

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V TLEH IZBRANIH HMELJIŠČ
SPODNJE SAVINJSKE DOLINE**

Lucija Božijak

VELENJE, 2024

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V TLEH IZBRANIH HMELJIŠČ
SPODNJE SAVINJSKE DOLINE**

Lucija Božijak

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: izr. prof. dr. Borut Vrščaj

Somentorica: dr. Barbara Čeh, znanstvena svetnica

VELENJE, 2024

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Fakultete za varstvo okolja **Lucija Božijak** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Vsebnost težkih kovin v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

The content of heavy metals in the soil of selected hop plantations n the Lower Savinja Valley

Mentor: **izr. prof. dr. Borut Vrščaj**

Somentorica: **dr. Barbara Čeh**

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

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



Prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Fakulteta za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si

www.fvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **Lucija Božijak** z vpisno številko **34200021** študentka dodiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom **Vsebnost težkih kovin v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline**, ki sem ga izdelala pod mentorstvom **izr. prof. dr. Boruta Vrščaja** in somentorstvom **dr. Barbare Čeh**.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

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

V Velenju, dne _____

 podpis avtorice

ZAHVALE

Hvaležna sem vsem družinskim članom, ki so mi ob pisanju vedno stali ob strani in me spodbujali. Njihova potrpežljivost, pomoč in neskončna podpora, mi je dajala moč in zagon, ko sem to najbolj potrebovala. Hvala, ker ste verjeli vame in me opogumljali na vsakem koraku.

Posebne zahvale so deležni hmeljarji, ki so mi s privolitvijo v odvzem vzorcev tal z njihovih hmeljišč omogočili izvedbo analize tal in s tem pripravo diplomskega dela, ki sem si ga zadala.

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Borutu Vrščaju in somentorici dr. Barbari Čeh za nasvete in vse znanje, ki sta ga podala med izdelavo diplomskega dela. Hvala, viš. pred. dr. Anja Bubik za pomoč pri laboratorijskemu delu priprave vzorcev. Zahvaljujem se tudi asistentki Katji Črnec za vso pomoč in znanje ob pisanju diplomskega dela.

Hvala tudi vsem ostalim, ki ste mi vsa ta leta stali ob strani.

IZVLEČEK

Diplomsko delo predstavlja raziskavo o vsebnosti nekaterih težkih kovin v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline. Cilj diplomskega dela je bil preveriti, ali so tla v hmeljiščih onesnažena s težkimi kovinami ter če so, sklepati o možnih vzrokih.

Izvedli smo vzorčenje tal v desetih hmeljiščih na različnih lokacijah Spodnje Savinjske doline in pripravili vzorce za analizo v laboratoriju (sušenje, mletje in sejanje skozi sito). Kemijska analiza je obsegala 37 različnih težkih kovin.

Z analizo smo ugotovili, da preučevana tla hmeljišč praviloma niso onesnažena s težkimi kovinami, z izjemo dveh: bakra (Cu) in cinka (Zn). Vsebnost teh dveh težkih kovin je bila mestoma in v določenih primerih povišana, kar kaže na njihovo prisotnost kot onesnaževala v analiziranih tleh. Vsebnost kadmija (Cd) v hmeljiščih mestoma prekoračuje mejno imisijsko vrednost glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (v nadaljevanju Uredba).

Vsebnost kadmija v vzorcih presega mejno vrednost, določeno z Uredbo, v 90 % analiziranih hmeljišč, v 10 % analiziranih hmeljišč pa je vrednost pod mejno vrednostjo. Vsebnost Cu v tleh presega opozorilno vrednost v 50 % analiziranih hmeljišč, v 30 % analiziranih hmeljišč je nad mejno vrednostjo in v 20 % ne presega mejne vrednosti. Vsebnost Zn je povišana in presega opozorilno vrednost v 10 % analiziranih hmeljišč, v 10 % analiziranih hmeljišč je nad mejno vrednostjo, v preostalih 80 % analiziranih hmeljiščih pa ne presega mejne vrednosti glede na Uredbo. Tla določenih hmeljišč so onesnažena z Cu in Zn. Vzrok za povišane vrednosti teh ter ostalih težkih kovin bi lahko bil njihovo kopičenje v tleh skozi leta, uporaba fitofarmaceutskih sredstev (FFS) in mineralnih ter organskih gnojil. Prav tako pa ne smemo zanemariti vpliva antropogenega onesnaževanja tal s težkimi kovinami, ki lahko prav tako prispeva k povišanim vsebnostim težkih kovin v tleh. To so različne industrije, kurjenje lignita v preteklosti, vse večja urbanizacija v dolini in neposredna bližina prometnih vpadnic. Skratka, višje vsebnosti težkih kovin v tleh hmeljišč v Spodnji Savinjski dolini so lahko posledica kombinacije industrijskih, kmetijskih, urbanih in drugih antropogenih dejavnosti v preteklosti in tudi v sedanjosti.

Ključne besede: tla, težke kovine, onesnaženost, hmeljišča, baker, kadmij, cink

ABSTRACT

The thesis presents a study on the content of some heavy metals (HM) in the soils of hop plantations in the Lower Savinja Valley. The aim of the thesis was to examine whether the soils in the hop plantations are contaminated with heavy metals and, if so, to estimate the sources of the contamination.

Soil samples were taken from ten hop plantations at different locations in the Lower Savinja Valley and prepared for analysis in the laboratory (drying, grinding and sieving). The chemical analysis included 37 different heavy metals.

The analysis showed that the hop plantation soils analysed were not contaminated with most of the heavy metals, with the exception of two: copper (Co) and zinc (Zn). The levels of these two heavy metals were elevated in some cases, indicating that they are present as contaminants in the analysed soils. The cadmium (Cd) content in the hops exceeds the limit value in places. immission limit value according to the Regulation on limit, warning and critical immission levels for dangerous substances in soil.

The cadmium content in the samples exceeds the limit value specified in the Ordinance on Limit, Warning and Critical Immission Values for Hazardous Substances in Soil in 90 % of the hop plantations analysed; in 10 % of the hop plantations analysed, the value is below the limit value. The copper content in the soil exceeds the alarm value in 50 % of the hop plantations analysed, is above the limit value in 30 % of the hop plantations analysed and is below the limit value in 20 % of the hop plantations analysed. The zinc content is elevated and exceeds the warning value in 10 % of the hop plantations analysed, is above the limit value in 10 % of the hop plantations analysed and is below the limit value according to the regulation in the remaining 80 % of the hop plantations analysed. The increased levels of these and other heavy metals could be due to the accumulation of heavy metal in the soil over the years, the use of plant protection products and mineral or organic fertilisers. The impact of anthropogenic soil contamination with heavy metals, which can also contribute to elevated heavy metals levels in soils, should not be neglected. Various industries in the area of hops yards, the burning of lignite in the past, increasing urbanization and the immediate vicinity of traffic roads. In short, higher levels of heavy metals in hop soils in the Lower Savinja Valley may be the result of a combination of industrial, agricultural, urban and other anthropogenic activities in the past and also in the present.

Keywords: soils, heavy metals, pollution, hopyards, copper, cadmium, zinc

KAZALO

1. Uvod	1
1.1 Opredelitve problema	1
1.2 Namen in cilji diplomskega dela	2
1.3 Hipoteze	2
2 Pregled literature	3
2.1 Pridelava hmelja v Sloveniji	3
2.2 Tla	3
2.2.1 Kmetijska tla	3
2.2.2 Kislost tal	4
2.2.3 Organska snov v kmetijskih tleh	4
2.3 Težke kovine (TK)	5
2.3.1 Vpliv antropogenih dejavnikov na vsebnost težkih kovin v tleh	5
2.3.2 Težke kovine in njihova naravna prisotnost v tleh	6
2.4 Tipi tal v Spodnji Savinjski dolini	8
2.5 Zakonodaja	9
2.5.1 Zakonodaja s področja monitoringa kakovosti tal:	9
3 Materiali in metode dela	11
3.1 Opis raziskovalnega območja	11
3.1.1 Opisi hmeljišč	12
3.2 Vzorčenje tal	17
3.3 Priprava in laboratorijske analize talnih vzorcev	19
3.3.1 Določitev vsebnosti težkih kovin po metodi zlatotopke	19
3.3.2 Analize v Agrokemijskem laboratoriju Kmetijskega inštituta Slovenije	19
4 Rezultati	20
4.1 Celokupna vsebnost TK v vzorcih tal iz 10 hmeljišč in primerjava izmerjenih vsebnosti z mejnimi imisijskimi vrednostmi slovenske zakonodaje	20
4.1.1 Kadmij	20
4.1.2 Baker	22
4.1.3 Nikelj	23
4.1.4 Svinec	24
4.1.5 Cink	25
4.1.6 Krom	26
4.1.7 Živo srebro	27
4.1.8 Kobalt	28
4.1.9 Molibden	29
4.1.10 Arzen	30
4.2 Standardna pedološka analiza	31
4.2.1 Vrednost pH tal	31
4.2.2 Vsebnost rastlinam dostopnega fosforja in kalija v tleh hmeljišč	32
4.2.3 Vsebnost talnega organskega ogljika	33
5 Razprava in povzetek	34
5.1 Interpretacija rezultatov meritev TK v tleh obravnavanih hmeljišč	34
5.1.1 Primerjava rezultatov TK v tleh obravnavanih hmeljišč z raziskavami	34

5.2	Dostopni fosfor, kalij in organski ogljik in kislost tal obravnavanih hmeljišč	41
5.2.1	Kislost tal	41
5.2.2	Dostopni fosfor v tleh analiziranih hmeljišč	42
5.2.3	Dostopni kalij v tleh analiziranih hmeljišč	43
5.3	Preverjanje hipotez	44
6	Zaključki.....	45
7	Viri.....	47
8	Priloge.....	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Osnovna geološka karta Spodnje Savinjske doline.....	8
Slika 2: Pedološka karta Spodnje Savinjske doline.....	8
Slika 3: Označene lokacije vzorčnih mest tal hmeljišč glede na poimenovanje vzorca	11
Slika 4: Označene lokacije vzorčnih mest na karti talnih tipov	12
Slika 5: Hmeljišče 1, Drešinja vas.....	12
Slika 6: Hmeljišče 2, Drešinja vas.....	13
Slika 7: Hmeljišče 3, Šempeter v Savinjski dolini	13
Slika 8: Hmeljišče 4, Šempeter v Savinjski dolini	14
Slika 9: Hmeljišče 5, Poljče	14
Slika 10: Hmeljišče 6, Poljče.....	15
Slika 11: Hmeljišče 7, Sveti Lovrenc.....	15
Slika 12: Hmeljišče 8, Sveti Lovrenc.....	16
Slika 13: Hmeljišče 9, Migojnice	16
Slika 14: Hmeljišče 10, Žalec.....	17
Slika 15: Odvzem vzorcev z lopato.....	18
Slika 16: Prikaz globine talnega profila	18
Slika 17: Vsebnost Cd na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Cd.	21
Slika 18: Vsebnosti Cu na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Cu.....	22
Slika 19: Vsebnosti Ni na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Ni.	23
Slika 20: Vsebnosti Pb na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Pb.	24
Slika 21: Vsebnosti Zn na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Zn.	25
Slika 22: Vsebnost Cr na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Cr.	26
Slika 23: Vsebnost Hg na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Hg.	27
Slika 24: Vsebnost Co na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednost za Co.	28
Slika 25: Vsebnosti Mo na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Mo.....	29
Slika 26: Vsebnosti As na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za As.	30
Slika 27: Razdelitev Slovenije na osem prostorskih enot.....	35
Slika 28: Kislost tal.	42
Slika 29: Oskrbjenost tal z rastlinam dostopnim fosforjem.	43
Slika 30: Oskrbjenost tal z rastlinam dostopnim kalijem.....	44
Slika 31: Pripravljeni vzorci na sušenje v sušilniku	52
Slika 32: Vzorci po sušenju v sušilniku	52
Slika 33: Vzorec v terilnici po sušenju v sušilniku	53

