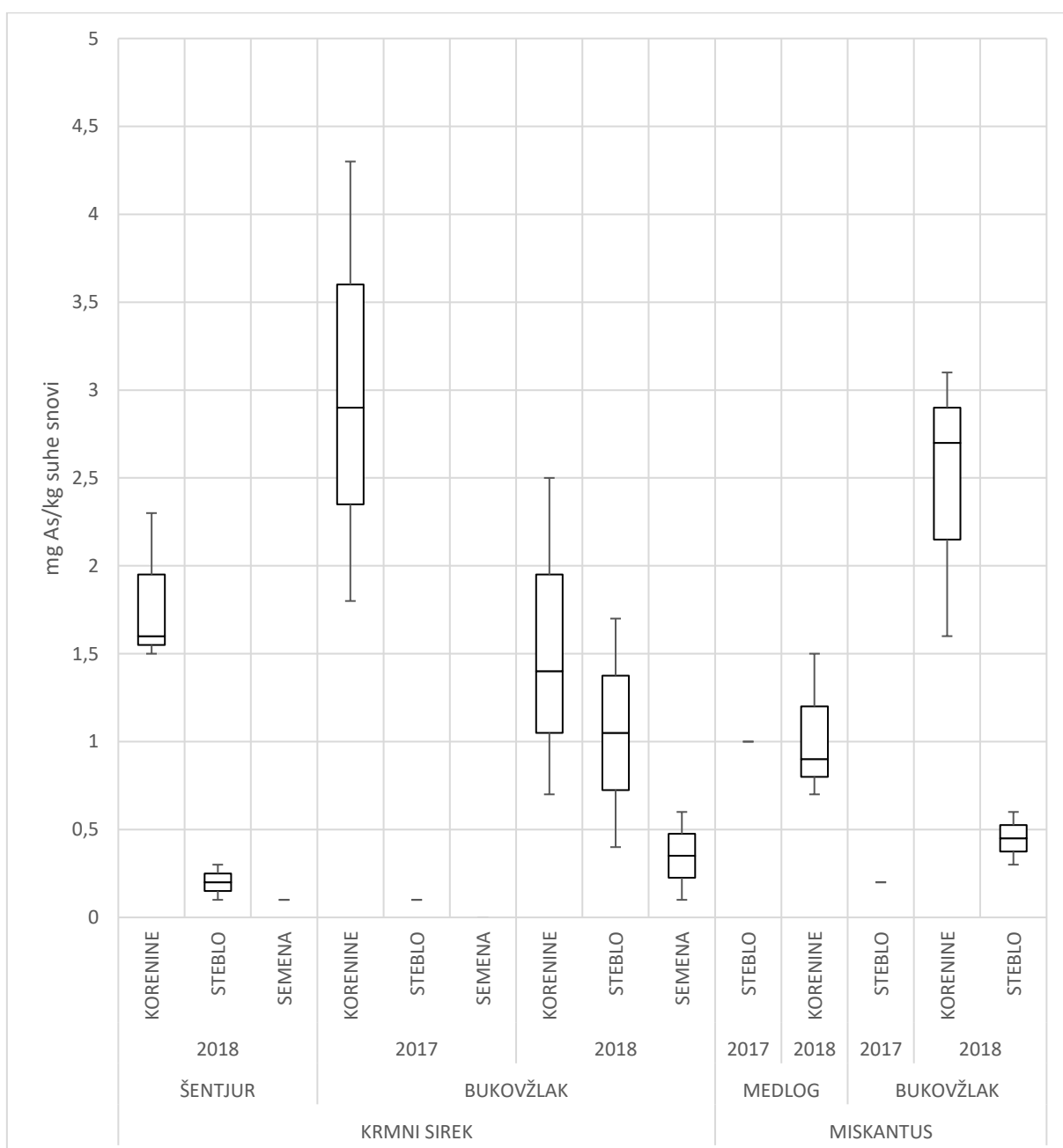
**Slika 19:** Vsebnost Ni v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh



#### 4.3.5. Distribucija in vsebnost As v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je vsebnost As najmanjša v semenih in največja v koreninah (Slika 19, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je vsebnost As manjša v steblih. Vsebnost As je največja v koreninah krmnega sirka v Bukovžlaku v letu 2017. V Šentjurju je za leto 2018 in Bukovžlaku za leto 2017 in 2018 za krmni sirek zaporedje povprečnih vrednosti As korenine > steblo > semena (Priloga 2). V Bukovžlaku je za miskantus za leto 2018 značilno zaporedje povprečnih vrednosti As korenine > steblo.

**Slika 20:** Vsebnost As v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

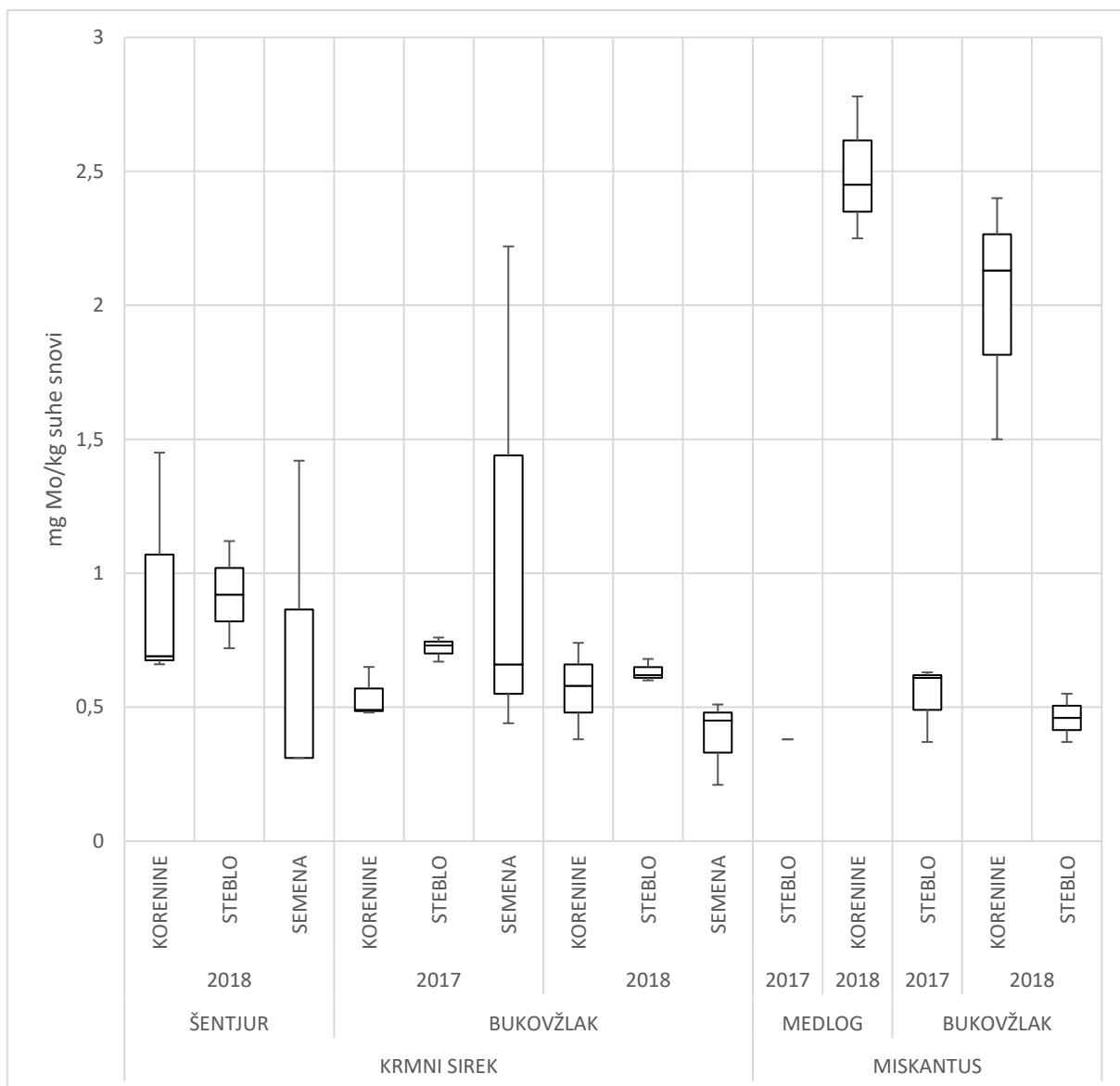




#### 4.3.6. Distribucija in vsebnost Mo v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Iz rezultatov je razvidno, da večja kot je vsebnost Mo v tleh, večja je vsebnost Mo v miskantusu (Slika 20, Priloga 1 in Priloga 3). Ker so vsebnosti Mo v tleh na območju Šentjurja in Bukovžlaka enake, lahko opazimo podobnost pri vsebnosti Mo v krmnem sirku na obeh območjih. V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je v povprečju vsebnost Mo največja v koreninah (Slika 20, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je vsebnost Mo manjša v steblih. Vsebnost Mo je največja v koreninah miskantusa v Medlogu v letu 2018. V Šentjurju je za krmni sirek zaporedje povprečnih vrednosti Mo korenine > steblo > semena (Priloga 2). V Bukovžlaku je za krmni sirek za leto 2017 značilno zaporedje Mo semena > steblo > korenine in za leto 2018 zaporedje Mo korenine > steblo > semena. V Bukovžlaku je za miskantus za leto 2018 značilno zaporedje povprečnih vrednosti Mo korenine > steblo.

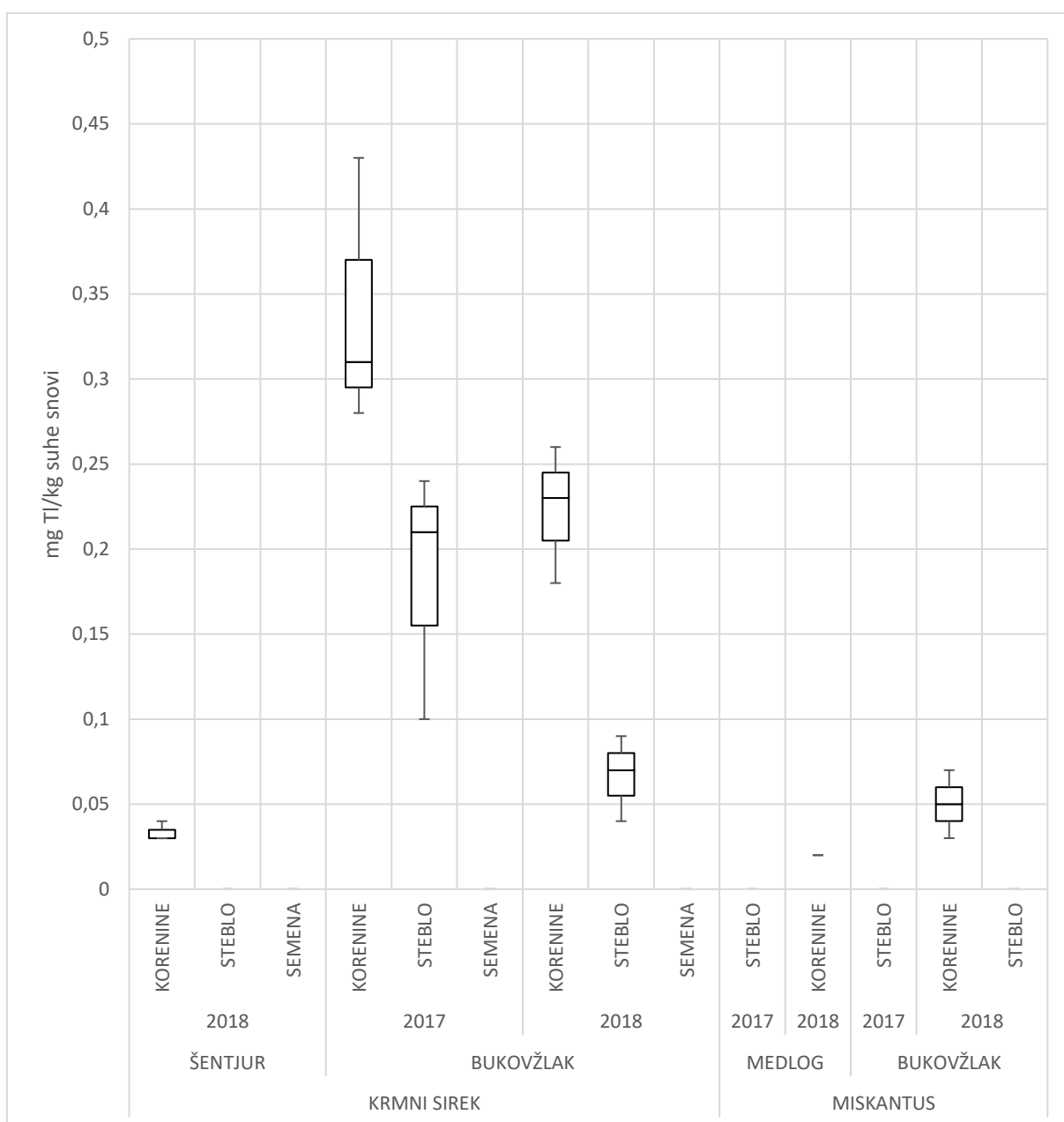
**Slika 21:** Vsebnost Mo v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh



#### 4.3.7. Distribucija in vsebnost TI v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Iz rezultatov je razvidno, da večja kot je vsebnost TI v tleh, večja je vsebnost TI v krmnem sirku in miskantusu (Slika 21, Priloga 1 in Priloga 3). V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je v povprečju vsebnost TI najmanjša v semenih in največja v koreninah (Slika 21, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je v povprečju vsebnost TI manjša v steblih. Vsebnost TI je največja v koreninah krmnega sirka v Bukovžlaku v letu 2017. V Šentjurju za leto 2018 in v Bukovžlaku za leto 2017 in 2018 je za krmni sirek zaporedje povprečnih vrednosti TI korenine > steblo > semena (Priloga 2). V Bukovžlaku je za miskantus za leto 2018 značilno zaporedje povprečnih vrednosti TI korenine > steblo.