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razredi delitev tal glede na pH	4
Preglednica 2: Mejne vrednosti mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh	10
Preglednica 3: Mejne vrednosti za fosfor in kalij po AL metodi	42

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Vrednost pH tal hmeljišč z razredi kislosti	31
Graf 2: Koncentracija rastlinam dostopnega fosforja z razredi založenosti tal s fosforjem.	32
Graf 3: Koncentracija rastlinam dostopnega kalija z razredi založenosti tal s kalijem.	33
Graf 4: Prikaz vsebnosti talnega organskega ogljika v tleh.	33
Graf 5: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Hg, Tl, Bi, Mo in Cd.....	36
Graf 6: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: U, Au, Th, Sc, Ga.	37
Graf 7: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Co, Sr, La in Ni.....	37
Graf 8: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Ag, Cr, V in Pb.....	38
Graf 9: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotlin za TK: Ba, Cu, Zn in Mn.	39
Graf 10: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: K, Mg, Na in Ti.....	40
Graf 11: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Ca, Al in Fe.....	40

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

TK	težke kovine
s.s.	suhe snovi
Uredba	Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh
DDT	dikloro-difenil-trikloroetan
TOS	talna organska snov
FFS	fitofarmacevtska sredstva

Ag	srebro
Al	aluminij
As	arzen
Au	zlato
B	bor
Ba	barij
Bi	bizmut
Ca	kalcij
Cd	kadmij
Co	kobalt
Cr	krom
Cu	baker
Fe	železo
Ga	galij
Hg	živo srebro
K	kalij
La	lantan
Mg	magnezij
Mn	mangan
Mo	molibden
Na	natrij
Ni	nikelj
P	fosfor
Pb	svinec
S	žveplo
Sb	antimon
Sc	skandij
Se	selen
Sr	stroncij
Te	telur
Th	torij
Ti	titan
Tl	talij
U	uran
V	vanadij
Zn	cink

1. UVOD

Težke kovine (v nadaljevanju TK) so v tleh naravno prisotne s preperevanjem matične kamnine, njihov vnos pa je lahko tudi antropogen (industrija, kmetijstvo, promet). Kmetijski vir vnosa TK v tla predstavljajo škropiva in talna gnojila, ki vsebujejo težke kovine. Težke kovine, kot so železo, bor, mangan, cink, baker, molibden in nikelj, v nizkih koncentracijah predstavljajo pomembna mikrohranila za rastline in živali. Ko pa se koncentracije teh kovin v tleh povečajo, postanejo onesnaževala, saj lahko toksično vplivajo na rastline, na primer zavirajo njihovo rast. Kovinam, ki niso makro- ali mikrohranila pravimo absolutna onesnaževala (Rodríguez idr., 2018)

Simbol Spodnje Savinjske doline je hmelj (*Humulus lupulus*, L.), ki ga na območju doline gojijo že stoletje in pol (Gostečnik, 2018) in se prideluje v glavnem za pivovarsko industrijo. Pridelava hmelja spada v eno od najintenzivnejših panog v kmetijstvu, saj je potrebno intenzivno izvajati ukrepe za zatiranje bolezni in škodljivcev (Simončič idr., 2009). V Sloveniji se škropljenje proti škodljivcem ter boleznim izvaja glede na napovedi potrebe po škropljenju, ki jih izda Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, na osnovi sledenja pojava bolezni in škodljivcev (Rak Cizej, 2023).

V preteklosti so se za zatiranje glivičnih bolezni na hmelju pogosteje uporabljali bakrovi pripravki, vendar pa je že nekaj časa dovoljena le minimalna uporaba aktivnega bakra (letno 3 kg/ha). Bakrove pripravke hmeljarji uporabljajo za zatiranje bolezni, kot je hmeljeva peronospora (*Pseudoperonospora humuli*). Zaradi dolgoletne uporabe bakrenih pripravkov v hmeljiščih je vsebnost bakra v tleh hmeljišč, po podatkih strokovnega članka Preučevanje vpliva varstva hmelja pred boleznimi in škodljivci na ostanke fitofarmaceutskih sredstev v tleh in podzemni vodi v Sloveniji, povišana. Povprečna vsebnost bakra v tleh hmeljišč je bila po njihovi raziskavi iz let 2007 in 2008, 77 mg/kg s.s. tal, kar je več, kot je predpisana mejna vrednost v Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh, ki znaša 60 mg/kg s.s. tal (Simončič idr., 2009).

V šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja je bila javnost obveščena o negativnih vplivih fitofarmaceutskih sredstev (v nadaljevanju FFS) na organizme v okolju. Z raziskavami so začeli spremljati ostanke FFS v kmetijskih tleh in rastlinah. Zaradi intenzivnega načina pridelovanja hmelja ter majhnega izbora FFS je med ljudmi pogostokrat slišati mnenja, da so tla zaradi tega onesnažena. Velik del hmeljišč leži na lahkih peščenih tleh na ravninskih območjih ob rekah, kar je pomemben dejavnik za spremljanje FFS v tleh hmeljišč zaradi ogrožanja podzemne vode (Simončič idr., 2009).

1.1 Opredelitve problema

Gnojila in FFS, ki so del kmetijske prakse za prehrano in varovanje zdravja rastlin ter pridelave hrane in krme, so na drugi strani potencialna onesnaževala za kmetijska tla in okolje.

Razvoj v kmetijstvu je omogočil napredne kmetijske tehnologije in razvoj sodobnejših zaščitnih sredstev za varstvo rastlin. Izločili so na primer uporabo določenih kemikalij (npr. dikloro-difenil-trikloroetan - DDT), ki so jih uporabljali v preteklosti. Kljub temu pa so se zaradi njihove dolgoletne uporabe in adsorpcije na talne delce nekatere TK v tleh nakopičile. Glede na mejne vrednosti v zakonodaji so morebiti še vedno prisotne v tleh v prekomernih koncentracijah.

1.2 Namen in cilji diplomskega dela

Namen diplomskega dela je analizirati vsebnost 37 težkih kovin v tleh 10 hmeljiščih na različnih lokacijah v Spodnji Savinjski dolini. Hmeljišča so med seboj prostorsko oddaljena in imajo različen čas vzpostavitve – vezan na začetek pridelovanja hmelja. Vsebnost težkih kovin smo želeli primerjati med hmeljišči in tudi z geokemičnimi naravnimi ozadji teh kovin v tleh in tako oceniti človekov vnos težkih kovin v tla s kmetovanjem (npr. pripravki za škropljenje hmelja, gnojenje oz. morebitne druge kmetijske prakse) in drugih človekovih dejavnosti, kot je na primer industrija, promet itd.

Rezultati dela bodo prispevali k oceni vplivov kmetijstva in drugih dejavnosti človeka na tla kot del okolja ter prispevali k poznavanju stanja tal v hmeljiščih Spodnje Savinjske doline.

Cilj je primerjava vsebnosti TK v tleh hmeljišč z geokemičnimi ozadji tal hmeljišč in ocena, katere TK glede na nacionalno zakonodajo predstavljajo onesnaževala v tleh hmeljišč.

1.3 Hipoteze

Pri izdelavi diplomskega dela smo izhajali iz naslednjih ozadji in hipotez:

- Vsebnost težkih kovin v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline se razlikuje od hmeljišča do hmeljišča.
- Vsebnost nekaterih težkih kovin v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline presegajo zakonsko predpisane opozorilne imisijske vrednosti.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 Pridelava hmelja v Sloveniji

Na Slovenskem se uporaba hmelja za varjenje piva prvič omenja okoli leta 1160 v okolici Škofje Loke. Predelava hmelja pa se je intenzivneje začela razvijati na območju Savinjske doline po letu 1870 (Čerenak idr., 2002).

Hmelj je trajnica in se je v letu 2022 pridelovala na 1.625 ha v Sloveniji. Območja v Sloveniji, na katerih pridelujemo hmelj, so Spodnja Savinjska dolina, Ptujsko polje, Koroška in Dravska dolina. Hmeljišča v Sloveniji predstavljajo 1 % njivskih površin. Slovenija izvozi do 99 % pridelka hmelja, ki se uporablja v glavnem za proizvodnjo piva, na tuje trge (Hmeljarstvo, 2023).

2.2 Tla

Tla so vrhnja plast oziroma preperel del zemeljske skorje, ki vsebuje razkrojene organske snovi. Opredeljena so kot vrhnja plast zemeljske skorje, ki jo tvorijo mineralni delci, organska snov, voda, zrak in živi organizmi. So vezni člen med zemljo, zrakom in vodo ter gostijo večino biosfere (Vrščaj, 2017).

So stična točka med litosfero, hidrosfero in atmosfero (Zupan idr., 2008). Zgornji sloj zemeljskega površja je sestavljen iz mineralnih delcev, organske snovi, vode, zraka in živih organizmov (Gosar idr., 2019). Preperevanje osnovne kamnine in prisotnost humusa, ki nastaja s preperevanjem organskih snovi v zgornjih plasteh, zagotavlja nastajanje tal (Zupan idr., 2008). Tla predstavljajo edinstven naraven vir, ki je neposredno povezan s splošno blaginjo in pridelovanjem hrane. So ključnega pomena za življenje, saj omogočajo številne okoljske, ekonomske, kulturne in socialne funkcije (Gosar idr., 2019).

Tla so sestavljena iz različnih horizontov, ki se med seboj razlikujejo po debelinah v talnem profilu ter po biotskih, kemijskih, morfoloških in fizikalnih lastnostih, kot so struktura, tekstura, kislost, poroznost in barva. Talni profil je prečni prerez tal od površja do matične podlage, v katerem določimo morfološke, kemijske in fizikalne lastnosti. Različni pedogenetski dejavniki, kot so matična podlaga, relief, klima, čas in delovanje organizmov, skupaj z različnimi procesi v talnem profilu, oblikujejo horizonte in njihove lastnosti (Vrščaj, 2017).