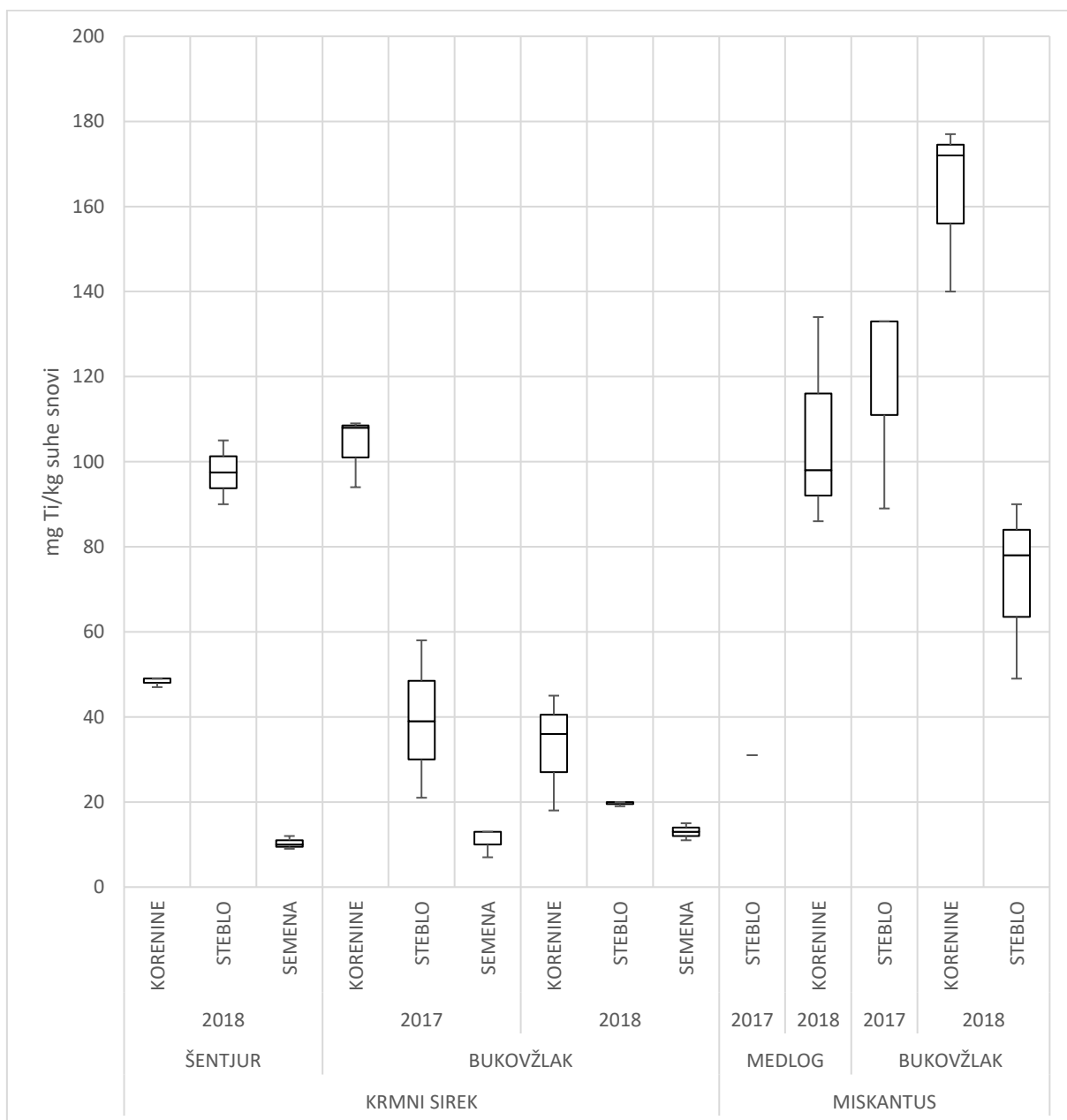
**Slika 22:** Vsebnost TI v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh



#### 4.3.8. Distribucija in vsebnost Ti v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Iz rezultatov je razvidno, da večja kot je vsebnost Ti v tleh, večja je vsebnost Ti v krmnem sirku (Slika 22, Priloga 1 in Priloga 3). V primerjavi s koreninami, stebli in semeni pri krmnem sirku je v povprečju vsebnost Ti najmanjša v semenih (Slika 22, Priloga 1 in Priloga 2). V primerjavi s koreninami in stebli pri miskantusu je vsebnost Ti manjša v steblih. Vsebnost Ti je največja v koreninah miskantusa v Bukovžlaku v letu 2018. V Šentjurju je za krmni sirek zaporedje povprečnih vrednosti Ti steblo > korenine > semena (Priloga 2). V Bukovžlaku je za krmni sirek za leto 2017 in 2018 značilno zaporedje Ti korenine > steblo > semena. V Bukovžlaku je za miskantus za leto 2018 značilno zaporedje povprečnih vrednosti Ti korenine > steblo.

**Slika 23:** Vsebnost Ti v koreninah, stebli in semenih krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh



#### 4.4 TRANSLOKACIJA TER BIOAKUMULACIJA KOVIN IN As V RASTLINSKIH DELIH KRMNEGA SIRKA IN MISKANTUSA

##### 4.4.1. Translokacija in bioakumulacija Cd

TF(Cd) je pri krmnem sirku pri vseh razmerjih (steblo/korenine, semena/korenine, semena/steblo, nadzemni del/korenine) < 1 na vseh obravnavanih območjih (Šentjur, Medlog, Bukovžlak). Vrednosti se najbolj približajo vrednosti 1 pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017, kjer je  $TF(Cd)_{\text{nadzemni del/korenine}}$  0,81 in  $TF(Cd)_{\text{steblo/korenine}}$  0,71 ter na območju Šentjurja, kjer  $TF(Cd)_{\text{nadzemni del/korenine}}$  znaša 0,77 in  $TF(Cd)_{\text{steblo/korenine}}$  0,76. Pri miskantusu na območju Bukovžlaka v letu 2018 vrednost za  $TF(Cd)_{\text{steblo/korenine}}$  znaša 0,67.

BAF(Cd) je > 1 pri krmnem sirku na vseh obravnavanih območjih. V Šentjurju BAF(Cd) znaša 2,08, v Bukovžlaku je za leto 2017 BAF(Cd) 2,57 in za leto 2018 2,29. Pri miskantusu je BAF(Cd) vedno < 1.

*Preglednica 11: Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Cd krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh*

Cd (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	0,76	0,02	0,02	0,77	<b>2,08</b>
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	0,71	0,09	0,13	0,81	<b>2,57</b>
2018	0,43	0,04	0,09	0,47	<b>2,29</b>
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,10
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					0,42
2018	0,67			0,67	0,21

##### 4.4.2. Translokacija in bioakumulacija Pb

TF(Pb) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu pri vseh razmerjih na vseh obravnavanih območjih, razen na območju Bukovžlaka v letu 2018 pri krmnem sirku  $TF(Pb)_{\text{semena/steblo}}$ , kjer vrednost znaša 1,98. Vrednost  $TF(Pb)_{\text{semena/steblo}}$  se približa vrednosti 1 pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka tudi v letu 2017 (0,97).

BAF(Pb) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu na različno onesnaženih območjih.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Preglednica 12:** Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Pb krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

Pb (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	0,08	0,03	0,41	0,11	0,02
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	0,01	0,01	0,97	0,01	0,00
2018	0,04	0,08	<b>1,98</b>	0,12	0,01
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,00
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					0,01
2018	0,04			0,04	0,00

#### 4.4.3. Translokacija in bioakumulacija Zn

Vrednosti so > 1 na območju Šentjurja pri krmnem sirku, kjer  $TF(Zn)_{\text{steblo/korenine}}$  znaša 1,36 in  $TF(Zn)_{\text{nadzemni del/korenine}}$  1,57. Vrednosti za  $TF(Zn)_{\text{nadzemni del/korenine}}$  se približajo vrednosti 1 na območju Bukovžlaka v letu 2017 in 2018 pri krmnem sirku (0,62 in 0,61) in na območju Bukovžlaka v letu 2018 pri miskantusu (0,76).

BAF(Zn) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu na vseh obravnavnih območjih, razen na območju Šentjurja, kjer vrednost BAF(Zn) znaša 1,40.

**Preglednica 13:** Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Zn krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

Zn (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	<b>1,36</b>	0,21	0,15	<b>1,57</b>	<b>1,40</b>
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	0,50	0,12	0,23	0,62	0,26
2018	0,52	0,09	0,17	0,61	0,30
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,06
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					0,19
2018	0,76			0,76	0,10

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

#### 4.4.4. Translokacija in bioakumulacija Ni

TF(Ni)<sub>semena/steblo</sub> izrazito odstopa pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017, kjer vrednost znaša 8,61. TF(Ni)<sub>semena/steblo</sub> pa je > 1 pri krmnem sirku tudi na območju Šentjurja in na območju Bukovžlaka v letu 2018 (5,05 in 2,52). Vrednost se približa vrednosti 1 pri krmnem sirku pri TF(Ni)<sub>semena/korenine</sub> na območju Bukovžlaka v letu 2017 (0,73) in pri TF(Ni)<sub>nadzemni del/korenine</sub> na vseh obravnavanih območjih (Šentjur – 0,60; Bukovžlak 2017 – 0,82; Bukovžlak 2018 – 0,69). Pri miskantusu je vrednost TF(Ni)<sub>nadzemni del/korenine</sub> < 1 (0,47).

BAF(Ni) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu na vseh obravnavanih območjih.

**Preglednica 14:** Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ni krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

Ni (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	0,10	0,50	<b>5,05</b>	0,60	0,12
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	0,08	0,73	<b>8,61</b>	0,82	0,25
2018	0,20	0,50	<b>2,52</b>	0,69	0,14
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,05
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					0,11
2018	0,47			0,47	0,10

#### 4.4.5. Translokacija in bioakumulacija As

TF(As) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu pri vseh razmerjih na vseh obravnavanih območjih. Največji TF(As) se pojavi pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2018, kjer TF(As)<sub>nadzemni del/korenine</sub> znaša 0,91 in TF(As)<sub>steblo/korenine</sub> 0,68.

BAF(As) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu na različno onesnaženih območjih.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Preglednica 15:** Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) As krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

As (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				BAF
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	0,11	0,06	0,50	0,17	0,03
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	0,03	0,00	0,00	0,03	0,01
2018	0,68	0,23	0,33	0,91	0,11
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,04
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					0,02
2018	0,18			0,18	0,04

#### 4.4.6. Translokacija in bioakumulacija Mo

TF(Mo)<sub>nadzemni del/korenine</sub> je > 1 pri krmnem sirku na vseh obravnavanih območjih (Šentjur – 1,71; Bukovžlak 2017 – 3,38; Bukovžlak 2018 – 1,81). Vrednost TF(Mo)<sub>steblo/korenine</sub> je > 1 pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017 (1,33) in 2018 (1,12) ter se približa vrednosti 1 tudi na območju Šentjurja (0,99). TF(Mo)<sub>semena/korenine</sub> je > 1 pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017 (2,05) in se približa vrednosti 1 tudi na območju Šentjurja (0,73) in Bukovžlaka v letu 2018 (0,69). TF(Mo)<sub>semena/steblo</sub> je > 1 pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017 (1,54) in se približa vrednosti 1 tudi na območju Šentjurja (0,74) in Bukovžlaka v letu 2018 (0,62). TF(Mo)<sub>nadzemni del/korenine</sub> pri miskantusu je < 1 (0,23).

BAF(Mo) je > 1 pri krmnem sirku na vseh obravnavanih območjih. V Šentjurju BAF(Cd) znaša 2,67, v Bukovžlaku je za leto 2017 BAF(Cd) 3,04 in za leto 2018 1,71. Pri miskantusu je BAF(Cd) vedno < 1, vrednost se približa vrednosti 1 na območju Bukovžlaka v letu 2017 (0,89) in v letu 2018 (0,77).

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Preglednica 16:** Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Mo krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

Mo (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	0,99	0,73	0,74	<b>1,71</b>	<b>2,67</b>
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	<b>1,33</b>	<b>2,05</b>	<b>1,54</b>	<b>3,38</b>	<b>3,04</b>
2018	<b>1,12</b>	0,69	0,62	<b>1,81</b>	<b>1,71</b>
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,25
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					0,89
2018	0,23			0,23	0,77

#### 4.4.7. Translokacija in bioakumulacija TI

TF(TI) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu pri vseh razmerjih na vseh obravnavnih območjih. Največji TF(TI) se pojavi pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017, kjer  $TF(TI)_{\text{nadzemni del/korenine}}$  in  $TF(As)_{\text{steblo/korenine}}$  znašata 0,54.

BAF(TI) je < 1 pri krmnem sirku in miskantusu na različno onesnaženih območjih.

**Preglednica 17:** Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) TI krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

TI (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	0,54	0,00	0,00	0,54	0,26
2018	0,30	0,00	0,00	0,30	0,10
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,00
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					0,00
2018	0,00			0,00	0,00



Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

#### 4.4.8. Translokacija in bioakumulacija Ti

TF(Ti) je > 1 pri krmnem sirku na območju Šentjurja za TF(Ti)<sub>steblo/korenine</sub> (2,02) in TF(Ti)<sub>nadzemni del/korenine</sub> (2,23), medtem ko je TF(Ti)<sub>semena/korenine</sub> in TF(Ti)<sub>semena/steblo</sub> < 1 (0,21 in 0,11). Vrednosti TF(Ti) se približajo vrednosti 1 za krmni serek tudi na območju Bukovžlaka v letu 2018, in sicer znaša TF(Ti)<sub>nadzemni del/korenine</sub> 0,99, TF(Ti)<sub>semena/steblo</sub> 0,66 in TF(Ti)<sub>steblo/korenine</sub> 0,60. Pri miskantusu je TF(Ti)<sub>nadzemni del/korenine</sub> < 1 (0,44).

BAF(Ti) je > 1 pri krmnem sirku na območju Šentjurja (1,80) in na območju Bukovžlaka v letu 2017 (1,26) ter se približa vrednosti 1 tudi na območju Bukovžlaka v letu 2018 (0,82). BAF(Ti) pri miskantusu je > 1 na območju Bukovžlaka v letu 2017 in 2018 (2,96 in 1,81) ter se približa vrednosti 1 tudi na območju Šentjurja (0,62).

**Preglednica 18:** Translokacijske vrednosti (TF) in bioakumulacijska vrednost (BAF) Ti krmnega sirka in miskantusa na različno onesnaženih tleh

Ti (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>ŠENTJUR</b>					
2018	<b>2,02</b>	0,21	0,11	<b>2,23</b>	<b>1,80</b>
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017	0,38	0,11	0,28	0,49	<b>1,26</b>
2018	0,60	0,39	0,66	0,99	0,82
	MISKANTUS				
	TF steblo/korenine	TF semena/korenine	TF semena/steblo	TF nadzemni del/korenine	BAF
<b>MEDLOG</b>					
2017					0,62
2018					
<b>BUKOVŽLAK</b>					
2017					<b>2,96</b>
2018	0,44			0,44	<b>1,81</b>

#### 4.5 REZULTATI KOVIN As, Cd in Pb V RASTLINSKIH DELIH KRMNEGA SIRKA GLEDE NA VELJAVNO ZAKONODAJO

Glede na Direktivo 2002/32/ES, ki obravnava nezaželene snovi v proizvodih, namenjenih za živalsko krmo, smo primerjali najvišjo vsebnost nezaželene snovi, določeno v direktivi z vsebnostjo As, Cd in Pb v krmnem sirku v nadzemnem delu (steblo, semena).