2.2.1 Kmetijska tla

Pridelava kmetijskih rastlin spreminja tla z obdelovanjem, odvzemom in vnosom hranil in uporabo pesticidov. Slednje je bilo v preteklosti tudi pretirano. Vpliv imajo tudi hidro- in agromelioracije. Hidromelioracija je odvajanje preseženih količin talne vode oz. odvajanje vode iz kmetijskih zemljišč, kar izboljšuje zračno-vodne razmere v tleh. Manj nasičena tla z vodo nudijo boljše prezračevanje v tleh, kar izboljšuje rast kmetijskih rastlin, agromelioracija pa izboljšuje kemijske, fizikalne in biotske lastnosti tal. Ti ukrepi pogosto zajemajo izravnave zemljišč, krčitev zaraščenih delov, odstranitev skal, ureditev poljskih poti in dostopov ter terasiranje pobočij (Vrščaj, 2017).

Rodovitnost kmetijskih tal se lahko s časom zmanjšuje, lahko že v krajših časovnih obdobjih, na primer zaradi slabšanja fizikalnih lastnosti tal, kot so večja zbitost, povečana zbitost in izguba organske snovi v zgornjih horizontih. Hitro se lahko zmanjša tudi rodovitnost, če ne nadomestimo hranil, ki smo jih odvzeli s pridelkom, zato je gnojenje nujen ukrep na kmetijskih tleh (Vrščaj, 2017).

2.2.2 Kislost tal

Kislost tal, ki jo izražamo z vrednostjo pH, vpliva na večjo topnost težkih kovin v tleh kot kateri koli drugi dejavnik in s tem vpliva na dostopnost anorganskih nevarnih snovi v tleh (Alloway, 2012). Od bazičnosti oz. kislosti tal pa je v veliki meri odvisna tudi dostopnost hranil za rastline v tleh. Druge lastnosti tal, ki so odvisne od kislosti tal, so še puferna sposobnost, tekstura, humus, struktura in vlažnost (Mihelič idr., 2009). Glede na vrednost pH delimo tla v 5 razredov, kot je prikazano v preglednici 1.

Preglednica 1: Razredi delitev tal glede na pH (Mihelič idr., 2009).

Razredi tal	Vrednost pH
Alkalna (bazična)	> 7,2
Nevtralna	6,8 – 7,2
Zmerno kisl	5,6 – 6,7
Kisl	4,5 – 5,5
Močno kisl	< 4,5

Bazični kationi, predvsem Mg^{2+} in Ca^{2+} , v matični podlagi vplivajo na kislost tal. V zgornjih horizontih tal na kislost vpliva tudi vsebnost organske snovi v tleh, ki lahko nekoliko zniža pH. Tla se s staranjem v zgornjih plasteh počasi zakisajo zaradi padavin, ki spirajo bazične katione skozi talni profil. Zato je pomembno, da v zgornjih plasteh tal s pomočjo apnjenja dodajamo oz. vračamo bazične katione (Ca^{2+}) v površinske rodovitne horizonte tal (Zupan idr, 2008). Vrednost pH je v veliki meri odvisna od dostopnosti hranil (Čeh idr., 2022).

Kisl tla omogočajo večjo dostopnost kovin kot bazična tla, saj večja kislost poveča topnost, mobilnost in s tem dostopnost težkih kovin rastlinam. V območju pH 4 – 5 se npr. cink, kadmij, baker in svinec bolje sproščajo v talno raztopino kot pa v območju pH 5 – 7 (Zupan idr, 2008.). Zato mineralna tla, v katerih je pH nižji od 6,5 oz. 5,8, apnimo s $CaCO_3$ ali CaO oz. drugimi viri Ca^{2+} , da zvišamo pH tal (Alloway, 2012).

Smernice za optimalno kislost tal hmeljišč, podane z Bavarskega državnega raziskovalnega centra za kmetijstvo, Inštituta za rastlinsko pridelavo in gnojenje rastlin, so (Čeh idr, 2022):

- peščena tla hmeljišč od 5,0 do 5,4 pH;
- ilovnata tla hmeljišč od 5,5 do 5,9 pH;
- srednje težka tla hmeljišč od 6,0 do 6,4 pH in
- težka tla hmeljišč od 6,5 do 6,8 pH.

2.2.3 Organska snov v kmetijskih tleh

Organska snov v tleh sestavljajo organski ostanki rastlin, kot so opad višjih rastlin, korenine ter živa in mrtva mikrobn

Humus in talna organska snov v tleh vplivata na različne lastnosti tal, na primer na vodno-zračne lastnosti tal, zmanjšujeta zbitost tal ter nevarnosti razpokanja, erozije in zaskorjenja tal. Prav tako vplivata na obdelovalnost tal, saj lahko izboljšata konsistenco tal (rahlost, drobljivost), povečata zadrževanje vode in stopnjo vpojnosti ter drenažnost tal. Poleg tega lahko vplivata tudi na kislost tal, povečata sposobnost tal za vezavo in izmenjavo hranil, kar poveča kationsko izmenjevalno kapaciteto. Zato je delež talne organske snovi v tleh pomemben dejavnik za nevarne kemikalije in za njihovo mobilnost v tleh (Zupan idr, 2008) (Vrščaj, 2017). Vezava

onesnaževal v tleh, kot so težke kovine, je v veliki meri odvisna od aktivnosti tal. Boljše, kot so lastnosti tal (višje vsebnosti talne organske snovi, primerne vsebnosti glin, ustrezna globina, dobra struktura tal in vodno-zračne razmere v tleh), večja je sorpcijska kapaciteta (Vrščaj, 2017).

2.3 Težke kovine (TK)

Težke kovine sodijo v skupino kovin z visoko relativno gostoto. Zanje je značilno, da imajo lahko že pri majhni količini toksične učinke na organizme (Rodríguez idr., 2018). Svinec, kadmij, cink, baker, krom, nikelj, arzen, kobalt in molibden spadajo v skupino kovin in jih uvrščamo med TK (Zupan idr, 2008). Kovine bor, mangan, cink, baker, molibden in nikelj so v manjših, normalnih količinah mikrohranila. Območje koncentracije, kdaj je kovina v tleh hranilo in kdaj onesnažilo, je včasih zelo ozko (Alengebawy idr., 2021).

2.3.1 Vpliv antropogenih dejavnikov na vsebnost težkih kovin v tleh

Antropogena kontaminacija tal je eden izmed največjih vplivov človeka na okolje. Dejavnosti ljudi vplivajo na povišane vrednosti kemijskih elementov v površinskih slojih tal, kot so sedimenti. Obogatitev tal s kemijskimi prvinami, še posebej na industrijskih območjih, pripisujemo antropogenim vplivom. Antropogeni vplivi na povečanje vsebnost TK v tleh so še: urbane in industrijske emisije v zraku, nevarni in posebni odpadki (blato iz komunalnih naprav, odpadne snovi iz industrije, radioaktivni odpadki ipd.), oporečne namakalne vode ali poplavne vode, mineralna in organska gnojila v kmetijstvu ter FFS in mulj iz rečnih strug in jezer (Gosar idr., 2019).

Ko se tlom zmanjša njihova samoočiščevalna sposobnost, se poslabšajo fizikalne, kemijske in biotske lastnosti, zmanjša se rodovitnost tal. Takšna tla označujemo kot onesnažena (Zupan idr, 2008).

2.3.1.1 Onesnaženje v kmetijstvu

Prekomerne količine in nepravilna raba gnojil in FFS, ki se uporabljajo za preprečevanje ter nadzor bolezní in škodljivcev, so glavna antropogena onesnaževala na kmetijskih zemljiščih (Zupan idr, 2008).

Najpogostejše kovine, ki onesnažujejo tla ter ob povišanih vrednostih zavirajo rast in razvoj rastlin, so Cd, Cu, Pb in Hg. Kmetijska dejavnost je lahko vir onesnaževanja zaradi pretirane in napačne uporabe gnojil slabe kakovosti, če ta vsebujejo primesi težkih kovin (Rodríguez idr, 20118). Gnojila glede na svojo sestavo zagotavljajo različna potrebna hranila, ki izboljšujejo rast in odpornost rastlin ter povečujejo pridelek. Organska gnojila pa povečajo tudi vsebnost organske snovi v tleh. Gnojila izboljšujejo rodovitnost tal (Alengebawy idr., 2021). Delimo jih na organska in anorganska (Zupan idr, 2008). Od lastnosti spojine in njene kemijske oblike je odvisna razgradnja, adsorpcija in mobilnost te snovi v tleh, rastlinah ter topnost v vodi. Pri organskih in anorganskih gnojilih obstajajo izjeme, kjer se lahko organske spojine več let zadržujejo v tleh (npr. klorirani ogljikovodiki), in anorganske, ki se lahko hitro izperejo iz tal (npr. nitrati) (Zupan idr, 2008).

Kmetijsko onesnaževanje delimo na posredne in neposredne vnose snovi v kmetijska tla, ki nastanejo zaradi kmetijske dejavnosti. Nestrokovna raba gnojil, FFS, gnojevke, oporečnih kompostov (komposti s povišano vsebnostjo TK) in drugih dodatkov tlom lahko povzroči onesnaženje tal in drugih delov okolja (Zupan idr, 2008).

Gnojila, ki vsebujejo TK in se dolgotrajno ter prekomerno uporabljajo na kmetijskih površinah, povzročajo kopičenje TK v tleh. Tla, ki imajo zadostno količino talne organske snovi in optimalni pH, nevtralizirajo TK, ki se vežejo na glinene in minerale delce v tleh. Ob nižjih vsebnostih talne organske snovi ali v kislih tleh postanejo TK mobilne in tako postanejo rastlinam dostopne. To

lahko negativno vpliva na rodovitnost tal ter zmanjšuje pridelek, razvoj in rast rastlin (Alengebawy idr., 2021).

2.3.2 Težke kovine in njihova naravna prisotnost v tleh

Povišane vrednosti TK v okolju so lahko posledica:

- naravnih danosti (kamnine z naravno visokimi vsebnostmi nekaterih elementov, kot so na primer črni silikatni glinavci);
- vplivov različnih nanosov (eolskih) v času razvoja tal, zato imajo lahko tla na karbonatnih kamninah pogosteje višje vsebnosti As, Bi, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mn, Nb, Ni, Pb, Sb, Th, U, V, Zn in Zr od Slovenskega povprečja (Gosar idr., 2019).

Težke kovine, ki so v naravi prisotne v povečanih koncentracijah in pri rastlinah povzročijo fitotoksičnost, prav tako lahko vplivajo na zdravje ljudi. Zaradi svoje specifične biološke nerazgradljive narave se z lahkoto kopičijo v ljudeh, zemlji in rastlinah (Rodríguez idr, 2018).