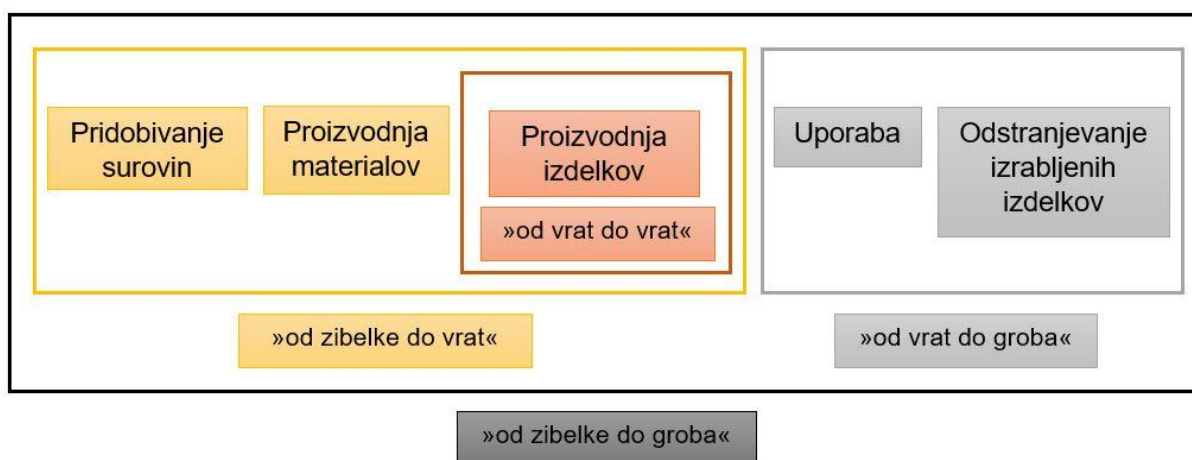
Rezultati kažejo, da je vsebnost As in Pb v nadzemnem delu v krmnem sirku na vseh onesnaženih območjih pod mejno vrednostjo, ki jo predpisuje Direktiva 2002/32/ES. Vsebnost Cd je povišana na vseh obravnavanih območjih, tako na malo onesnaženih tleh v Šentjurju kot na močno onesnaženem območju v Bukovžlaku v obeh letih, kjer je vsebnost Cd največjo dovoljeno vsebnost močno preseгла, zato krmni sirek kot živilska krma ni primerna za prehrano živali.

**Preglednica 19:** Primerjava vsebnosti kovin As, Cd in Pb v semenih krmnega sirka na območju Šentjurja in Bukovžlaka v letu 2017 in 2018 glede na zakonodajo o krmi za živali (vir: Direktiva 2002/32/ES)

Element	Lokacija	Leto	Največja vsebnost v mg/kg (ppm) pri krmi z 12-odstotno vsebnostjo vlage	
As	Šentjur	2018	0,30	
	Bukovžlak	2017	0,10	2
		2018	1,40	
Cd	Šentjur	2018	2,70	
	Bukovžlak	2017	28,06	1
		2018	24,94	
Pb	Šentjur	2018	0,56	
	Bukovžlak	2017	0,45	30
		2018	1,31	

## 5 LCA METODA

Metoda, s katero ocenimo okoljsko primernost izdelka, je metoda ocene življenjskega cikla izdelkov (ŽCI), angleško Life Cycle Assessment method oz. krajše metoda LCA. To je metoda, s katero ovrednotimo obremenitve okolja, povezane s posameznim izdelkom ali storitvijo, tako da ugotovimo porabo energije in materialov glede na vrsto in količino; vrsto in količino odpadkov in emisij, sproščenih v okolje, ter ocenimo možne posledice za okolje (Košir 1999; Richter 1995; Smith in sod. 1993 v Lipušček 2008, str. 14). Glede na začrtane meje poznamo več različnih sistemov življenjskih poti izdelkov. V literaturi lahko zaznamo naslednje sisteme: »od vrat do vrat«, »od zibelke do vrat«, »od vrat do groba« in »od zibelke do groba«.



*Slika 24: Meje nekaterih sistemov na življenjski poti izdelkov (povzeto po Betz. In sod., 2002, str. 9 v Lipušček, 2008, str. 21)*

V magistrskem delu smo uporabili sistem »od vrat do vrat«, saj nas je zanimal samo proces pridelave krmnega sirka in miskantusa od priprave polja do spravila pridelka. Lipušček termin »od vrat do vrat« (angleški izraz: gate to gate) opredeljuje kot sistem, v katerem se preučuje vplive na okolje samo med procesom izdelave izdelkov (Lipušček 2008, str. 21). Primerjava je koristna kmetijskim pridelovalcem, ki že pridelujejo katero izmed obravnavanih rastlin na svojem polju, ali tistim, ki se za pridelavo miskantusa ali krmnega sirka še odločajo, ter v statistične in raziskovalne namene. Cilj LCA metode je primerjati dve rastlini, primerni za pridelovanje na kmetijskih površinah ali na degradiranih območjih z vidika priprave in obdelave polja, saditve in spravila pridelka ter oceniti vpliv posamezne rastline na okolje.

Za obravnavano funkcionalno enoto smo si zastavili polje v velikosti 1 ha. Pot od kmetije do polja, ki je bila upoštevana v metodi, znaša 1 km. Ocena življenjskega cikla izdelka je bila za krmni sirek in miskantus izračunana za časovno obdobje 1 leta in za časovno obdobje 10 let. Pred izračunom smo za posamezno rastlino predpostavili, kakšna je obdelava in priprava tal, vključno z gnojenjem tal z mineralnimi gnojili, sajenje pridelka, zatiranje plevela in spravilo pridelka ter pot od kmetije do polja. Podatke smo vnašali in obdelovali v programu OpenLCA, ki je odprt programski sistem, vključno z bazami podatkov. Po izračunu smo za primerjavo izdelkov izbrali različne kazalnike.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Kazalnik Global Warming Potencial 100 (GWP100) nam pove količino toplote toplogrednih plinov v atmosferi v primerjavi s količino toplote, ki jo zadrži enaka masa ogljikovega dioksida v časovnem intervalu 100 let, merjeno v enoti – kg ekvivalenta CO<sub>2</sub>. Količina toplogrednih plinov vpliva na spremembo globalne temperature in podnebje (povzeto po Bre).

Kazalnik Ozone layer depletion (ODP) nam pove količino plinov, ki tanjšajo ozonski plašč in povzročajo škodo stratosferskemu ozonu. Model karakterizacije je razvila Svetovna meteorološka organizacija (WMO) in opredeljuje potencial za zmanjšanje ozonskega plašča različnih plinov glede na referenčno snov klorofluorogljik-11 (CFC-11), izražen v kg ekvivalenta CFC-11 (povzeto po Bre).

Kazalnik Acidification je izražen z referenčno enoto – kg ekvivalenta SO<sub>2</sub>. Model upošteva zakisanje, ki ga povzročata SO<sub>2</sub> in NO<sub>x</sub>, kar vključuje zakisanje zaradi uporabe gnojil. Kisli plini namreč reagirajo z vodo v ozračju in tvorijo kisli dež, ki povzroči različno slabšanje ekosistemov. Plini, ki povzročajo odlaganje kisline, vključujejo amoniak, dušikove okside in žveplove okside (povzeto po Bre).

Kazalnik Eutrophication nam pove količino emisij amoniaka, nitratov, dušikovih oksidov in fosforja v vodo. Povečane koncentracije teh emisij v vodi spodbudijo pretirano rast alg in zmanjšajo kisik v vodi. Potencial je podan v enoti – kg ekvivalenta PO<sub>4</sub>. V metodo so vključeni neposredni in posredni vplivi gnojil (povzeto po Bre).

Kazalniki Fresh water aquatic ecotoxicity, Human toxicity, Marine aquatic ecotoxicity in Terrestrial ecotoxicity nam povedo izpostavljenost in učinek strupenih snovi na okolje in človeka. Faktorji so izraženi z enoto – kg ekvivalenta 1,4-DB in se merijo ločeno za sladkovodni ekosistem, kopenski ekosistem, morski ekosistem in vpliv na človeka (povzeto po Bre).

## 5.1 LCA METODA NA PRIMERU KRMNEGA SIRKA

Poroča se, da je najbolj primerna gostota nasada sirka 105.000 rastlin na ha (Oh in sod. 2015). Krmni sirek se silira pri 27 % vsebnosti suhe snovi, pri čemer znaša pridelek suhe snovi (tehnologija za koruzo z gnojenjem) v enem letu 11 t/ha (vir: Novalis).

Kazalnik GWP 100 je bil izračunan za obdobje 1 leta in za obdobje 10 let na območju 1 ha s predpostavko, da pridelek znaša 11 t/ha/leto oz. 110 t/ha/10let. Umetna gnojila so bila dovajana v količinah, kot jih priporoča vir Novalis 2019, in sicer N: 150 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 80 kg/ha, K<sub>2</sub>O: 150 kg/ha, Ca: 50 kg/ha in Mg: 30 kg/ha.

Krmni sirek smo pred vznikom in po vzniku zaščitili pred plevelom z zaščitnimi sredstvi. Pred vznikom smo dodali 4 l/ha sredstva Primextra TZ Gold in 2,5 l/ha sredstva Stomp Aqua. Po vzniku smo rastlinam dodali še 1,5 l/ha sredstva Bromotril, 0,2 l/ha sredstva Arrat v kombinaciji z močilom Dash (1 l/ha), 0,5 l/ha sredstva Benvel 480 S in 1,4 l/ha sredstva Frontier X2 (povzeto po Novalis 2019).

**Preglednica 20:** Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave krmnega sirka na območju 1 ha v obdobju 1 leta

Št.	Opravilo	Potrebna kmetijska mehanizacija	Potreben čas (h/ha)
1	<b>ORANJE S PLUGOM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- plug (Kuhn; serija Vari Master 123; štiribrzdni): 1.064 kg (Sloga)</li> </ul>	1,7 (Pravilnik)
2	<b>GNOJENJE Z UMETNIMI GNOJILI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- trosilec umetnih gnojil (Rauch Axis, 24 m): 300 kg (Rauch)</li> </ul>	0,28 (Perić, M. in sod. 2018)
3	<b>SETEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- pnevmatska koruzna sejalnica (Kuhn; Planter 3 TS; 6-vrstni): 1.240 kg (Sloga)</li> </ul>	0,9 (Pravilnik)
4	<b>VALJANJE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- njivski valj (Rexius; 9,4 m): 4.400 kg (Vaderstad)</li> </ul>	0,12 (Vaderstad)
5	<b>ZATIRANJE PLEVELA PRED VZNIKOM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- škropilnica (Kuhn; Omnis 1000; 1.000 l): 655 kg (Sloga)</li> </ul>	0,3 (Pravilnik)
6	<b>ZATIRANJE PLEVELA PO VZNIKU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- škropilnica (Kuhn; Omnis 1000; 1.000 l): 655 kg (Sloga)</li> </ul>	0,3 (Pravilnik)

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

7	<b>ŽETEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- silažni kombajn (Kuhn; serija MC 180 S Quattro): 1.140 kg (Sloga)</li> <li>- prikolica (Reisch): 2.800 kg (Sloga)</li> </ul>	0,63 (Sloga)
8	<b>TRANSPORT (pot od kmetije do polja in nazaj)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> </ul>	0,66 (za 20 km)

**Preglednica 21:** Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave krmnega sirka na območju 1 ha v obdobju 10 let

Št.	Opravilo	Potrebna kmetijska mehanizacija	Potreben čas (h/ha)
1	<b>ORANJE S PLUGOM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- plug (Kuhn; serija Vari Master 123; štiribrazdni): 1.064 kg (Sloga)</li> </ul>	17 (Pravilnik)
2	<b>GNOJENJE Z UMETNIMI GNOJILI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- trosilec umetnih gnojil (Rauch Axis, 24 m): 300 kg (Rauch)</li> </ul>	2,8 (Perić, M. in sod. 2018)
3	<b>SETEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- pnevmatska koruzna sejalnica (Kuhn; Planter 3 TS; 6-vrstni): 1.240 kg (Sloga)</li> </ul>	9 (Pravilnik)
4	<b>VALJANJE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- njivski valj (Rexius; 9,4 m): 4.400 kg (Vaderstad)</li> </ul>	1,2 (Vaderstad)
5	<b>ZATIRANJE PLEVELA PRED VZNIKOM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- škropilnica (Kuhn; Omnis 1000; 1.000 l): 655 kg (Sloga)</li> </ul>	3 (Pravilnik)
6	<b>ZATIRANJE PLEVELA PO VZNIKU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- škropilnica (Kuhn; Omnis 1000; 1.000 l): 655 kg (Sloga)</li> </ul>	3 (Pravilnik)
7	<b>ŽETEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- silažni kombajn (Kuhn; serija MC 180 S Quattro): 1.140 kg (Sloga)</li> <li>- prikolica (Reisch): 2.800 kg (Sloga)</li> </ul>	6,3 (Sloga)
8	<b>TRANSPORT (pot od kmetije do polja in nazaj)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> </ul>	6,6 (za 200 km)

## 5.2 LCA METODA NA PRIMERU MISKANTUSA

Sadi se 1 rizom/m<sup>2</sup> oz. 10.000 rizomov/ha (povzeto po Miskantus, d.o.o.). Proizvodnja suhe snovi miskantusa v enem letu znaša za Slovenijo povprečno 20 t/ha oz. za obdobje 10 let 200 t/ha (povzeto po Zorko, Miskantus – energetska rastlina).

Kazalnik GWP 100 je bil izračunan za obdobje 1 leta in za obdobje 10 let na območju 1 ha s predpostavko, da pridelek suhe snovi znaša 20 t/ha/leto. Umetna gnojila so bila dovajana v količinah, kot jih priporoča vir Miskantus, d.o.o., in sicer N: 90 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 40 kg/ha in K<sub>2</sub>O: 150 kg/ha.