2.3.2.1 Kadmij (Cd)

Cd je mehka, modrikasto bela kovina, ki je v naravi prisotna v cinkovih rudah in v manjših količinah v apnencih in dolomitih ter v mineralu grenikit (Alengebawy idr., 2021).

Cd se v tla vnaša z antropogenim izvorom, kot so kovinska industrija, industrija plastike, rudarstvo, izgorevanje fosilnih goriv ter v kmetijstvu z mineralnimi gnojili in nepravilnim odlaganjem odpadkov (Zupan idr, 2008). Kopičenje Cd v tleh je vsestranski problem zaradi industrijske revolucije, in uporabe mineralnih gnojil z večjo vsebnostjo Cd. Na prekomerno dostopnost Cd v tleh vplivata predvsem pH tal in vsebnost organske snovi v tleh. Z večjo kislostjo tal se poveča biotska dostopnost Cd v tleh, kar povzroči neravnovesje v tleh. Cd je zelo mobilna kovina v tleh in je toksična kovina, ki negativno vpliva na mikrobnost aktivnost. Prav tako lahko absorbira organsko snov v tleh in spreminja fizikalno–kemijske lastnosti tal (Alengebawy idr., 2021).

Cd ne spada v skupino mikrohranil v tleh in negativno vpliva na rast in razvoj rastlin. Kopičenje Cd v rastlinah povzroča številne fiziološke in biokemične spremembe, poleg tega pa zavira tudi prenos mineralov in sprejemanje hranil v rastlinah (Adriano, 2001).

2.3.2.2 Baker (Cu)

Velik antropogeni vnos Cu v tla je preko uporabe FFS, ki vsebujejo baker. Cu se lahko v večjih količinah pojavlja tudi v organskih gnojilih (Zupan idr, 2008). Cu je obenem pomembno mikrohranilo, ki je bistveno in potrebno za rast rastlin (Alengebawy idr., 2021). Ob povišanih vrednostih v tleh pa je toksičen za organizme in rastline (Rodríguez idr., 2018). V kmetijskih tleh je razpoložljivost Cu običajno odvisna od več dejavnikov, na primer od organske snovi in pH tal. V kislih tleh je njegova dostopnost rastlinam večja kot v bazičnih tleh. Visoka stopnja kopičenja Cu v tleh je pogosto posledica uporabe fungicidov na osnovi Cu (Alengebawy idr., 2021).

2.3.2.3 Nikelj (Ni)

Ni je naravno prisoten v nekaterih metamorfni in magmatskih kamninah. S preperevanjem teh kamnin se njegove koncentracije v tleh povečujejo. V Sloveniji ni veliko območij, ki so obogatena z Ni, izstopajo le flišni skladi. Ni je mikrohranilo, ki v tleh vpliva na rodovitnost in produktivnost tal. Ob povišanih vrednostih predstavlja onesnaževalo ter vpliva na rastline: zmanjšana rast, kakovost ploda in škodljivi učinki na pridelek (Zupan idr, 2008).

2.3.2.4 Svinec (Pb)

Pb je eden izmed najpogostejših onesnažil tal. Za rast rastlin ni bistven ter velja za toksično kovino (Alengebawy idr., 2021). Antropogeni izvori onesnaževanja so industrija, rudarjenje in

atmosferski depoziti (dodatki fosilnim gorivom). Pb so v preteklosti uporabljali tudi v kmetijstvu (z uporabo FFS, ki so bila narejena na osnovi Pb). Zato se lahko vsebnosti Pb v tleh razlikujejo glede na rabo tal – podeželje, mesto ali bližine industrije/topilnic (Zupan idr, 2008).

2.3.2.5 Cink (Zn)

Antropogeni viri onesnaževanja s Zn so rudarjenje, industrija tekstila, mikroelektronike, odlaganje odpadkov in blato iz čistilnih naprav. Prav tako k onesnaževanju prispeva kmetijstvo zaradi uporabe mineralnih in organskih gnojil ter FFS (Zupan idr, 2008).

Zn je potrebno mikrohranilo za rast in razvoj živali, rastlin in ljudi (Zupan idr, 2008). Vendar pa postane toksičen, kadar je njegova vsebnost v tleh povišana. Pri večini rastlin je meja toksičnosti za cink $500 \mu\text{g kg}^{-1}$ s.s. (Adriano, 2001). Negativno vpliva tudi na organizme, ki živijo v tleh (npr. nevretenčarji, rastline in mikroorganizmi) (Alloway, 2012) (Alengebawy idr., 2021). Prav tako vpliva na različne lastnosti tal, kot so pH in vsebnost organske snovi, hkrati pa lahko vpliva na dostopnost Mg in Fe v tleh (Alengebawy idr., 2021).

2.3.2.6 Živo srebro (Hg)

Vir onesnaževanja z Hg predstavljajo rudarjenje, industrija plastike in blato iz čistilnih naprav. Tudi nekatera FFS so v preteklosti vsebovala živo srebro (Zupan idr, 2008). Hg ne spada v skupino mikrohranil in ni potreben za življenje, obenem je močno strupen element. V nekaterih oblikah je za organizme bolj nevaren kot kateri koli drug element. Elementarno Hg je manj nevarno kot ostale živosrebrove spojine, strupeno pa postane šele po pretvorbi v ionsko obliko (Teršič idr, 2006).

2.3.2.7 Krom (Cr)

Visoke koncentracije Cr v tleh so lahko posledica naravnih procesov preperevanja osnovne kamnine (Zupan idr, 2008). Kamnine, ki vsebujejo visoke vsebnosti Cr, so magmatske in ultramafične kamnine, ki vsebujejo tudi do 3.000 mg/kg s.s. Cr. Visoke vsebnosti Cr so tudi v sedimentnih kamninah. V Sloveniji prevladuje fliš, ki vsebuje višje koncentracije Cr (Alloway, 2012).

Antropogeni viri onesnaženja tal s Cr so metalurgija, železarne, industrija plastike in odlaganje blata iz čistilnih naprav. Cr ne spada v skupino mikrohranil (Zupan idr, 2008).

2.3.2.8 Kobalt (Co)

Vzrok za povišane vsebnosti Co v tleh je lahko industrija plastičnih mas, kar predstavlja antropogeni vir onesnaževanja. Vzrok za njegove povišane vrednosti v tleh je lahko tudi naravno ozadje matične kamnine (Zupan idr, 2008).

2.3.2.9 Molibden (Mo)

Mo je v tleh prisoten zaradi naravnih procesov. Njegovo antropogeno onesnaževanje predstavljajo predvsem izpusti prometa in blata iz čistilnih naprav. Njegove koncentracije so nizke (Zupan idr, 2008).

Mo je pomembno mikrohranilo. Pomemben je pri sintezi beljakovin in pri vezav dušika v koreninah. Pomanjkanje Mo negativno vpliva na rast ter razvoj rastline (Adriano, 2001).

2.3.2.10 Arzen (As)

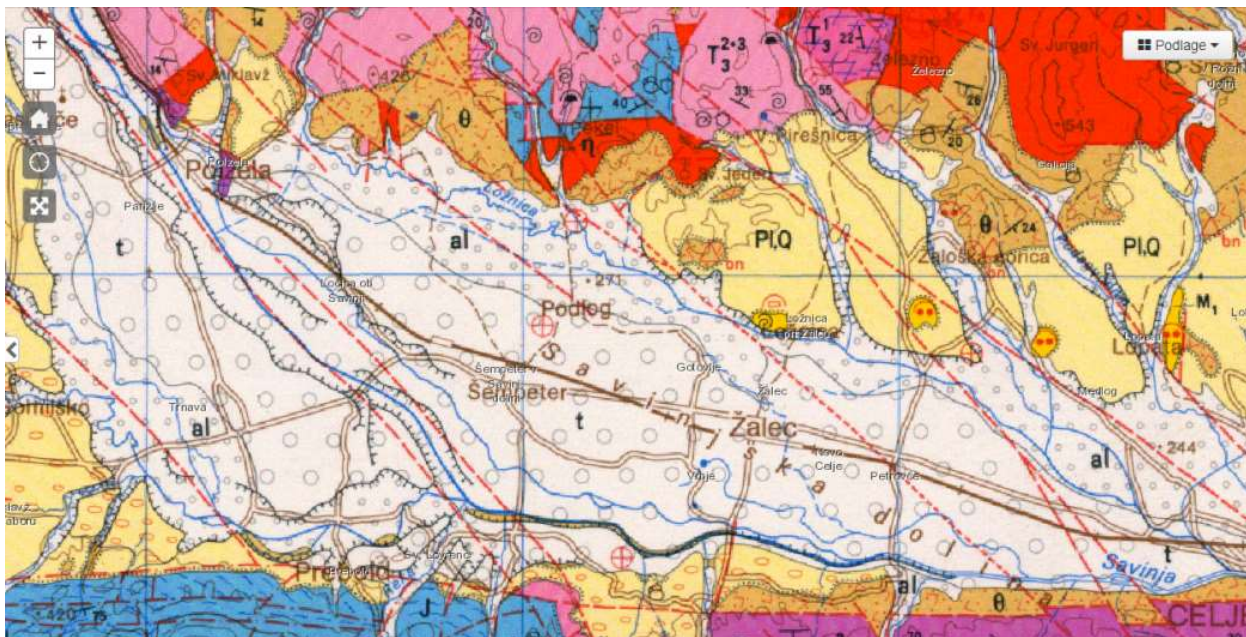
Izvor onesnaževanja tal z As v Sloveniji predstavljajo predvsem rudniška ter topilniška dejavnost, kovinska industrija, odpadki ter kmetijstvo z FFS in sredstvi za zaščito lesa. V preteklosti je bil uporabljen kot aktivna snov v FFS pripravkih (Zupan idr, 2008).

As ne spada v skupino hranil, potrebnih za rastline, negativno pa lahko vpliva na kalitev, razvoj in rast rastlin. Najpogosteje in v večjih količinah ga najdemo v koreninah rastlin (Adriano, 2001).

2.4 Tipi tal v Spodnji Savinjski dolini

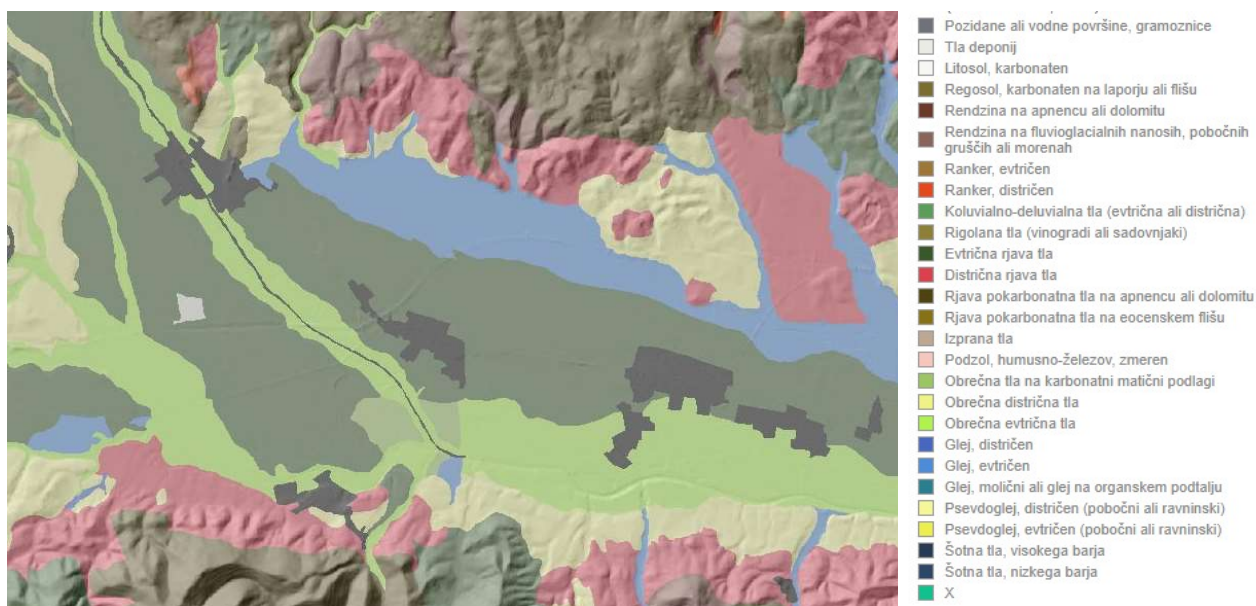
Spodnja Savinjska je rodovitna dolina, kjer prevladujejo predvsem mlada tla, ki so se razvila na aluvialnih nanosih (Gosar idr., 2019).

Aluvij kotline je pretežno peščeno prodnat oziroma meljast, sestavljen iz rečnih sedimentov, ki predstavljajo predvsem karbonatni prod (Legenda kartiranih enot). Del tega območja je še vedno pod vplivom vodotokov reke Savinje, ki nanašajo nov sedimentni material, predvsem prod in pesek. Na teh sedimentih so se razvila rjava tla in obrečna tla, ki so neposredno ob rekah in vodotokih (Gosar idr., 2019). Na sliki 1 je prikazana osnovna geološka karta Spodnje Savinjske doline. Slika 2 prikazuje pedološko karto Spodnje Savinjske doline.



Slika 1: Osnovna geološka karta Spodnje Savinjske doline (*Osnovna geološka karta*, 2023).

Slika 1 prikazuje osnovno geološko karto Spodnje Savinjske doline. Oznake, ki so prikazane na karti, pomenijo: al – aluvij, pretežno glineno – peščeni, t – rečni sedimenti v terasah – pretežno karbonatni prod (Legenda kartiranih enot).



Slika 2: Pedološka karta Spodnje Savinjske doline (*Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije*).

2.5 Zakonodaja

Tla v Sloveniji so varovana z zakonodajo. V Zakonu o kmetijstvu je predpisano izvajanje monitoringa kakovosti tal (Zakon o kmetijstvu). Izvajanje monitoringa kakovosti tal, metodologijo vzorčenja, analize vzorcev in način poročanja pa določa Pravilnik o monitoringu kakovosti tal (Pravilnik o monitoringu kakovosti tal), (Bešter idr., 2021).

2.5.1 Zakonodaja s področja monitoringa kakovosti tal:

- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96, 41/04 – ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2);
- Pravilnik o monitoringu kakovosti tal (Uradni list RS, št. 68/19 in 44/22 – ZVO-2);
- Pravilnik o obratovalnem monitoringu stanja tal (Uradni list RS, št. 157/22 in 7/23 – popr.);
- Zakon o kmetijstvu (Uradni list RS, št. 45/08, 57/12, 90/12 – ZdZPVHVVR, 26/14, 32/15, 27/17, 22/18, 86/21 – odl. US, 123/21, 44/22, 130/22 – ZPOmK-2, 18/23 in 78/23);
- Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 44/22, 18/23 – ZDU-10 in 78/23 – ZUNPEOVE) (PisRS - Pravno informacijski sistem).

V Uredbi je navedenih 10 kovin (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn), ki imajo določene opozorilne, mejne in kritične vrednosti onesnaževal v tleh (Zupan idr, 2008). Z vrednostmi, podanimi v tem predpisu, ovrednotimo tudi rezultate vsebnosti TK v tleh.

»**Mejna imisijska vrednost** je vrednost posamezne nevarne snovi v tleh, pri kateri so zagotovljene življenjske razmere za rastline in živali ter se pri tem ne poslabšuje rodovitnosti tal in kakovost podtalnice. Vsebnost nevarne snovi ne predstavlja tveganja za rastline, ljudi, živali in okolje.«

»**Opozorilna imisijska vrednost** je vrednost, pri kateri je v določenih vrstah rabe tal verjetnost škodljivih učinkov ali vplivov na okolje in zdravje človeka.«

»**Kritična imisijska vrednost** je vrednost, pri kateri zaradi škodljivih učinkov in vplivov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi in živali ter za zadrževanje in filtriranje vode.«

Glede na zakonodajo, so tla v Sloveniji onesnažena, kadar je vsebnost vsaj ene nevarne snovi enaka ali večja od opozorilne imisijske vrednosti.

V preglednici 2 so prikazane mejne, opozorilne in kritične imisijske vrednosti za nevarne snovi v tleh, ki jih opredeljuje Uredba.

Preglednica 2: Mejne vrednosti mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh (Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (UR. l. št. 68/96).

Kovina (mg/kg suhe snovi tal)	Mejna imisijska vrednost (mg/kg suhe snovi tal)	Opozorilna imisijska vrednost (mg/kg suhe snovi tal)	Kritična imisijska vrednost (mg/kg suhe snovi tal)
Cd	1	2	12
Cu	60	100	300
Ni	50	70	210
Pb	85	100	530
Zn	200	300	720
Cr	100	150	380
Hg	0,8	2	10
Co	20	50	240
Mo	10	40	200
As	20	30	55

3 MATERIALI IN METODE DE LA

Diplomsko delo je rezultat kabinetnega dela, terenskih in laboratorijskih raziskav. Kabinetno delo je zajemalo:

- pregled literature in predstavitev geoloških in pedoloških značilnosti območja, kjer smo vzorčili;
- pregled in opis slovenske zakonodaje, ki obravnava tla;
- obdelavo podatkov s statističnim program R-commander.

V okviru terenskega dela smo izvedli vzorčenje tal v 10 hmeljišč Spodnje Savinjske doline, ki so bila izbrana naključno.

Analize vzorcev tal so se opravile v laboratoriju Bureau Veritas Commodities Canada, (analize za Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, B, Al, Na, K, W, Sc, Tl, S, Hg, Se, Te in Ga) in na Kmetijskem inštitutu v Centralnem laboratoriju – Agrokemijski laboratorij (analize za kislosti tal, vsebnost organskega ogljika v tleh in dostopni P_2O_5 in K_2O v tleh).

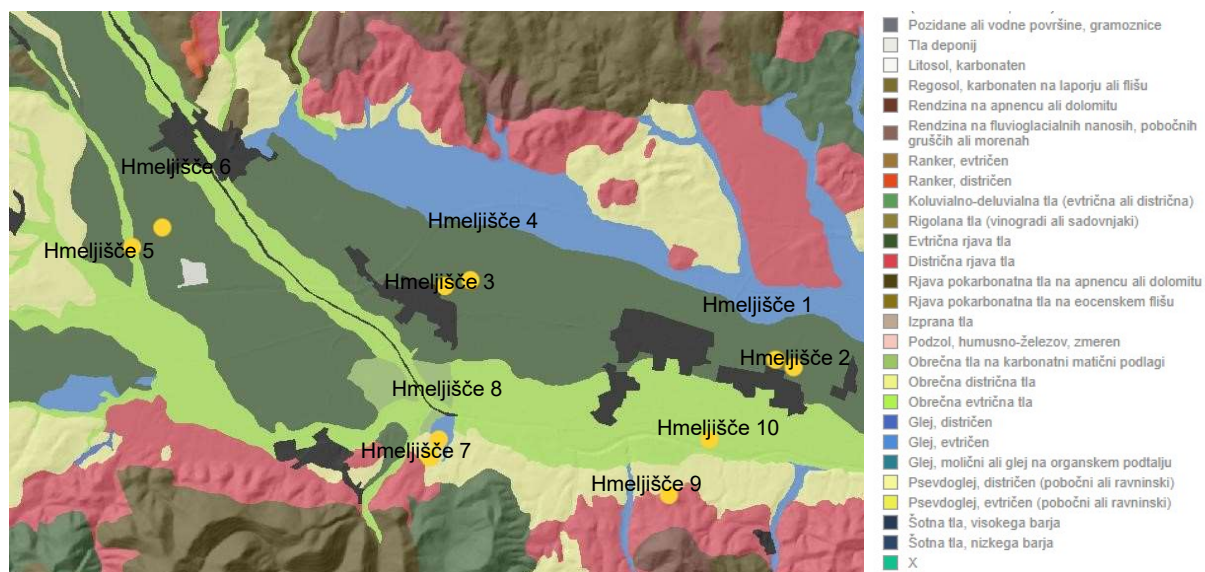
3.1 Opis raziskovalnega območja

Raziskovalno območje se razteza čez Spodnjo Savinjsko dolino, od Drešinjne vasi do Poljčan pri Braslovčah. Na tem območju smo izbrali deset hmeljišč, iz katerih smo vzeli talne vzorce po metodi cik-cak. Na Slika 3 so s številkami predstavljene lokacije vzorčenih hmeljišč.



Slika 3: Označene lokacije vzorčnih mest tal hmeljišč glede na poimenovanje vzorca (*Atlas okolja*).

Hmeljišča so prostorsko ločena in so na različnih talnih tipih in sicer na rjavih evtričnih tleh ali pa na rjavih dističnih tleh. Iz slike 4 lahko razberemo talne tipe v vseh desetih analiziranih hmeljiščih.



Slika 4: Označene lokacije vzorčnih mest na karti talnih tipov (*Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije*).

3.1.1 Opisi hmeljišč

Hmeljišče 1 (slika 5) je na lokaciji Petrovče, prevladujoča talna skupina so evtrična rjava tla, prevladujoč talni tip evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah rek (*Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije*).