*Preglednica 22: Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave miskantusa na območju 1 ha v obdobju 1 leta*

Št.	Opravilo	Potrebna kmetijska mehanizacija	Potreben čas (h/ha)
1	ORANJE S PLUGOM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- plug (Kuhn; serija Vari Master 123; štiribrazdni): 1.064 kg (Sloga)</li> </ul>	1,7 (Pravilnik)
2	GNOJENJE Z UMETNIMI GNOJILI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- trosilec umetnih gnojil (Rauch Axis, 24 m): 300 kg (Rauch)</li> </ul>	0,28 (Perić, M. in sod. 2018)
3	SETEV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- avtomatski sadilec za krompir (ASK-2): 270 kg (Tehnos)</li> </ul>	1,4 (Tehnos)
4	ŽETEV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- silažni kombajn (Kuhn; serija MC 180 S Quattro): 1.140 kg (Sloga)</li> <li>- prikolica (Reisch): 2.800 kg (Sloga)</li> </ul>	0,63 (Sloga)
5	TRANSPORT (pot od kmetije do polja in nazaj)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> </ul>	0,33 (za 10 km)

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Preglednica 23:** Vhodni podatki in podatkovne baze za primer pridelave miskantusa na območju 1 ha v obdobju 10 let

Št.	Opravilo	Potrebna kmetijska mehanizacija	Potreben čas (h)
1	<b>ORANJE S PLUGOM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- plug (Kuhn; serija Vari Master 123; štiribrazdni): 1.064 kg (Sloga)</li> </ul>	1,7 (Pravilnik)
2	<b>GNOJENJE Z UMETNIMI GNOJILI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- trosilec umetnih gnojil (Rauch Axis, 24 m): 300 kg (Rauch)</li> </ul>	0,28 (Perić, M. in sod. 2018)
3	<b>SETEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- avtomatski sadilec za krompir (ASK-2): 270 kg (Tehnos)</li> </ul>	1,4 (Tehnos)
4	<b>ŽETEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> <li>- silažni kombajn (Kuhn; serija MC 180 S Quattro): 1.140 kg (Sloga)</li> <li>- prikolica (Reisch): 2.800 kg (Sloga)</li> </ul>	6,3 (Sloga)
5	<b>TRANSPORT (pot od kmetije do polja in nazaj)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- traktor (78 kW; John Deere): 2.895 kg (Sloga)</li> </ul>	1,53 (za 46 km)



### 5.3 REZULTATI IN PRIMERJAVA KRMNEGA SIRKA IN MISKANTUSA Z VIDIKA LCA METODE

S pomočjo LCA metode smo poskušali prikazati oceni življenjskega cikla krmnega sirka in miskantusa po sistemu »od vrat do vrat«, ki se nanaša na življenjsko pot pridelkov od setve do spravila. Ocenjeni življenjskega cikla krmnega sirka in miskantusa sta bili izračunani z namenom primerjave teh dveh pridelkov od setve do spravila.

Podatke smo vnašali in obdelovali v programu OpenLCA, ki je odprt programski sistem, vključno z bazami podatkov. Zaradi omejenosti podatkovnih baz smo pri izračunu izbrali najbolj podobne našim podatkom. Podatkovne baze, ki se nanašajo na delo na polju (oranje, gnojenje, setev, valjanje, žetev in transport) so na globalnem nivoju, razen zaščite rastlin, ki velja za področje Francije. Podatki za umetna gnojila (N, P, K) veljajo za področje Francije, medtem ko so podatki za Ca in Mg na globalnem nivoju. Pri krmnem sirku smo vnesli tudi podatke o zaščitnih sredstvih za zatiranje plevela, ki so prav tako na globalnem nivoju. Po vnosu vseh vhodnih in izhodnih podatkov smo za izračun izbrali metodo CML 2 baseline 2000, ki je privzeta LCA metoda za evropski trg. Analiza poda približno oceno vpliva proizvodnje krmnega sirka in miskantusa od priprave polja do spravila pridelka na okolje. Z analizo lahko primerjamo oba pridelka in dobimo vpogled v posamične vplive, ki jih ima pridelava obeh rastlin na okolje, vendar pa rezultatov ne moremo uporabljati za profesionalne namene, saj je bila analiza izvedena z demo verzijo programa in dostopnimi podatki.

Pri kazalniku Global warming (GWP100) se pokaže, da se v obdobju 1 leta več kg CO<sub>2</sub> eq pridelava v postopku pridelave krmnega sirka (209,01 kg CO<sub>2</sub> eq), vendar je vsebnost CO<sub>2</sub> pri pridelavi miskantusa podobna (206,23 kg CO<sub>2</sub> eq). Razlika se pokaže v obdobju 10 let. Pri pridelavi krmnega sirka v obdobju 10 let se proizvede 2.090,10 kg CO<sub>2</sub> eq, medtem ko se pri pridelavi miskantusa v obdobju 10 let proizvede 661,35 kg CO<sub>2</sub> eq. Če primerjamo vrednosti z Perić, M. in sod. (2018), kjer so v postopek zajeli celoten proces pridelave miskantusa od setve do briketiranja v Republiki Srbiji, je prikazano da se proizvede 1.181,21 kg CO<sub>2</sub> eq. V raziskavi je navedeno, da v tem primeru zamenjava briketov miskantusa z premogom privede do zmanjšanja ekvivalenta CO<sub>2</sub> za 98 %, zamenjava briketov miskantusa z lesom pa za 20 % ekvivalenta CO<sub>2</sub>.

V raziskavi Wiloso E.I. in sod. (2020) so na površini 100.000 ha posejali sirek za namen gojenja biomase in briketov. Izračunali so, da glede na donos biomase sirka 48 t/ha/leto lahko naredijo 4,8 milijonov ton peletov na površini 100.000 ha, kar znaša 48 t peletov/ha/leto. Izračunani faktor GWP100 je za sirek znašal 0,062 kg CO<sub>2</sub> eq na 1 kg peletov, kar preračunano za 48t/ha/leto znaša 2.976 kg CO<sub>2</sub> eq. Ker je bila raziskava izvedena v Indoneziji, prihaja do večjih odstopanj pridelka biomase na ha zaradi podnebnih razlik.

V raziskavi sta za primerjavo navedena tudi primera za miskantus iz leta 1995 in 2013. Kazalnik GWP100 v raziskavi Lewandowski et al. (1995) znaša 0,077 kg CO<sub>2</sub> eq na 1 kg peletov, kar pretvorjeno za 20 t/ha/leto znaša 1.540 kg CO<sub>2</sub> eq (Nemčija). V raziskavi Murphy in sod. (2013) znaša kazalnik GWP100 0,101 kg CO<sub>2</sub> eq, kar preračunano za 11,5 t/ha/leto znaša 1.161,5 kg CO<sub>2</sub> eq (Irska).

Če upoštevamo vse okoljske kazalnike, lahko ugotovimo, da ima večji vpliv na okolje v 1 letu in v 10 letih pridelava krmnega sirka. Do razlik prihaja zaradi več dejavnikov. Krmni sirek se seje s semeni, zaradi česar je potrebno vsako leto ponovno pripraviti polje na setev in sejati, medtem ko pri miskantusu prvo leto pripravimo polje in sadimo sadike oz. rizome in ponovna priprava polja in setev v naslednjih 10 letih ni potrebna. Po priporočilih je potrebno zaradi setve semen pri krmnem sirku polje pred setvijo valjati, da semena lažje vzniknejo, medtem ko pri miskantusu to ni potrebno. Zaradi dobrih rastnih lastnosti in velikosti miskantusa tudi ni potrebe po zatiranju plevela z zaščitnimi sredstvi, medtem ko se pri krmnem sirku priporoča zatiranje plevela pred in po vzniku semena. Do razlik prihaja tudi pri transportu od kmetije do polja. Pri krmnem sirku prihaja do večjega števila opravljenih kilometrov zaradi več opravil na polju in zaradi spravila pridelka po žetvi. Krmni sirek se žanje pri 27 % vsebnosti suhe snovi, zaradi česar prihaja do večje količine zelene mase pri žetvi in posledično večkrat opravljene poti od polja do kmetije in nazaj (spravilo pridelka s prikolico). Miskantus se žanje pri 100 % vsebnosti suhe snovi, zaradi česar je teža pridelka nižja.

Pri krmnem sirku je postopek pridelave vsako leto enak, zato lahko za obdobje 1 leta in za obdobje 10 let rečemo, da ima na okolje največji vpliv oranje s plugom (33 %) in žetev (22 %). Pri pridelavi miskantusa ima v obdobju 1 leta največji vpliv na okolje oranje s plugom (34 %) in sajenje sadik (34 %), medtem ko ima v obdobju 10 let največji vpliv na okolje žetev (70 %).

Na splošno bi lahko rekli, da je vpliv pridelave krmnega sirka in miskantusa na okolje majhen. Zaznali smo ga na področju podnebnih sprememb, zdravja ljudi in ekosistemov. Končne ugotovitve so, da bi z vidika dolgoročne pridelave (10 let) glede na okoljski vpliv izbrali pridelavo miskantusa, vendar je tudi pridelava krmnega sirka okoljsko sprejemljiva, saj so okoljski kazalniki majhni.

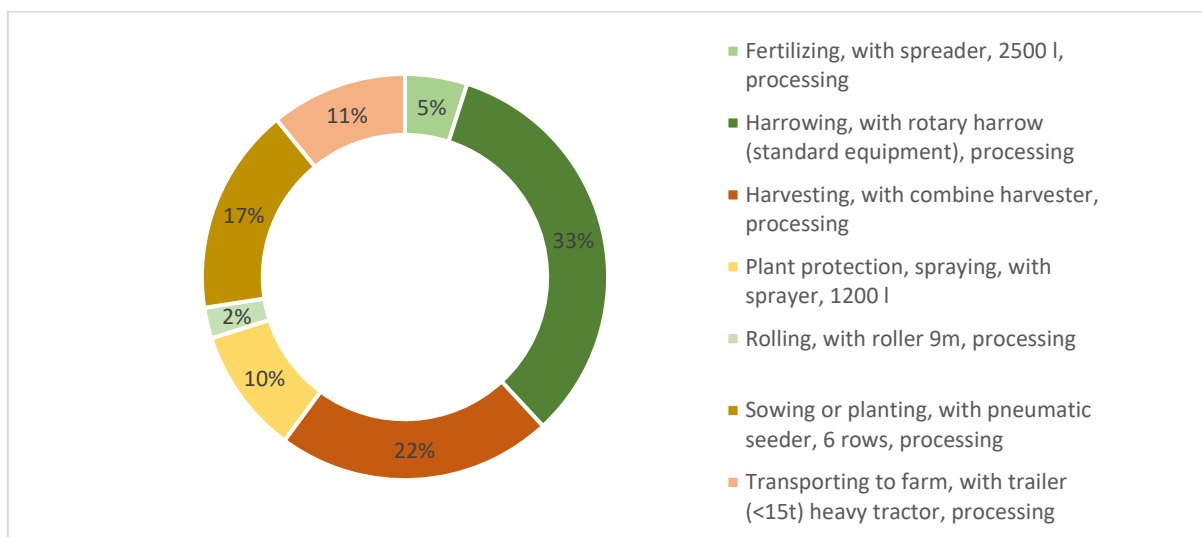
Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**Preglednica 24:** Kategorije vplivov, merske enote in vrste onesnaženja, ki se pojavljajo pri pridelavi krmnega sirka in miskantusa po metodi LCA (od vrat do vrat) ter primerjava z drugimi viri

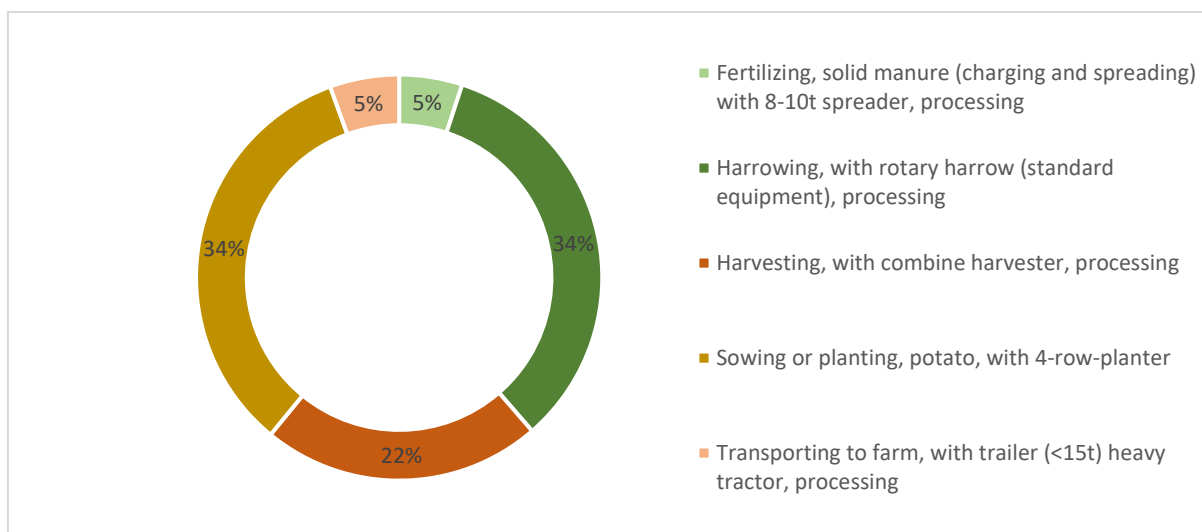
	Global warming (GWP100)	Ozone layer depletion (ODP)	Acidification	Eutrophication	Fresh water aquatic ecotoxicity, Human toxicity, Marine aquatic ecotoxicity in Terrestrial ecotoxicity
<b>Merska enota in vrsta onesnaženja</b>	kg CO <sub>2</sub> eq (zrak)	kg CFC-11 eq (zrak)	kg SO <sub>2</sub> eq (zrak)	kg PO <sub>4</sub> eq (sladka voda)	kg 1,4-DB eq (sladka voda, morska voda, tla, zrak)
<b>KRMNI SIREK 1ha/1leto</b>	209,01	0,00000000219	1,46	0,36	133,85
<b>KRMNI SIREK 1ha/10let</b>	2.090,10	0,0000000219	14,61	3,59	1.338,53
<b>MISKANTUS 1ha/1leto</b>	206,23	0,0000000365	1,44	0,35	754,27
<b>MISKANTUS 1ha/10let</b>	661,35	0,0000000365	4,62	1,14	1.198,24
Perić, M. in sod. (2018) na primeru pridelave briketov iz miskantusa (1ha/1leto)	1.181,21	0,00091	38,43	1,49	1.154,85
Wiloso E.I. in sod. (2020) za pridelavo biomase sirka (za 1 kg peletov)	0,062				
Lewandowski et al. (1995) v Wiloso E.I. in sod. (2020) za pridelavo biomase miskantusa (za 1 kg peletov)	0,077				
Murphy et al. (2013) Wiloso E.I. in sod. (2020) za pridelavo biomase miskantusa (za 1 kg peletov)	0,101				