Slika 5: Hmeljišče 1, Drešinja vas (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 2 (slika 6) je na lokaciji Petrovče, prevladujoča talna skupina so evtrična rjava tla, prevladujoč talni tip evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah rek (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 6: Hmeljišče 2, Drešinja vas (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 3 (slika 7) je na lokaciji Šempeter v Savinjski dolini, prevladujoča talna skupina so evtrična rjava tla, prevladujoč talni tip evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah rek (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 7: Hmeljišče 3, Šempeter v Savinjski dolini (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 4 (slika 8) je na lokaciji Šempeter v Savinjski dolini, prevladujoča talna skupina so evtrična rjava tla, prevladujoč talni tip evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah rek (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 8: Hmeljišče 4, Šempeter v Savinjski dolini (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 5 (slika 9) je na lokaciji Braslovče, prevladujoča talna skupina so obrečna evtrična tla, prevladujoči talni tip obrečna tla, evtrična (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 9: Hmeljišče 5, Poljče (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 6 (slika 10) je na lokaciji Braslovče, prevladujoča talna skupina so evtrična rjava tla prevladujoči talni tip evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih in peščenih nasutinah rek (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 10: Hmeljišče 6, Poljče (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 7 (slika 11) je na lokaciji Prebold, prevladujoča talna skupina je psevdoglej, distričen, prevladujoči talni tip psevdoglej, ravninski, distričen (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 11: Hmeljišče 7, Sveti Lovrenc (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 8 (slika 12) je na lokaciji Prebold, prevladujoča talna skupina je psevdoglej, distričen (pobočni ali ravninski), prevladujoči talni tip psevdoglej, ravninski, distričen (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 12: Hmeljišče 8, Sveti Lovrenc (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 9 (slika 13) je na lokaciji Migojnice, prevladujoča talna skupina so obrečna tla na karbonatni matični podlagi, prevladujoči talni tip obrečna tla, karbonatna (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 13: Hmeljišče 9, Migojnice (foto: Božijak, 2023).

Hmeljišče 10 (slika 14) je na lokaciji Žalec, prevladujoča talna skupina so obrečna evtrična tla, prevladujoči talni tip obrečna tla, evtrična (Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije).



Slika 14: Hmeljišče 10, Žalec (foto: Božijak, 2023).

3.2 Vzorčenje tal

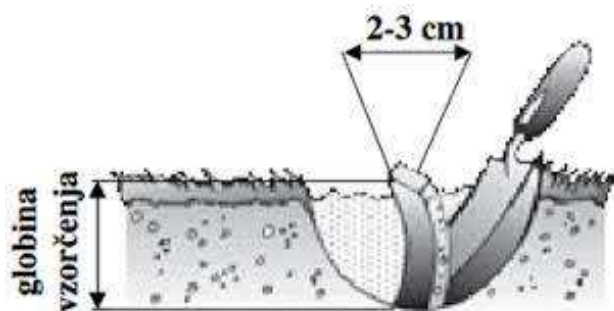
Za vzorčenje talnih vzorcev smo najprej preučili Pravilnik o monitoringu kakovosti tal in prilogo 5, ki nam je bila v pomoč na terenu pri zapisovanju podatkov.

Terensko vzorčenje je potekalo leta 2023 v mesecu februarju in marcu. Talni vzorec je sestavljen iz 20 enot vzorca (delnih vzorcev), ki so bili odvzeti na globini 0 - 20 cm. Vzorčenje je potekalo na dvajsetih mestih, ki so bila enakomerno razporejena po hmeljišču v cik-cak vzorcu, pri čemer smo se izogibali skrajnim robom hmeljišč. S to tehniko smo lahko pokrili površino hmeljišča in dobili homogeniziran reprezentativni vzorec.

Oprema, ki smo jo uporabljali za vzorčenje:

- plastično vedro;
- manjša plastična lopatka;
- večja lopata;
- PVC vrečke, ki ne vsebujejo težkih kovin;
- fotoaparata in
- krpa.

Z večjo lopato smo izkopal talni profil od 0 do 20 cm globoko (prikazano na sliki 15), s plastično lopatko smo odstranili centimeter globok pas, ki bi lahko bil onesnažen s težkimi kovinami zaradi izkopa. Tako smo s plastično lopatko vzeli delni vzorec, ki je bil približno širok 2 cm po dolžini izkopa in ga spravili v vedro. Slika 15 prikazuje odvzem talnih vzorcev s plastično lopato.



Slika 15: Odvzem vzorcev z lopato (*Postopek odvzema vzorca tal*).

Vzorec tal smo dobili z združenjem delnih vzorcev tal, odvzetih na več mestih, po zgoraj opisanem postopku (cik-cak). Delne vzorce smo združili v en homogeniziran reprezentativni vzorec, ki smo ga shranili v PVC vrečko za hrano, ki ne vsebuje težkih kovin. Končnega vzorca je bilo približno 0,5 kilograma. Pred vsakim vzorčenjem smo plastično vedro obrisali s krpo.



Slika 16: Prikaz globine talnega profila (foto: Božijak, 2023).

S Prilogo 5 Pravilnika o monitoringu kakovosti tal (Priloga 1 v diplomskem delu), smo si pomagali zajeti pomembne informacije o mestu vzorčenja na terenu ter zapisali naslednje informacije:

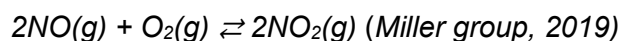
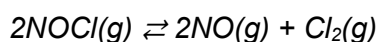
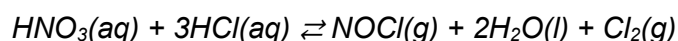
- mesto vzorčenja;
- splošne podatke vzorčenja (tip tal, matična podlaga, metoda vzorčenja, pripomočki pri vzorčenju in raba tal ter možni viri onesnaževanja v bližini);
- skica vzorčnih mest na hmeljišču;
- opis tal na vzorčnem mestu (relief, oblika reliefa, površina vzorčnega mesta in morfološke značilnosti profila).

3.3 Priprava in laboratorijske analize talnih vzorcev

Vzorci smo laboratorijsko analizo pripravili po postopku, opisanem v Prilogi 1 diplomskega dela. Izvedli smo dve skupni analizi tal, določitev vsebnosti TK po metodi zlatotopke in analizo štirih osnovnih parametrov tal.

3.3.1 Določitev vsebnosti težkih kovin po metodi zlatotopke

V procesu, na kratko imenovan zlatotopka, (lat. Aqua regia) se uporablja dušiko – klorovodikova raztopina. Vzorci so bili analizirani z metodo induktivno vezane plazemske masne spektrometrije (ICP-MS) po razklopu z modificirano zlatotopko (15 g vzorca so raztopili v mešanici kislin HCl : HNO₃ : H₂O = 1 : 1 : 1), pri čemer se tla popolnoma razgradijo in razpadejo tudi manj odporni minerali (Bureau Veritas, 2023). Zmes Aqua regia se uporablja za ekstrakcijo kovin (zlato, platina) iz kamnin in tal. Raztopina zlatotopke je izredno jedka in lahko povzroči opekline na koži ali eksplozijo (Aqua Regia).



Laboratorijsko analizo je izvedel akreditiran laboratorij Bureau Veritas v Vankuvru po standardu ISO 11466:1995 (E) - kakovost tal - ekstrakcija elementov v sledovih, topnih v zlatotopki (*Aqua regia*) (Bureau Veritas, 2023). Kovine, ki so se analizirale po omenjenem postopku, so: Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, B, Al, Na, K, W, Sc, Tl, S, Hg, Se, Te in Ga.

Rezultati vsebnosti težkih kovin v talnih vzorcih so prikazani v Prilogi 4 diplomskega dela.

3.3.2 Analize v Agrokemijskem laboratoriju Kmetijskega inštituta Slovenije

V Agrokemijskem laboratoriju Centralnega Laboratorija Kmetijskega Inštituta Slovenije so analizirali štiri osnovne parametre tal po akreditiranih metodah:

- po standardu ISO 10390:2021 so analizirali kislost tal v CaC₂;
- po standardu SIST ISO 14235:1999 MOD so analizirali vsebnost organskega ogljika v tleh;
- po interni metodi laboratorija so izvedli analizo rastlinam dostopnega P₂O₅ in rastlinam dostopnega K₂O (Kmetijski inštitut Slovenije).

Zbrani rezultati analize so prikazani v Prilogi 3 diplomskega dela.

4 REZULTATI

Analize po postopku zlatotopke so zajemale razklop 37 kovin (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, B, Al, Na, K, W, Sc, Tl, S, Hg, Se, Te in Ga).

V prvem delu smo deset kovin (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Co, Hg, Mo in As) primerjali z Uredbo.

V drugem delu smo pridobljene vrednosti analize težkih kovin (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, B, Al, Na, K, W, Sc, Tl, S, Hg, Se, Te in Ga) primerjali z vrednostnimi geokemičnega ozadja po strokovni študiji Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za celotno Slovenijo in za Notranje kotline.

4.1 Celokupna vsebnost TK v vzorcih tal iz 10 hmeljišč in primerjava izmerjenih vsebnosti z mejnimi imisijskimi vrednostmi slovenske zakonodaje

Rezultate celokupne vsebnosti (Pseudo-total) TK v tleh smo primerjali z mejnimi, opozorilnimi in kritičnimi imisijskimi vrednostmi, ki so podane v Uredbi.

Rezultate smo predstavili s »škatlo z brki« (box plot), kjer je predstavljen medkvartilni razpon med najnižjo in najvišjo vrednostjo ter označeno mediano. Za 10 težkih kovin, ki jih opredeljuje zakonodaja (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Hg, Co, Mo in As), smo predstavili tudi najvišje in najnižje vsebnosti ter njihovo mediano in povprečno vrednost.