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

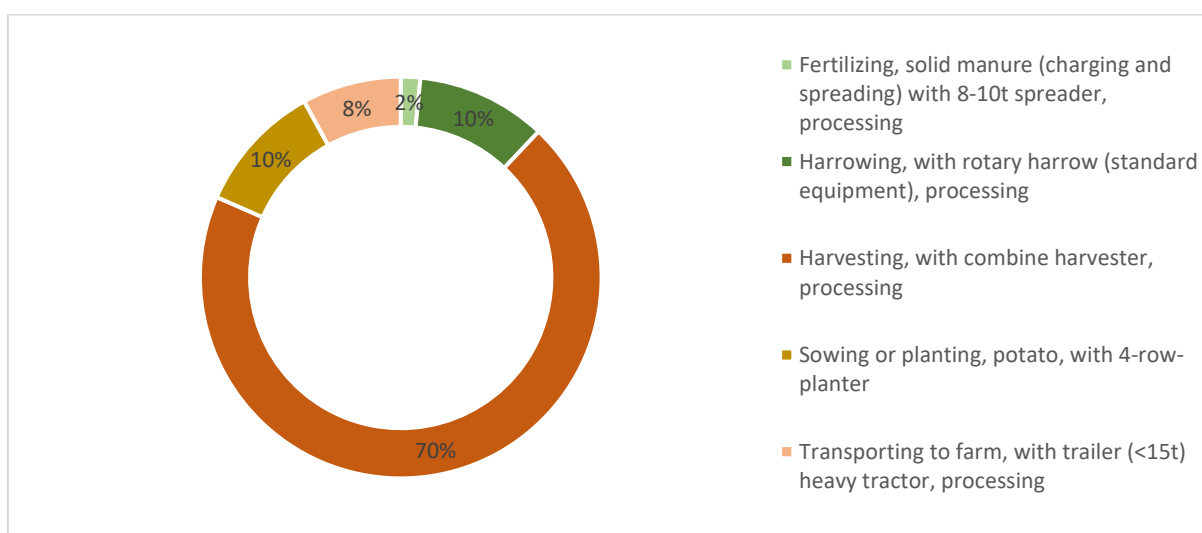
**Grafikon 1:** Prikaz odstotkov proizvodnje CO<sub>2</sub> na območju 1 ha za krmni sirek (v 1 letu in v 10 letih) (vir: lasten)



**Grafikon 2:** Prikaz odstotkov proizvodnje CO<sub>2</sub> na območju 1 ha za miskantus v 1 letu (vir: lasten)



**Grafikon 3:** Prikaz odstotkov proizvodnje CO<sub>2</sub> na območju 1 ha za miskantus v 10 letih (vir: lasten)



## 6 RAZPRAVA

### 6.1 VSEBNOST KOVIN V TLEH GLEDE NA VELJAVNO ZAKONODAJO IN PRETEKLE RAZISKAVE NA OBMOČJU CELJA IN SLOVENIJE

Rezultati analize tal na vzorčnih mestih prikazujejo prekoračitev mejnih, opozorilnih in kritičnih vrednosti nekaterih kovin v tleh. Glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh smo vzorčna mesta razdelili na malo onesnažena (Šentjur), močno onesnažena (Medlog) in kritično onesnažena (Bukovžlak). Primerjali smo vrednosti prekoračenih kovin v tleh po Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh glede na povprečje za bivšo območje občine Celje iz leta 1989 po Lobniku in sod. ter glede na povprečje za območje Slovenije iz leta 1994 po SLO Andrijelov.

V Šentjurju je bila prekoračena mejna vrednost za Cd (1,3 mg/kg suhe snovi), kar je glede na raziskavo iz leta 1989 na območju bivše občine Celje nižja vrednost (2,5 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989), vendar je glede na povprečje za območje Slovenije višja vrednost (0,5 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994). Pri povečanih količinah Ni v tleh na območju Šentjurja (54 mg/kg suhe snovi) je vrednost višja od povprečja za območje bivše občine Celje (25,2 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989) in Slovenije (46 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994). V Šentjurju je glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh možna neomejena raba tal, vendar se ne priporoča intenzivne pridelave listne zelenjave in korenovk. Potrebna je ostrejša preventiva in kontrola stanja tal, vrtnin, krme in podtalnice.

V Medlogu je bila presežena mejna vrednost za As (22,8 mg/kg suhe snovi), ki je glede na povprečje za območje bivše občine Celje (6,4 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989) in glede na povprečje Slovenije (< 5,0 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994) višja. Presežene so bile opozorilne vrednosti Cd, Pb in Zn. Vsebnost Cd (2,1 mg/kg suhe snovi) je bila glede na povprečje za območje bivše občine Celje nižja (2,5 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989), vendar glede na povprečje za Slovenijo višja (0,5 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994). Vsebnost Pb (163,4 mg/kg suhe snovi) je bila glede na območje bivše občine Celje (99,5 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989) in za območje Slovenije (34 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994) višja. Vsebnost Zn (397 mg/kg suhe snovi) je bila na območju bivše občine Celje (337 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989) in na območju Slovenije (104 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994) višja. Na območju Medloga se priporočajo nadaljnje raziskave tal in redna kontrola stanja tal ter sanacijski ukrepi v smislu omejitve rabe tal. Pogojno so možne vse rabe tal, vendar se vrtove za pridelavo vrtnin odsvetuje. Pogojno se dovoljuje pridelava najmanj dovzetnih vrtnin za privzem kovin ter redna in pogosta kontrola kmetijskih rastlin, krme in podtalnice.

V Bukovžlaku sta bili preseženi opozorilni vrednosti za Cd in Pb ter kritična vrednost za Zn. Vsebnost Cd (10,9 mg/kg suhe snovi) je glede na povprečje za območje bivše občine Celje (2,5 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989) in za območje Slovenije (0,5 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994) višja. Vsebnost Pb (153,4 mg/kg suhe snovi) je glede na povprečje za območje bivše občine Celje (99,5 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989) in za območje Slovenije (34 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994) višja. Kritična vrednost Zn (1.143 mg/kg suhe snovi) je glede na povprečje za območje bivše občine Celje (337 mg/kg suhe snovi; Lobnik in sod. 1989) in za območje Slovenije (104 mg/kg suhe snovi; SLO Andrijelov 1994)

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

višja. Glede na priporočila po Mailander R.A. in Hammann M. (2005), ki priporočata najvišjo še priporočeno vsebnost TI v tleh 0,5 mg/kg suhe snovi, je bila na območju Bukovžlaka presežena vsebnost TI (0,7 mg/kg suhe snovi). TI v letu 1989 na območju bivše občine Celje in letu 1994 na območju Slovenije v analizah ni bil zajet, zato vsebnosti glede na pretekle raziskave ni mogoče primerjati. Tveganje je na območju Bukovžlaka zelo verjetno, potrebni so sanacijski ukrepi oz. izključitev vsakovrstne rabe tal, ki lahko predstavlja izvor širjenja nevarnih snovi iz tal v okolje. Dovoljuje se le nekmetijska raba tal oz. kontrolirana pridelava energetskih in industrijskih rastlin. Prepovedana je uporaba rastlin za prehrano živali in človeka, površine morajo biti ozelenjene, rastlinska masa se kompostira in odlaga na deponijo in redno se kontrolira stanje podtalnice.

Lobnik in sod. (2010) navaja, da so rezultati meritev iz leta 1989 (Lobnik in sod.) na območju Celjske kotline pokazali, da izstopajo vsebnosti elementov kadmija (Cd), svinca (Pb) in cinka (Zn), ki na površino tal pridejo preko zraka, ter vsebnosti niklja (Ni) in arzena (As) na posameznih lokacijah zaradi točkovnega onesnaženja oz. izvora v matični kamnini. Navaja tudi, da se kovine zadržijo predvsem v zgornjem sloju tal in le počasi migrirajo skozi talni profil (raziskave vertikalne razporeditve kovin po profilu) (Lobnik in sod. 2010). Rezultati vsebnosti kovin in As v tleh na območju Šentjurja, Medloga in Bukovžlaka so potrdili rezultate meritev iz leta 1989. V naših meritvah je prav tako opaziti povišano vsebnost elementov Cd, Pb in Zn, kjer so še posebej višje vsebnosti na območju Bukovžlaka. V Šentjurju in Medlogu pa se pojavlja tudi onesnaženje z Ni in As, kar kaže na točkovno onesnaženje.

Žibret (2010) navaja, da se je na podlagi rezultatov študij prahov v Celju ugotovila povečana vsebnost cinka in kadmija na območju industrijske cone (Delavska ulica, Bukovžlak), arzena, predvsem v cestnem sedimentu, ter kroma v Štorah. Navaja tudi, da so vir teh kovin predvsem bremena iz preteklosti, vendar ne pri vseh, saj so v letu 2005 ugotovili, da na sestavo hišnega prahu in cestnega sedimenta, predvsem v Štorah, vpliva železarna, na sestavo hišnega prahu (vsebnost Ti) v Bukovžlaku pa tudi Cinkarna (Žibret & Rokavec, 2009) (Žibret 2010). Na podlagi naših analiz vsebnosti kovin in As v tleh na območju Bukovžlaka lahko potrdimo trditev, da se pojavlja povečano onesnaženje tal z Zn in Cd, kar pa za As in Ti glede na naše meritve ne moremo potrditi, saj je bil As v tleh mejno prekoračen samo na območju Medloga, medtem ko Ti ni presegal priporočil po H.J.M. Bowen (1996). Vsebnosti kovin v rastlinah so odvisne od vsebnosti kovin v tleh in pH vrednosti tal.

## 6.2 VSEBNOST KOVIN V RASTLINAH

### Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije Cd v krmnem sirku in miskantusu

Zupan in sod. (2010) navajajo, da se največ Cd akumulira v korenih in listih, najmanj pa v plodovih vrtnin. Tako v Šentjurju in Medlogu, kakor tudi v Bukovžlaku je pri krmnem sirku značilno premeščanje mobilnega Cd v zaporedju korenine > steblo > semena in pri miskantusu na območju Bukovžlaka korenine > steblo. Čeprav translokacijski faktor pri krmnem sirku in miskantusu ni > 1, se  $TF(Cd)_{\text{nadzemni del/korenine}}$  približa vrednosti 1 (0,81) in je večji od  $TF(Cd)_{\text{steblo/korenine}}$  pri miskantusu (0,67), kar pomeni, da lahko krmni sirek opredelimo kot uspešnejšega pri mobilnem premeščanju Cd iz korenin v nadzemne dele rastlin. BAF(Cd) je pri krmnem sirku na vseh obravnavanih območjih > 1, medtem ko je BAF(Cd) pri miskantusu vedno < 1, zaradi česar krmni sirek uvrščamo med akumulatorje in miskantus med izključevalce.

Krmni sirek in miskantus, ki sta rasla v Bukovžlaku, sta privzemala več Cd v rastlinske dele kot v Šentjurju in Medlogu (slika 15). Zupan in sod. (2010) navajajo, da se vsebnost kovin v rastlinah povečuje glede na stopnjo onesnaženosti tal, v rastline prehajata predvsem Cd in Zn.

Navajajo tudi, da so raziskave (1994, 2003, 2008), ki jih je izvedel Center za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete v Ljubljani, potrdile sum, da obstaja nevarnost vnosa kovin v človeka preko kmetijskih rastlin (Zupan in sod. 1996 in 2005; Klavs 2004; Karo Bešter 2009). Primerjava vsebnosti Cd v nadzemnem delu krmnega sirka kot potencialnega za prehrano živali z zakonodajo o krmi za živali (Direktiva 2002/32/ES) je pokazala prekoračeno največjo vsebnost Cd v mg/kg (ppm), zaradi česar krmni sirek, ki raste na malo do močno onesnaženih tleh ni primeren kot krma za prehrano živali.

Podobne ugotovitve navaja tudi Eržen iz Zavoda za zdravstveno varstvo Celje (Eržen in sod. 2003), ki je vzorce kmetijskih rastlin iz območja KS Teharje in KS Medlog, odvzete v letu 2002, primerjal z vzorci, odvzetimi na drugih območjih v Sloveniji. Pri tem je ugotovil, da pri vsebnosti Pb v rastlinah ni bistvenih razlik, medtem ko je vsebnost Cd tudi do 10 krat večja v nekaterih delih rastlin v primerjavi s povprečjem vzorcev odvzetih v letu 2002 v Sloveniji (Eržen in sod. 2003). Primerjava vsebnosti kadmija v užitnih delih kmetijskih rastlin z normativnimi vrednostmi za živila rastlinskega izvora (Uredba št.629/08, Ur.l.ES L173:6-9) potrjuje navedeno dejstvo, da so največkrat prekoračene vsebnosti Cd v koreninah in listih vrtnin (Zupan in sod. 2010).

### Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije Pb v krmnem sirku in miskantusu

Ribarič Lasnik in sod. (2014) navajajo, da je svinec element, ki se v tleh dobro veže in omejeno prehaja v nadzemne dele rastlin. To potrjuje tudi študija, ki so jo opravili Oh in sod. (2015), ki je pokazala, da se je v korenine sirka nabralo kar 81 % Pb, kar dokazuje, da ima sirek dobro toleranco za onesnažena tla s Pb. Koncentracije Pb v rastlinskih delih sirka so bile precej različne, vendar s splošnim trendom od višje do nižje vsebnosti Pb v koreninah > listju > poganjku > zrnju (Oh in sod. 2015).

Tudi v naših meritvah se je pokazalo, da je bilo zaporedje povprečnih vrednosti pri krmnem sirku za Pb v Šentjurju in Bukovžlaku v letu 2017 korenine > steblo > semena ter v Bukovžlaku v letu 2018 korenine > semena > steblo. Prav tako je za miskantus značilno zaporedje povprečnih vrednosti Pb korenine > steblo, kar potrjuje zgornje analize, da se večina Pb akumulira v koreninah in le majhen del prenese v nadzemne dele. To dokazuje tudi translokacijski faktor za Pb, ki je bil na vseh obravnavanih območjih za krmni sirek in miskantus

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

$< 1$ , razen pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2018 ( $TF(Pb)_{\text{semena/steblo}} = 1,98$ ). Vrednosti 1 se je približal tudi  $TF(Pb)_{\text{semena/steblo}}$  pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017 (0,97), kar prikazuje translokacijo Pb predvsem iz stebela do semen. Prav tako BAF(Pb) v našem primeru dokazuje, da se Pb v tleh dobro veže in omejeno prehaja v rastline, saj je BAF(Pb) na različno onesnaženih tleh vedno  $< 1$ .

Primerjava vsebnosti Pb v nadzemnem delu krmnega sirka kot potencialnega za prehrano živali z zakonodajo o krmi za živali (Direktiva 2002/32/ES) je pokazala, da največjo vsebnost v mg/kg (ppm) Pb ni presegal, zaradi česar je krmni serek glede na vsebnost Pb primeren kot prehrana za živali.

### **Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije Zn v krmnem sirku in miskantusu**

Pogrzeba (2013) navaja sposobnost miskantusa v privzemanju velike količine cinka iz onesnaženih območij in opazi velike koncentracije cinka v nadzemnih delih miskantusa, zato ga uvršča v skupino akumulatorjev (Prelac in sod. 2016). Na območju Bukovžlaka v letu 2018 je zaporedje povprečnih vrednosti korenine  $>$  steblo, kar pomeni da je miskantus sicer v povprečju privzemal manj Zn v stebela kot v korenine, vendar le za 1,3 x manj. Pri krmnem sirku je na malo onesnaženem območju značilno premeščanje Zn in zaporedje steblo  $>$  korenine  $>$  semena, medtem ko je na močno onesnaženem območju značilno zaporedje Zn korenine  $>$  steblo  $>$  semena, pri čemer rastlina Zn v semena izključuje.

$TF(Zn)$  in  $BAF(Zn)$  je bil  $> 1$  samo na območju Šentjurja, kjer se je največ Zn akumuliralo v steblo krmnega sirka in v nadzemni del, skupaj 1,4 x več kot smo Zn izmerili v tleh.

### **Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije Ni v krmnem sirku in miskantusu**

Vsebnost Ni v tleh je presegala mejno vrednost le na območju Šentjurja, zaradi česar je bila tudi najvišja vsebnost Ni v koreninah v Šentjurju. Oh in sod. (2015) za Ni navajajo podoben trend kot pri Pb, saj ima koncentracija v različnih delih rastlin ponavljajoče se zaporedje korenine  $>$  listje  $>$  poganjki  $>$  zrnje. V naši raziskavi si zaporedje povprečnih vrednosti sledi korenine  $>$  semena  $>$  steblo. Privzem Ni v semena lahko pripisujemo Ni zaradi njegove mobilnosti na onesnaženih območjih. To potrjuje tudi  $TF(Ni)_{\text{semena/steblo}}$  pri krmnem sirku na območju Bukovžlaka v letu 2017, kjer vrednost znaša 8,61.  $TF(Ni)_{\text{semena/steblo}}$  pa je  $> 1$  pri krmnem sirku tudi na območju Šentjurja in na območju Bukovžlaka v letu 2018 (5,05 in 2,52). Fernando in Oliveria (2004) za miskantus navaja, da ima veliko odpornost na Ni v tleh, kar potrjuje tudi naša raziskava. V miskantus se je namreč nakopičilo izredno malo Ni, kar potrjuje tudi  $BAF(Ni)$ , ki je  $< 1$ .

### **Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije As v krmnem sirku in miskantusu**

Vsebnosti As v tleh so bile nizke, razen na območju Medloga, kjer je bila presežena mejna vrednost po uredbi, vendar kljub temu do povečanih vnosov As v rastlino ni prihajalo. Pidlisnyuk (2018) za As navaja, da se le redko kopiči v nadzemne dele rastlin, kar potrjuje tudi naša raziskava. Največ As se je namreč nakopičilo v korenine krmnega sirka na območju Bukovžlaka v letu 2017, zaporedje povprečnih vrednosti pri obeh rastlinah pa je bilo korenine  $>$  steblo  $>$  semena. V semena se je As absorbiralo minimalno oz. je bil le ta pod mejo detekcije ( $< 0,1$ ), kar dokazuje da rastline zaradi obrambnega mehanizma As akumulirajo pretežno v koreninah in le redko preide v nadzemne dele rastline.

$BAF(As)$  je  $< 1$  pri krmnem sirku in miskantusu na različno onesnaženih območjih, kar potrjuje tudi  $TF(As)_{\text{nadzemni del/korenine}}$ , ki je  $< 1$ . Tudi Pidlisnyuk (2018) za As, Fe, Ti in Zr navaja, da so bili  $BAF(As)$  v obeh vegetacijskih sezonah enaki nič.



Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Po direktivi, ki določa največjo vsebnost v mg/kg (ppm) za živalsko krmo As ne presega vrednosti, zato bi bila krma glede na vsebnost As primerna za prehrano živali.

### **Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije Mo v krmnem sirku in miskantusu**

Mo je esencialni mikronutrient, zmerno mobilni (Romih 2013). Vsebnosti Mo so v tleh primerljive in ne presegajo mejne vrednosti po uredbi. Prav tako so primerljive vsebnosti Mo v krmnem sirku na obravnavanih območjih. Največ Mo je bilo v tleh v Medlogu in ga je največ tudi v rastlini. Mohammad (2010) v svoji raziskavi navaja, da na absorpcijo Mo v rastline poleg nizke koncentracije Mo v tleh vpliva tudi pH vrednost in organski materiali. Rezultati analize so pokazali, da je bil Mo najbolj mobilni element v primerjavi z Pb in Zn (Mohammad 2010), kar kažejo tudi naši rezultati. Krmni sirek je sicer v povprečju največ Mo absorbiral v korenine, vendar je bila tudi mobilnost Mo v nadzemne dele krmnega sirka visoka. Vsebnosti Mo v koreninah so bile večje v primerjavi s semeni tako na območju Šentjurja in Bukovžlaka v letu 2018 za krmni sirek in miskantus, razen pri krmnem sirku v Bukovžlaku v letu 2017, kjer je zaporedje povprečnih vrednosti semena > steblo > korenine.

BAF(Mo) je > 1 pri krmnem sirku na vseh onesnaženih območjih, saj je esencialen mikronutrient, kar potrjujejo tudi visoke vrednosti  $TF(Mo)_{\text{nadzemni del/korenine}}$ , ki so vse > 1. Pri miskantusu je BAF(Mo) < 1 in tudi  $TF(Mo)$  je < 1, zaradi česar lahko krmni sirek za Mo razvrstimo kot boljšo absorpcijsko rastlino kot miskantus. Mohammad (2010) prav za sirek navaja, da je bil koeficient prenosa v rastlino najvišji za Mo (1,28) in Pb (1,02), kar dokazuje visoko absorpcijsko moč sirka za ta dva elementa. Mobilnost Mo in Pb je bila v sirku visoka, zato je potrebno s pravilnim ravnanjem zmanjšati absorpcijo teh elementov v rastlinah, da se prepreči toksičnost za živalsko krmo in posledično zastrupitev (Mohammad 2010).

### **Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije TI v krmnem sirku in miskantusu**

Trenutno ni določenih regulativnih mejnih vrednosti za TI v živalski krmi. US Environment Protection Agency (EPA) – Okoljska Agencija za zaščito v ZDA je določila ciljno vrednost kontaminiranega talija v pitni vodi, ki znaša 0.0005 mg/L in najvišjo še dovoljeno vrednost 0.002 mg/L. Testirani vzorci, ki so vsebovali več kot 1 mg/kg TI, so predstavljali minerale v tleh, ki so bili povezani z minerali na osnovi kalija v granitnih tleh in glinah (Dai in sod. 2016).

Največ TI je bilo privzetega v korenine krmnega sirka na območju Bukovžlaka v letu 2017 (0,34 mg/kg), kjer je bila presežena priporočena vsebnost po Mailander R.A., Hammann M. (2005) TI v tleh (0,7 mg/kg).  $TF(TI)$  in BAF(TI) sta pri krmnem sirku in miskantusu ne glede na onesnaženost tal majhna ali enaka 0, zato lahko krmni sirek in miskantus za TI uvrstimo med izključevalce, saj se kaže na splošno slabo privzemanje v obe rastlini ne glede na onesnaženost tal.

### **Distribucija ter ocena translokacije in bioakumulacije Ti v krmnem sirku in miskantusu**

Medtem ko Kabata-Pendias (2001) navaja majhno dostopnost Ti v rastline, naši rezultati na območju Šentjurja za krmni sirek kažejo  $TF(Ti)_{\text{steblo/korenine}}$ ,  $TF(Ti)_{\text{nadzemni del/korenine}}$  in BAF > 1, kar kaže na akumuliranje Ti v nadzemne dele krmnega sirka. Najvišji privzem Ti je bil sicer v koreninah miskantusa na območju Bukovžlaka, vendar pa BAF za miskantus, ki je v letu 2017 in 2018 > 1, kaže na dobro akumuliranje Ti iz tal v nadzemne dele rastline.

Če primerjamo podatke, ki smo jih pridobili tekom naše raziskave, s podatki iz spodnje preglednice (Preglednica 25), ugotovimo, da krmni sirek privzema Cd na območju Bukovžlaka kot akumulator (vsebnosti so od 24,94 do 28,06 mg/kg), medtem ko na območju Šentjurja privzema Cd v normalnem območju (2,70 mg/kg). Miskantus privzema Cd na vseh onesnaženih območjih v normalnem območju. Krmni sirek in miskantus privzemata Pb, Zn, Ni in Mo na vseh onesnaženih območjih v normalnem območju. Krmni sirek privzema Ti na območju Šentjurja nad normalnim območjem (107,83 mg/kg) in na območju Bukovžlaka v normalnem območju, medtem ko miskantus Ti privzema na območju Medloga v normalnem območju in na območju Bukovžlaka nad normalnim območjem (od 72,33 do 118,33 mg/kg).

**Preglednica 25:** Mejne vrednosti privzema kovin v mg/kg suhe snovi v nadzemne dele rastlin v normalnem območju, območju akumulatorjev in hiperakumulatorjev (vir: Baker in Brooks (1989), Boyd (2007), Adriano (2001), Kabata-Pendias (2001), Lyu s sod. (2017) in Leblanc s sod. (1999) v Bobik K. (2018))

	<b>NORMALNO OBMOČJE</b>	<b>AKUMULATOR</b>	<b>HIPERAKUMULATOR</b>
Cd	0,1–3	20	100
Pb	0,1–5	100	1.000
Zn	20–400	2.000	10.000
Ni	1–10	100	1.000
Mo	0,8–5		
As			1.000
Ti	0,15–80	460–580	
TI			500

Glede na naše rezultate BAF pada pri krmnem sirku na območju Šentjurja v zaporedju Mo > Cd > Ti > Zn > Ni > As > Pb > TI in na območju Bukovžlaka v zaporedju Cd > Mo > Ti > Zn > Ni > TI > As > Pb. Rezultati kažejo večjo mobilnost Cd, Mo, Ti in Zn ter slabšo mobilnost Ni, As, Pb in TI. Pri miskantusu pada BAF na območju Medloga v zaporedju Ti > Mo > Cd > Zn > Ni > As > Pb > TI in na območju Bukovžlaka v zaporedju Ti > Mo > Cd > Zn > Ni > As > Pb > TI. Rezultati kažejo večjo mobilnost Ti, Mo in Cd in slabšo mobilnost Zn, Ni, As, Pb in TI.

Glede na dobljene rezultate faktorjev TF in BAF lahko rečemo, da je krmni sirek primeren za odstranjevanje Cd, Mo in Ti na območju Šentjurja in Bukovžlaka in Zn na območju Šentjurja. V Bukovžlaku je miskantus primeren za fitoremediacijo Ti in dobro privzema tudi Mo, na območju Medloga bi miskantus najbolje privzemal Ti in Mo.

## 7 SKLEP

Na podlagi dobljenih rezultatov naše raziskave v nadaljevanju podajamo naslednje sklepe, s katerimi smo v uvodu magistrskega dela postavljene hipoteze potrdili ali ovrgli.

- 1 Hipotezo lahko potrdimo, saj so vsebnosti kovin v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa odvisne od vsebnosti kovin v tleh in pH vrednosti. Večja kot je vsebnost Cd, Pb, Zn, Mo in TI, večja je vsebnost Cd, Pb, Zn, Mo in TI v rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa. Manjši kot je pH, večji je privzem Cd, Pb, Zn, As in TI v rastlinske dele krmnega sirka in večji je privzem Cd, Pb, Zn in As v rastlinske dele miskantusa. Večji kot je pH, večji je privzem Mo v rastlinske dele miskantusa.
- 2 Krmni sirek in miskantus največ kovin in As privzemata v podzemne dele rastlin (korenine in rizome), zato lahko hipotezo potrdimo. Pri Zn in Ti na območju Šentjurja prihaja do privzema v nadzemne dele krmnega sirka (steblo). Pri Mo na območju Šentjurja in Bukovžlaka prihaja do privzema v nadzemne dele krmnega sirka (steblo in semena).
- 3 Glede na Direktivo 2002/32/ES evropskega parlamenta in sveta smo primerjali vsebnost As, Cd in Pb v nadzemnem delu krmnega sirka (steblo, semena). Rezultati kažejo, da je vsebnost As in Pb v nadzemnem delu v krmnem sirku na vseh onesnaženih območjih pod mejno vrednostjo, ki jo predpisuje Direktiva 2002/32/ES. Vsebnost Cd je povišana na vseh obravnavanih območjih, tako na malo onesnaženih tleh v Šentjurju, kot na močno onesnaženem območju v Bukovžlaku v obeh letih, kjer je vsebnost Cd največjo dovoljeno vsebnost močno presegla, zato krmni sirek kot živilska krma ni primerna za prehrano živali in je hipoteza s tem ovržena.
- 4 Življenjska cikla krmnega sirka in miskantusa se z vidika obremenjevanja okolja v obdobju 1 leta ne razlikujeta bistveno, saj je postopek pridelave podoben. Do razlik prihaja v obdobju 10 let, kjer je opaziti večji vpliv krmnega sirka na okolje kot miskantusa. Čeprav so okoljski kazalniki majhni in je pridelava krmnega sirka in miskantusa okoljsko sprejemljiva, je hipoteza zaradi velikih razlik okoljskih kazalnikov v obdobju 10 let ovržena.

## 8 POVZETEK

Kovine so v tleh naravno prisotne v manjših koncentracijah in so za rast in razvoj rastlin izrednega pomena, vendar lahko zaradi različnih vzrokov pride do prekomernega onesnaženja tal s kovinami, kar lahko predstavlja nevarnost za zdravje ljudi in živali. Potrebno je primerno ukrepati in s sanacijskimi ukrepi iz onesnaženih tal odstraniti potencialno toksične kovine ter s tem zmanjšati negativne vplive onesnaženja na zdravje ljudi in živali. Eden izmed sanacijskih ukrepov je fitoremediacija, s pomočjo katere potencialno toksične kovine iz onesnaženih tal odstranimo s pomočjo rastlin, ki so za to primerne in ki jih lahko po žetvi uporabimo za druge namene.