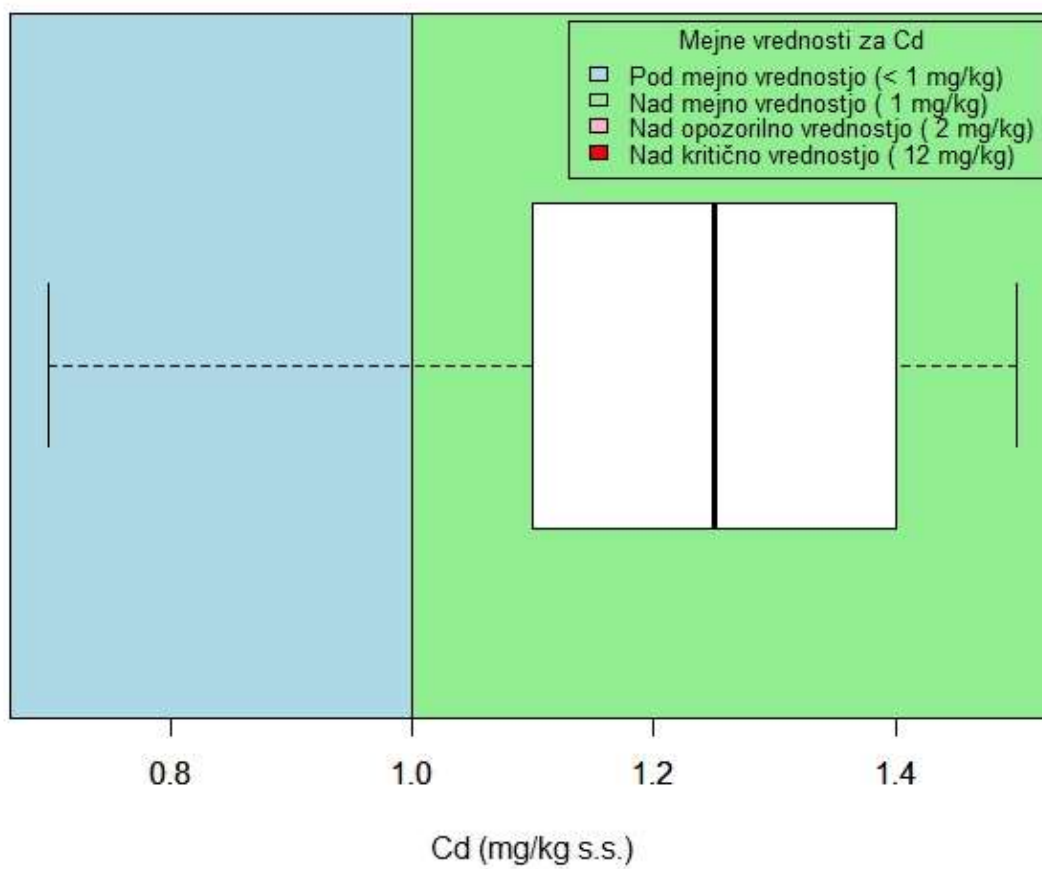
4.1.1 Kadmij

Slika 17 prikazuje koncentracije Cd v vzorcih tal. Vsebnost Cd v določenih hmeljiščih presega mejne imisijske vrednosti po Uredbi.

V povprečju je vsebnost Cd v vseh desetih vzorcih 1,20 mg/kg s.s. tal, mediana vzorcev pa je 1,30 mg/kg s.s. tal. Najnižja vsebnost je bila 0,70 mg/kg s.s. tal, zabeležena v Hmeljišču 8. Najvišja izmerjena vsebnost je bila 1,50 mg/kg s.s. tal in je bila zabeležena v Hmeljišču 1 ter Hmeljišču 9.

Tla hmeljišč niso onesnažena z Cd, saj v nobenem hmeljišču ni presežena opozorilna imisijska vrednost, prikazano na Slika 17.

Vsebnost Cd na izbranih hmeljiščih in mejne vrednosti za Cd



Slika 17: Vsebnost Cd na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Cd.

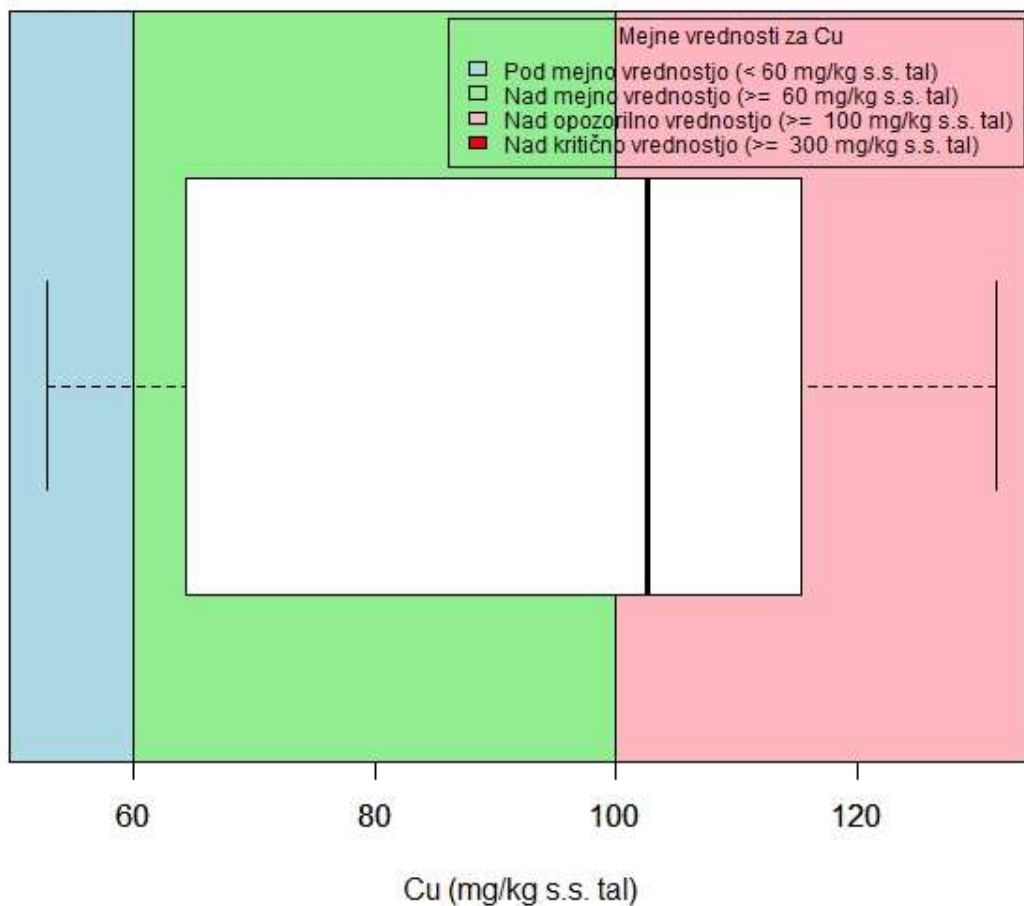
4.1.2 Baker

Vsebnost Cu v hmeljiščih je višja v primerjavi z Uredbo in sega v nekaj primerih nad opozorilno vrednost, vendar pa noben vzorec ne presega kritične vrednosti.

V vzetih vzorcih povprečna vrednost Cu znaša 94,90 mg/kg s.s. tal, mediana vzorcev pa je 102,70 mg/kg s.s. tal. Najvišja izmerjena vsebnost bakra je bila 131,50 mg/kg s.s. tal v vzorcu Hmeljišče 5, medtem ko je bila najnižja vsebnost bakra v vzorcu Hmeljišče 10, kjer je znašala 52,90 mg/kg s.s. tal.

Vsebnost bakra v Hmeljišču 9 in 10 ne presega mejne imisijske vrednosti, v hmeljiščih 6, 7 in 8 je presežena mejna imisijska vrednost, omenjena hmeljišča pa niso onesnažena z Cu. V preostalih petih hmeljiščih je bila presežena opozorilna imisijska vrednost, ta hmeljišča pa so onesnažena z Cu. Vsebnosti Cu so prikazane na Slika 18.

Vsebnost Cu v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline



Slika 18: Vsebnosti Cu na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Cu.

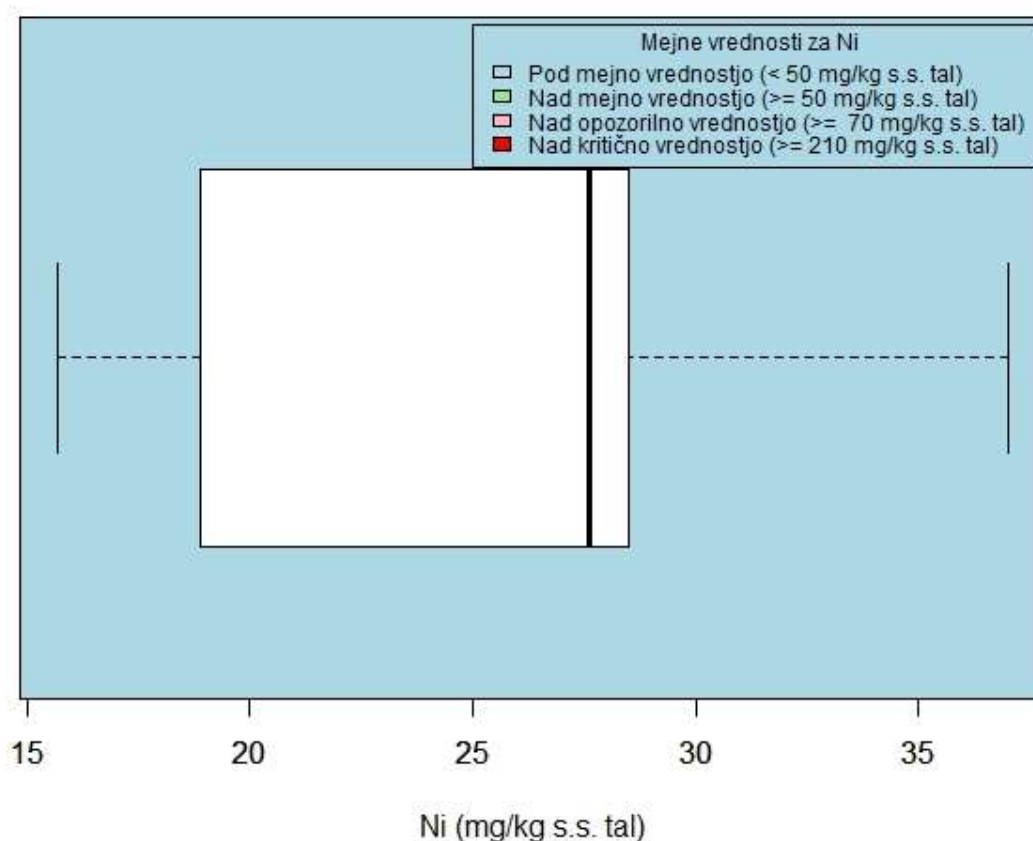
4.1.3 Nikelj

Vsebnosti Ni ne presegajo mejne vrednosti glede na Uredbo v nobenem izmed izbranih hmeljišč.

Povprečna vrednost Ni v izbranih hmeljiščih je 25,70 mg/kg s.s. tal in mediana vzorcev je 27,60 mg/kg s.s. tal. Najnižje koncentracije so bile zaznane v Hmeljišču 9 z vrednostjo 15,70 mg/kg s.s. tal, najvišja vrednost pa je bila zaznana v Hmeljišču 6 in sicer 37,00 mg/kg s.s. tal. vsebnosti Ni v hmeljiščih so prikazane na Slika 19.

Mejna imisijska vrednost za Ni ni presežena, s čimer lahko potrdimo, da tla hmeljišč niso onesnažena z Ni.

Vsebnost Ni v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline



Slika 19: Vsebnosti Ni na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Ni.