V magistrskem delu smo ugotavljali privzem težkih kovin v rastlinske dele (korenine, stebela, semena) krmnega sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusa (*Miscanthus x giganteus*) na treh lokacijah na območju Celjske kotline (Šentjur, Medlog in Bukovžlak) in primerjali življenjski cikel rastlin z vidika obremenjevanja okolja. Uporabili smo opisno, eksperimentalno, statistično in LCA metodo. Obdelava podatkov je zajemala kovine kadmij (Cd), svinec (Pb), cink (Zn), nikelj (Ni), molibden (Mo), talij (Tl) in titan (Ti) in polkovino arzen (As).

Glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1) smo vzorčna mesta razdelili na malo onesnažena (Šentjur), močno onesnažena (Medlog) in kritično onesnažena (Bukovžlak). V Šentjurju je bila prekoračena mejna vrednost za Cd in Ni. V Medlogu je bila presežena mejna vrednost za As in opozorilna vrednost za Cd, Pb in Zn. V Bukovžlaku sta bili preseženi opozorilni vrednosti za Cd in Pb ter kritična vrednost za Zn. Glede na priporočila po Mailander R.A. in Hammann M. (2005) je bila presežena vrednost Tl na območju Bukovžlaka. Glede na priporočila po H. J. M. Bowen (1966) na nobenem izmed obravnavanih območij tla niso bila obremenjena s Ti. Vsebnosti kovin v rastlinah so odvisne od vsebnosti kovin v tleh in pH vrednosti tal. pH vrednosti tal so bile med 6,96 in 7,28. Krmni sirek je Cd, Pb, As in Tl bolje privzemal v korenine kot v stebela in semena v Šentjurju in Bukovžlaku. Krmni sirek je bolje privzemal Zn v Šentjurju v stebela kot v korenine in semena in v Bukovžlaku bolje v korenine kot v stebela in semena. Krmni sirek je bolje privzemal Ni v korenine kot v stebela in semena v Šentjurju in Bukovžlaku, vendar bolje v semena kot v stebela. Krmni sirek je bolje privzemal Mo v Šentjurju v korenine kot v stebela in semena in v Bukovžlaku bolje v semena in stebela kot v korenine. Krmni sirek je bolje privzemal Ti v Šentjurju v stebela kot v korenine in semena in v Bukovžlaku bolje v korenine kot v stebela in semena. Miskantus je bolje privzemal kovine in polkovino As v korenine kot v stebela v Medlogu in Bukovžlaku. Translokacijski faktor (TF) in bioakumulacijski faktor (BF) za krmni sirek in miskantus sta pokazala, da je krmni sirek primeren za odstranjevanje Cd, Mo in Ti na območju Šentjurja in Bukovžlaka in Zn na območju Šentjurja. V Bukovžlaku je miskantus primeren za fitoremediacijo Ti in dobro privzema tudi Mo, na območju Medloga bi miskantus najbolje privzemal Ti in Mo.

Glede na dobljene rezultate LCA metode bi lahko rekli, da je vpliv pridelave krmnega sirka in miskantusa na okolje majhen. Zaznali smo ga na področju podnebnih sprememb, zdravja ljudi in ekosistemov. Končne ugotovitve so, da bi z vidika dolgoročne pridelave (obdobje 10 let) na okolje manj vplivala pridelava miskantusa, vendar je tudi pridelava krmnega sirka okoljsko sprejemljiva, saj so okoljski kazalniki majhni.

## 9 SUMMARY

Metals are naturally present in the soil in small concentrations and are extremely important for plant growth and development, but for various reasons, excessive soil contamination with metals can occur, which can pose a danger to human and animal health. Appropriate action is needed to remove potentially toxic metals from contaminated soils through remediation measures, thus reducing the negative effects of pollution on human and animal health. One of the remedial measures is phytoremediation, which removes potentially toxic metals from contaminated soils with the help of plants that are suitable for this and can be later used for other purposes.

In the master's thesis, we determined the uptake of heavy metals into plant parts (roots/rhizomes, stems, seeds) of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) at three locations in the Celje valley (Šentjur, Medlog and Bukovžlak) and compared the life cycle of plants in terms of environmental impact. We used descriptive, experimental, statistical and LCA method. Data processing included metals cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), nickel (Ni), molybdenum (Mo), thallium (Tl) and titanium (Ti) and semi-metal arsenic (As).

According to the Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1), the sample sites were divided into slightly polluted (Šentjur), heavily polluted (Medlog) and critically contaminated (Bukovžlak). In Šentjur, the limit value for Cd and Ni was exceeded. In Medlog, the limit value for As and the warning values for Cd, Pb and Zn were exceeded. In Bukovžlak, the warning values for Cd and Pb and the critical value for Zn were exceeded. According to recommendations by Mailander R.A. and Hammann M. (2005) the TI value was exceeded in the Bukovžlak area. According to the recommendations of H. J. M. Bowen (1966) in none of the considered areas the soil was not loaded with Ti. The metal contents of plants depend on the metal content of the soil and the pH value of the soil. Soil pH values were between 6.96 and 7.28. Fodder sorghum absorbed Cd, Pb, As and Tl better in the roots than in the stems and seeds in Šentjur and Bukovžlak. Fodder sorghum absorbed Zn better in stems than in roots and seeds in Šentjur and better in roots than in stems and seeds in Bukovžlak. Fodder sorghum absorbed Ni better in the roots than in the stems and seeds in Šentjur and Bukovžlak, but better in the seeds than in the stems. Forage sorghum absorbed Mo better in roots in Šentjur than in stems and seeds, and in Bukovžlak better in seeds and stems than in roots. In Šentjur, fodder sorghum absorbed Ti better in stems than in roots and seeds, and in Bukovžlak better in roots than in stems and seeds. Miscanthus absorbed the metals and the semi-metal As better in the roots than in the stems in Medlog and Bukovžlak. Translocation factor (TF) and bioaccumulation factor (BF) for fodder sorghum and miscanthus showed that fodder sorghum is suitable for the removal of Cd, Mo and Ti in the area of Šentjur and Bukovžlak and Zn in the area of Šentjur. In Bukovžlak, miscanthus is suitable for phytoremediation of Ti and also absorbs Mo well, in the area of Medlog, miscanthus would best absorb Ti and Mo.

Based on the obtained results of the LCA method, it could be said that the impact of fodder sorghum and miscanthus production on the environment is small. We have detected it in the areas of climate change, human health and ecosystems. The final findings are that from the point of view of long-term production (10-year period) the production of miscanthus would have less impact on the environment, but the production of fodder sorghum is also environmentally acceptable, as environmental indicators are low.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

## 10 SEZNAM UPORABLJENIH VIROV

Abdul H., B., Bivin V., T. (2009). *Translocation and Bioaccumulation of Trace Metals in Desert Plants of Kuwait Governorates*. Research Journal of Environmental Sciences 3 (5), 581-587.

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

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

Bre. Environmental Impacts. Pridobljeno s spletne strani: <https://www.bregroup.com/greenguide/page.jsp?id=2093> dne 23.2.2021.

Brosse, N., Dufour, A., Meng, X., Sun, Q., Ragauskas, A. (2012). *Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production*. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons.

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

Dai, S. Y., Jones, B., Lee, K., Li, W., Post, L., Herrman, T. J. (2016). *Heavy Metal Contamination of Animal Feed in Texas*. Journal of Regulatory Science 01, 21-32.

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

Direktiva 2002/32/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 7. maja 2002 o nezaželenih snoveh v živalski krmi.

Duffus, J. H. (2002). »Heavy metals« - a meaningless term? (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, 74, 793-807.

EUROSTAT. Pridobljeno s spletne strani: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home> dne 19.8.2019.

FAOSTAT. Pridobljeno s spletne strani: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> dne 22.4.2019.

Fernando, A., Oliveira, J. S. (2004). 2nd World Conference on biomass for energy, Industrial and Climate Protection. Effects on growth, productivity and biomass quality of *Miscanthus x giganteus* of soils contaminated with heavy metals, Rim, str. 387–390.

Geopedia. Pridobljeno s spletne strani: [https://www.geopedia.world/#T12\\_x0\\_y0\\_s2\\_b2345](https://www.geopedia.world/#T12_x0_y0_s2_b2345) dne 5.10.2021.

- Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.
- Golčman, T. (2016). *Uporaba miskantusa (Miscanthus x giganteus) za remediacijo degradiranih tal in proizvodnjo energije v Mestni občini Celje*. Diplomsko delo. Visoka šola za varstvo okolja.
- Gosar, M., Šajn, R. (2005). Arsenic in the environment: enrichments in the Slovenian soils. *Geološki zavod*, let. 48, št. 2.
- ISO 14044:2006. (2006). Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
- Jamšek, M., Šarc, L. (2009). Diagnostika in zdravljenje zastrupitev s kovinami. *Medicinski razgledi*, let. 48, št. 1/2.
- Kabata-Pendias, A. (2011). Trace elements in soils and plants. 4 rd edition. Florida: Boca Raton. CRC Press LLC.
- Kabata-Pendias, A. in Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. 3 rd edition. Florida: Boca Raton. CRC Press LLC.
- Karbowska, B. (2016). *Presence of thallium in the environment: sources of contaminations, distribution and monitoring methods*. *Environ Monit Assess*, 188(11):640.
- Kocjan Ačko, D. (2015). *Poljščine: pridelava in uporaba*. Ljubljana, ČZD Kmečki glas.
- Koprivnik, B. (2016). *Analiza življenjskega cikla LED ulične svetilke*. Diplomsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.
- Košak, U., Obreza, A. (2012). Nikelj kot pomemben element v sledovih?. *Farmaceutski vestnik*, letnik 63, številka 5/6, str. 297-304.
- Kugonič N., 2009. 'Privzem kovin pri izbranih rastlinskih vrstah na območjih obremenjenih z energetsko in topilniško dejavnostjo', dr. disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Likar, M. (1998). *Vodnik po onesnaževalcih okolja*. Ljubljana, Zbornica sanitarnih tehnikov in inženirjev Slovenije.
- Likon, M. (ni letnice). *Analiza življenjskega cikla: Life Cycle Assessment – LCA*.
- Lipušček, I. (2008). *Ocenjevanje življenjskih ciklov izdelkov z vidika obremenjevanja okolja: Metoda LCA*. Založba Univerze v Novi Gorici.
- Lobnik, F., Zupan, M., Grčman, H. (2010). Onesnaženost tal in rastlin v Celjski kotlini: Soil and plant pollution in Celje region. V: *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavniki razvoja v Sloveniji: modelni pristop za degradirana območja*. Celje, Inštitut za okolje in prostor.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Mahmood-ul-Hassan, M., Suthar, V., Ahmad, R., Yousra, M. (2017). *Heavy metal phytoextraction – natural and EDTA-assisted remediation of contaminated calcareous soils by sorghum and oat*. Environ Monit Assess, 189:591.

Menardo, S., Bauer, A., Theuretzbacher, F., Piringer, G., Jahre Nilsen, P., Balsari, P., Pavliska, O., Amon, T. (2012). *Biogas Production from Steam-Exploded Miscanthus and Utilization of Biogas Energy and CO<sub>2</sub> in Greenhouses*. Springer Science in Business Media New York, 6, 620-630.

Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) 2018. Meteo.si: Uradna vremenska napoved za Slovenijo. Pridobljeno s spletne strani: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWbIR3LwVnaz9SYtVmYh9icIFGbt9SaulGduqXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZuWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf>; dne 7. 3. 2019.

Miskantus, d.o.o. Miskantus – obnovljivi viri energije. Pridobljeno s spletne strani: <http://www.miskantus.si/ms/files/MISKANTUS.pdf> dne 6.8.2019.

Mohammad, G., Abbas, J., Mahmmod, R., Sayed Roholla, M., Hadi, G. (2010). *Effects of Treated Municipal Wastewater on Soil Chemical Properties and Heavy Metal Uptake by Sorghum (Sorghum Bicolor L.)*. Journal of Agricultural Scienc, 2, 3.

Novalis: KWS krmni in silažni sirki. Pridobljeno s spletne strani: [http://novalis.si/wp-content/uploads/2017/02/NOVALIS\\_KATALOG\\_SIREK\\_-2017.pdf](http://novalis.si/wp-content/uploads/2017/02/NOVALIS_KATALOG_SIREK_-2017.pdf) dne 8. 2. 2019.

NutritionValue. Corn grain, yellow. Pridobljeno s spletne strani: [https://www.nutritionvalue.org/Corn\\_grain%2C\\_yellow\\_nutritional\\_value.html](https://www.nutritionvalue.org/Corn_grain%2C_yellow_nutritional_value.html) dne 8. 2. 2019.

NutritionValue. Sorghum grain. Pridobljeno s spletne strani: [https://www.nutritionvalue.org/Sorghum\\_grain\\_nutritional\\_value.html](https://www.nutritionvalue.org/Sorghum_grain_nutritional_value.html) dne 8. 2. 2019.

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

Oh, K., Cao, T.H., Cheng, H.Y., Liang, X.H., Hu, X.F., Yan, L.J., Yonemochi, S. and Takahi, S. (2015). *Phytoremediation Potential of Sorghum as a Biofuel Crop and the Enhancement Effects with Microbe Inoculation in Heavy Metal Contaminated Soil*. Journal of Biosciences and Medicines, 3, 9-14.

Pavšič-Mikuž, P. (2005). Kovine in mikroelementi v mahovih in epifitskih lišajih na območju Slovenije: magistrsko delo = Metals and microelements in mosses and epiphytic lichens in Slovenia: master of science thesis. Ljubljana, 11 str.

Perić, M., Komatina, M., Antonijević, D., Bugarski, B., Dželetović, Ž. *Life Cycle Impact Assessment of Miscanthus Crop for Sustainable Household Heating in Serbia*. Forests 2018, 9, 654.



Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Pidlisnyuk, V. V., Erickson, L. E., Trögl, J., Shapoval, P. Y., Popelka, J., Davis, L. C., Stefanovska, T. R., Hettiarachchi, G. M. (2018). *Metals uptake behaviour in Miscanthus x giganteus plant during growth at the contaminated soil from the military site in Sliach, Slovakia*. Polish Journal of Chemical Technology, 20, 2, 1—7.

Pogrzeba, M., Krzyzak, J., Sas, N. A. (2013). Environmental hazards related to *Miscanthus x giganteus* cultivation on heavy metal contaminated soil. Katowice: Institute for Ecology of Industrial Areas, Częstochowa: Częstochowa University of Technology. E3S Web of Conferences, (1), str. 29006.

Prelac, M., Bilandžija, N., Zgorelec, Ž. (2016). *The phytoremediation potential of heavy metals from soil using Poaceae energy crops: A review. Potencijal fitoremedijacije težkih metala iz tla pomoću Poaceae kultura za proizvodnju energije: Pregledni rad*. Journal of Central European Agriculture, 17(3), p.901-916.

Rauch. Axis M 20, 2 EMC (+W). Pridobljeno s spletne strani: <https://rauch.de/duengerstreuer/axis-m-20-2-emc-w.html> dne 11.2.2021.

Ribarič Lasnik, C., Grabner, B., Jejčič, V., Poje, T., Godeša, T., Zupan, M., Grčman, H., Mihelič, R., Prus, T., Lakota, M. (2014). *Modeli rastlinske pridelave na območjih degradiranega okolja – končno poročilo*. Celje, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje.

Ribarič Lasnik, C., Grabner, B., Romih, N. (2010). *Remediacija onesnaženih tal s težkimi kovinami*. Inštitut za okolje in prostor, Celje.

SI-STAT. Pridobljeno s spletne strani: <https://pxweb.stat.si/SiStat> dne 22.4.2019.

Sloga. Kmetijsko gozdarska zadruga z.o.o. Pridobljeno s spletne strani: <http://www.sloga.si/si/> dne 2.2.2021.

Tehnos. Avtomatski sadilec krompirja. Pridobljeno s spletne strani: <http://www.tehnos.si/avtomatski-sadilec-krompirja> dne 11.2.2021

UREDBA KOMISIJE (EU) št. 574/2011 z dne 16. junija 2011 o spremembi Priloge I k Direktivi 2002/32/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede mejnih vrednosti za nitrit, melamin, Ambrosio spp. Ter prenosa nekaterih kokcidiostatikov ali sredstev proti histomonijazi in o konsolidaciji prilog I in II k Direktivi.

Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh, *Ur. l. RS*, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1.

Vaderstad. Rexius 650 – 1230. Pridobljeno s spletne strani: <https://www.vaderstad.com/uk/tillage/rollers/rexius/> dne 12.2.2021.

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Vencelj, A., Verbič, J. 2008: Kako pridelujemo krmni sirek?. Pridobljeno s spletne strani: <https://www.agrostaat.si/kako-pridelujemo-krmni-sirek/> dne 8. 2. 2019.

Vovk Korže, A., Janškovec, K. (2009). Čiščenje prsti s pomočjo rastlin. *Geografski obzornik: časopis za geografsko vzgojo in izobraževanje*. Ljubljana, 56, št. 1/2, str. [14]-21.

Vrščaj, B. (2018). Onesnaženje tal – zavedanja in tveganja, poti in stranpoti. V: *Zaključna konferenca projekta LIFE ReSoil – Demonstracija inovativne tehnologije pranja s toksičnimi kovinami onesnaženih vrtnih tal*. Ljubljana, Envit d.o.o., str. 12-13.

Wiloso E.I., Setiawan A.A.R., Prasetia H., Muryanto, Wiloso A.R., Subyakto, Suidiana I.M., Lestari R., Nugroho S., Hermawan D., Fang K., Heijungs R. *Production of sorghum pellets for electricity generation in Indonesia: A life cycle assessment*. *Biofuel Research Journal* 27 (2020) 1178- 1194. DOI: 10.18331/BRJ2020.7.3.2.

Zakon o kmetijskih zemljiščih (ZKZ), *Ur. l. RS*, št. 71/11 – uradno prečiščeno besedilo, 58/12, 27/16, 27/17 – Zkme-1D in 79/17).

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1), *Ur. l. RS*, št. 39/06 - uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09– ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16, 61/17 – GZ, 21/18 – ZNOrg in 84/18 – ZIURKOE.

Zidanšek, M., Sajovic, A., Stopinšek, B., Svetičič, J., Širca, M. (2015). Občinski program varstva okolja Mestne občine Celje 2016-2020.

Zidanšek, M., Sajovic, A., Stopinšek, B., Svetičič, J., Širca, M. (2014). Poročilo o stanju okolja Mestne občine Celje 2014.

Zupan, M., Grčman, H. (2018). Onesnaženost tal v Sloveniji in prenos kovin v rastline. V: *Zaključna konferenca projekta LIFE ReSoil – Demonstracija inovativne tehnologije pranja s toksičnimi kovinami onesnaženih vrtnih tal*. Ljubljana, Envit d.o.o., str. 16.

Zupan, M., Grčman, H., Lobnik, F. (2008). Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Agencija RS za okolje, 10 str. in 28 str.

Zupan, M., Karo Bešter, P., Klavs, V., Lobnik, F., Grčman, H. (2010). Kakovost vrtnin pridelanih na območju Mestne občine Celje: Quality of vegetables produced in the Municipality of Celje. V: *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji: modelni pristop za degradirana območja*. Celje, Inštitut za okolje in prostor.

Žgajnar, J. (1990). *Prehrana in krmljenje goved*. Ljubljana, ČPZ Kmečki glas, 382-424.

Žibret, G. (2010). Urbani prahovi, pomen za zdravje in predlagani ukrepi za izboljšanje stanja v Celju: Urban dusts, health concerns and proposed actions to improve conditions in Celje. V: *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji: modelni pristop za degradirana območja*. Celje, Inštitut za okolje in prostor.

## 11 PRILOGE

### PRILOGA 1: Distribucija kovin in As v rastlinskih delih

Povprečne vsebnosti Cd v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Cd (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	SKUPAJ n=2-3
<b>ŠENTJUR</b> 2018	1,3	3,50±1,03	2,65±0,13	0,05±0,01	2,70±1,54	6,20±0,85
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	10,9	34,85±10,95	24,89±6,81	3,17±3,03	28,06±8,29	62,91±19,23
2018		53,28±13,00	22,81±4,26	2,13±1,23	24,94±3,66	78,22±14,30
MISKANTUS						
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b> 2017	2,1		0,21±0,00			0,21±0,00
2018		0,36±0,08				0,36±0,08
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	10,9		4,58±0,46			4,58±0,46
2018		3,48±1,16	2,32±0,60			5,80±1,06

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

Povprečne vsebnosti Pb v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Pb (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	SKUPAJ n=2-3
<b>ŠENTJUR</b> 2018	28,3	5,08±1,36	0,40±0,12	0,16±0,06	0,56±0,19	5,63±1,49
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	153,4	35,16±13,32	0,23±0,03	0,22±0,16	0,45±0,18	35,61±13,49
2018		11,33±5,00	0,44±0,48	0,87±1,26	1,31±1,09	12,64±5,45
MISKANTUS						
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b> 2017	163,4		0,51±0,00			0,51±0,00
2018		3,76±2,05				3,76±2,05
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	153,4		1,24±0,57			1,24±0,57
2018		15,77±6,63	0,58±0,39			16,35±6,37

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

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Povprečne vsebnosti Zn v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Zn (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	SKUPAJ n=2-3
<b>ŠENTJUR</b>	135,0					
2018		119,97±22,43	163,60±17,54	24,73±2,01	188,33±94,03	308,30±71,62
<b>BUKOVŽLAK</b>	1143,0					
2017		484,70±120,67	244,77±139,79	56,30±14,70	301,07±152,47	785,77±271,30
2018		562,93±177,67	292,40±36,41	48,30±21,84	340,70±32,60	903,63±166,32
	MISKANTUS					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b>	397,0					
2017			23,50±0,00			23,50±0,00
2018		29,23±6,85				29,23±6,85
<b>BUKOVŽLAK</b>	1143,0					
2017			218,67±82,83			218,67±82,83
2018		144,53±26,04	109,67±31,27			254,20±44,18

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

Povprečne vsebnosti Ni v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Ni (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	SKUPAJ n=2-3
<b>ŠENTJUR</b>	54,0					
2018		10,50±2,10	1,05±0,07	5,30±6,93	6,35±0,07	16,85±2,86
<b>BUKOVŽLAK</b>	23,1					
2017		7,07±1,45	0,60±0,17	5,17±6,41	5,77±1,72	12,83±3,11
2018		4,57±2,46	0,90±0,10	2,27±1,89	3,17±1,99	7,73±3,35
	MISKANTUS					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b>	32,0					
2017			1,50±0,00			1,50±0,00
2018		2,87±0,96				2,87±0,96
<b>BUKOVŽLAK</b>	23,1					
2017			2,57±0,67			2,57±0,67
2018		4,80±36,50	2,23±0,85			7,03±3,06

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

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Povprečne vsebnosti As v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

As (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	SKUPAJ n=2-3
<b>ŠENTJUR</b>	8,6					
2018		1,80±0,44	0,20±0,14	0,10±0,05	0,30±0,17	2,10±0,61
<b>BUKOVŽLAK</b>	12,7					
2017		2,90±1,25	0,10±0,05	0,00±0,00	0,10±0,06	3,00±1,21
2018		1,53±0,91	1,05±0,92	0,35±0,35	1,40±1,21	2,93±2,02
MISKANTUS						
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b>	22,8					
2017			1,00±0,00			1,00±0,00
2018		1,03±0,42				1,03±0,08
<b>BUKOVŽLAK</b>	12,7					
2017			0,20±0,11			0,20±0,46
2018		2,47±0,78	0,45±0,21			2,92±0,76

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

Povprečne vsebnosti Mo v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Mo (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	SKUPAJ n=2-3
<b>ŠENTJUR</b>	0,6					
2018		0,93±0,45	0,92±0,28	0,68±0,64	1,60±0,23	2,53±0,59
<b>BUKOVŽLAK</b>	0,6					
2017		0,54±0,10	0,72±0,05	1,11±0,97	1,83±0,98	2,37±0,92
2018		0,57±0,18	0,63±0,04	0,39±0,16	1,02±0,17	1,59±0,25
MISKANTUS						
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b>	1,5					
2017			0,38±0,00			0,38±0,00
2018		2,49±0,27				2,49±0,08
<b>BUKOVŽLAK</b>	0,6					
2017			0,54±0,14			0,54±0,46
2018		2,01±0,46	0,46±0,09			2,47±0,41

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

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Povprečne vsebnosti TI v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

TI (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					SKUPAJ n=2-3
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	
<b>ŠENTJUR</b> 2018	0,2	0,03±0,01	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,03±0,01
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	0,7	0,34±0,08	0,18±0,07	0,00±0,00	0,18±0,07	0,52±0,15
2018		0,22±0,04	0,07±0,03	0,00±0,00	0,07±0,03	0,29±0,07
MISKANTUS						
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b> 2017	0,4		0,00±0,00			0,00±0,00
2018		0,02±0,01				0,02±0,08
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	0,7		0,00±0,00			0,00±0,46
2018		0,05±0,02	0,00±0,00			0,05±0,02

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

Povprečne vsebnosti Ti v tleh in rastlinskih delih krmnega sirka in miskantusa

Ti (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK					SKUPAJ n=2-3
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=2-3	SEMENA n=3	NADZEMNI DEL n=2-3	
<b>ŠENTJUR</b> 2018	60	48,33±1,15	97,50±10,61	10,33±1,53	107,83±55,29	156,17±56,44
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	40	103,67±8,39	39,33±18,50	11,00±3,46	50,33±18,88	154,00±26,00
2018		33,00±13,75	19,67±0,58	13,00±2,00	32,67±2,52	65,67±14,50
MISKANTUS						
	TLA	KORENINE n=3	STEBLA n=1-3			SKUPAJ n=1-3
<b>MEDLOG</b> 2017	50		31,00±0,00			31,00±0,00
2018		106,00±24,98				106,00±0,08
<b>BUKOVŽLAK</b> 2017	40		118,33±25,40			118,33±0,46
2018		163,00±20,07	72,33±21,08			235,33±23,44

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

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

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

Privzem povprečnih vsebnosti Cd v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Cd (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	korenine > stebila > semena	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
		2018	korenine > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti Pb v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Pb (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	korenine > stebila > semena	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	korenine > semena > stebila	2017	/
		2018	korenine > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti Zn v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Zn (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	stebila > korenine > semena	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	korenine > stebila > semena	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
		2018	korenine > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti Ni v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Ni (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	korenine > semena > stebila	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	korenine > semena > stebila	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	korenine > semena > stebila	2017	/
		2018	korenine > stebila

Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

Privzem povprečnih vsebnosti As v rastlinske dele v padajočem zaporedju

As (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	korenine > stebila > semena	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
		2018	korenine > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti Mo v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Mo (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	semena > stebila > korenine	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	stebila > korenine > semena	2017	/
		2018	korenine > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti Tl v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Tl (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	korenine > stebila - semena	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	korenine > stebila > semena	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
		2018	korenine > stebila

Privzem povprečnih vsebnosti Ti v rastlinske dele v padajočem zaporedju

Ti (mg/kg s.s.)	KRMNI SIREK	MEDLOG	MISKANTUS
<b>ŠENTJUR</b>			
2018	stebila > korenine > semena	2017	/
<b>BUKOVŽLAK</b>		2018	/
2017	korenine > stebila > semena	<b>BUKOVŽLAK</b>	
2018	korenine > stebila > semena	2017	/
		2018	korenine > stebila



Turnšek U.: Vsebnosti kovin v krmnem sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in miskantusu (*Miscanthus x giganteus*). Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2021.

**PRILOGA 3:** Linearna regresija – tla/rastlinski deli

		<b>KORENINE</b>	<b>STEBLA</b>	<b>SEMENA</b>
<b>Cd</b>	linearna regresija	$y=3,087X-3,196$	$y=1,315X-0,731$	$y=0,270X-0,302$
	R <sup>2</sup>	0,430	0,314	0,892
<b>Pb</b>	linearna regresija	$y=0,079X+3,881$	$y=0,001X+0,365$	$y=0,003X+0,072$
	R <sup>2</sup>	0,128	0,049	0,318
<b>Zn</b>	linearna regresija	$y=0,342X-3,012$	$y=0,118X+74,885$	$y=0,027X+21,038$
	R <sup>2</sup>	0,492	0,309	0,940
<b>Ni</b>	linearna regresija	$y=-0,076X+12,558$	$y=-0,016X+1,973$	$y=0,051X+2,538$
	R <sup>2</sup>	0,012	0,071	0,283
<b>As</b>	linearna regresija	$y=-0,077X+3,023$	$y=0,055X-0,262$	$y=0,018X-0,057$
	R <sup>2</sup>	0,302	0,390	0,057
<b>Mo</b>	linearna regresija	$y=1,641X+0,027$	$y=-0,304X+0,836$	$y=0,5X+0,5$
	R <sup>2</sup>	0,551	0,331	3E-16
<b>TI</b>	linearna regresija	$y=0,399X-0,083$	$y=0,142X-0,039$	
	R <sup>2</sup>	0,418	0,177	
<b>Ti</b>	linearna regresija	$y=-2,179X+191,05$	$y=1,054X+15,558$	$y=-0,083X+15,34$
	R <sup>2</sup>	0,141	0,049	0,481