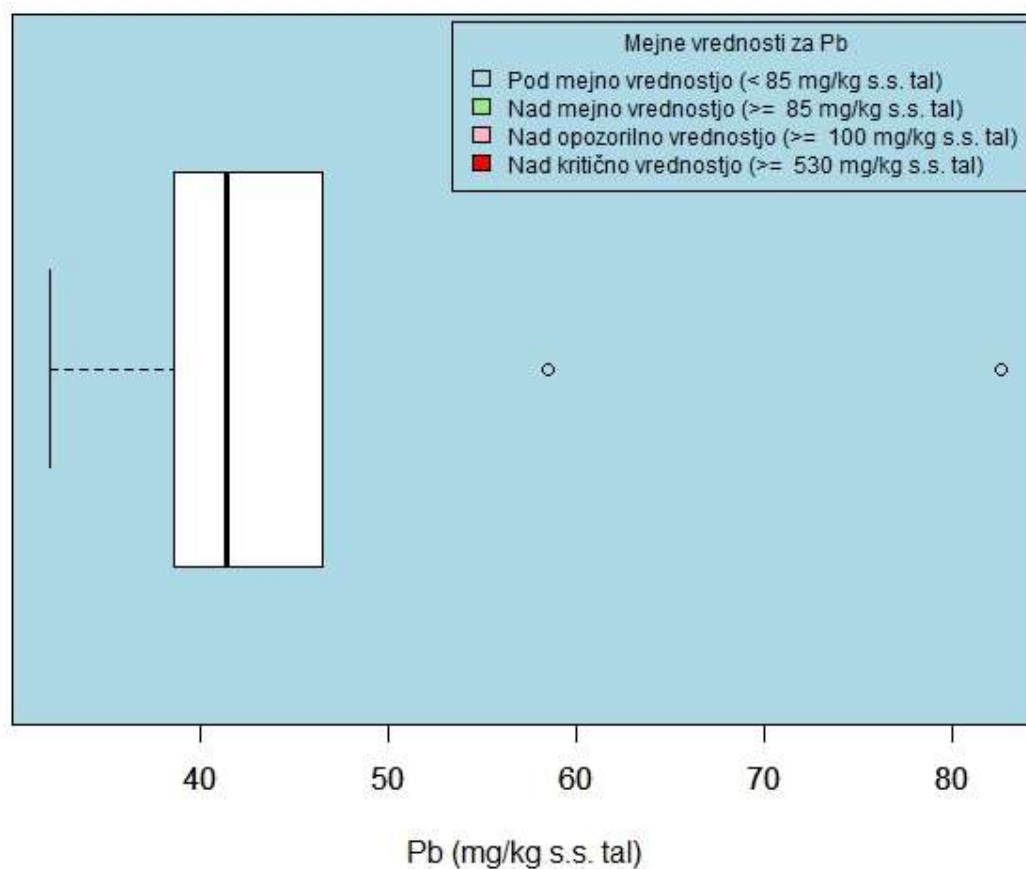
4.1.4 Svinec

Vsebnost Pb v vzorcih ni prekoračila mejne imisijske vrednosti glede na Uredbo.

Povprečna vsebnost Pb v vzorcih je 45,70 mg/kg s.s. tal. Mediana znaša 41,40 mg/kg s.s. tal. Najvišja vrednost Pb je bila zaznana v vzorcu Hmeljišče 2, in sicer 82,60 mg/kg s.s. tal. Najnižja vsebnost je bila izmerjena v vzorcu Hmeljišče 5 z vrednostjo 32,10 mg/kg s.s. tal. Vsebnosti Pb so prikazane na Slika 20.

Tla hmeljišč niso onesnažena s Pb.

Vsebnost Pb v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline



Slika 20: Vsebnosti Pb na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Pb.

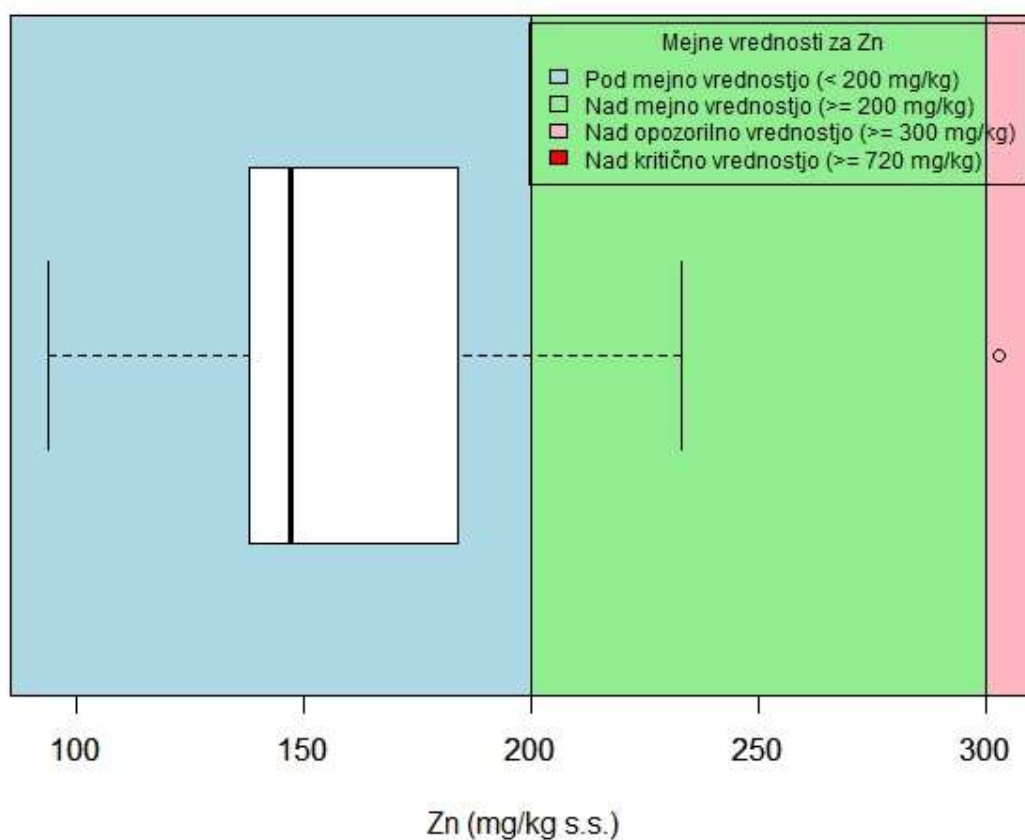
4.1.5 Cink

Glede na Uredbo je v enem od vzorcev vsebnost Zn presegala opozorilno vrednost.

Povprečna vsebnost Zn v vzorcih je 167,50 mg/kg s.s. tal, mediana pa 147,00 mg/kg s.s. tal. Najvišje izmerjena vsebnost je bila v Hmeljišču 2, in sicer 303,00 mg/kg s.s. tal. Najnižja vsebnost je bila 94,00 mg/kg s.s. tal v Hmeljišču 8.

Vsebnosti v vzorcih iz Hmeljišč 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ne presegajo mejne imisijske vrednosti glede na Uredbo in so tla neonesnažena s Zn. Vsebnost Zn v Hmeljišču 1 presega mejno imisijsko vrednost, tla so prav tako neonesnažena s Zn. Vsebnosti Zn so prikazane na Slika 21. V Hmeljišču 2 vsebnost Zn v tleh presega opozorilno imisijsko vrednost glede na Uredbo, ta tla so onesnažena s Zn.

Vsebnost Zn na izbranih hmeljiščih in mejne vrednosti za Zn



Slika 21: Vsebnosti Zn na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Zn.

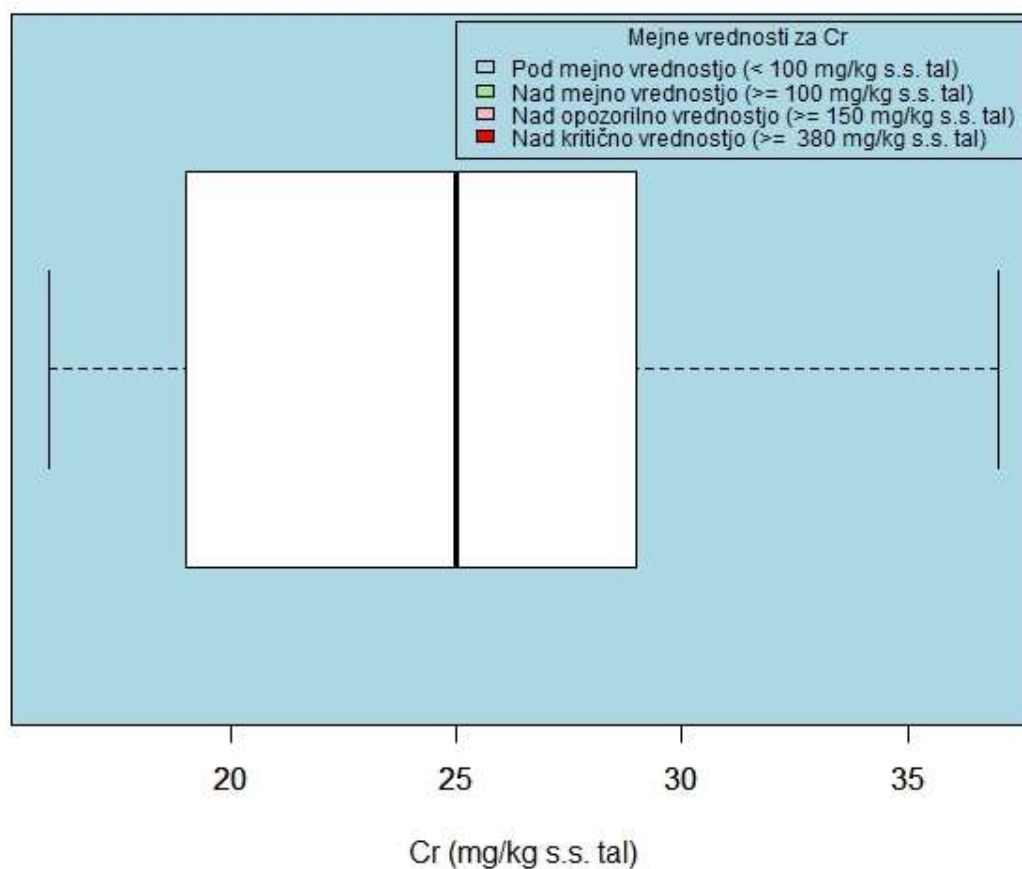
4.1.6 Krom

Vrednosti Cr v tleh izbranih hmeljišč ne presegajo mejne vrednosti glede na Uredbo.

Povprečna vrednost vzorcev je 24,8 mg/kg s.s. tal in mediana vzorcev je 25,0 mg/kg s.s. tal. Najvišja vrednost Cr je bila zaznana v Hmeljišču 6, in sicer 37,0 mg/kg s.s. tal. Najnižja vrednost, ki smo jo zaznali, je bila 16,0 mg/kg s.s. tal, zaznana v Hmeljišču 7 in Hmeljišču 8. Vsebnosti Cr so prikazane na Slika 22.

Tla v hmeljiščih so neonesnažena s Cr.

Vsebnost Cr v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline



Slika 22: Vsebnost Cr na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Cr.

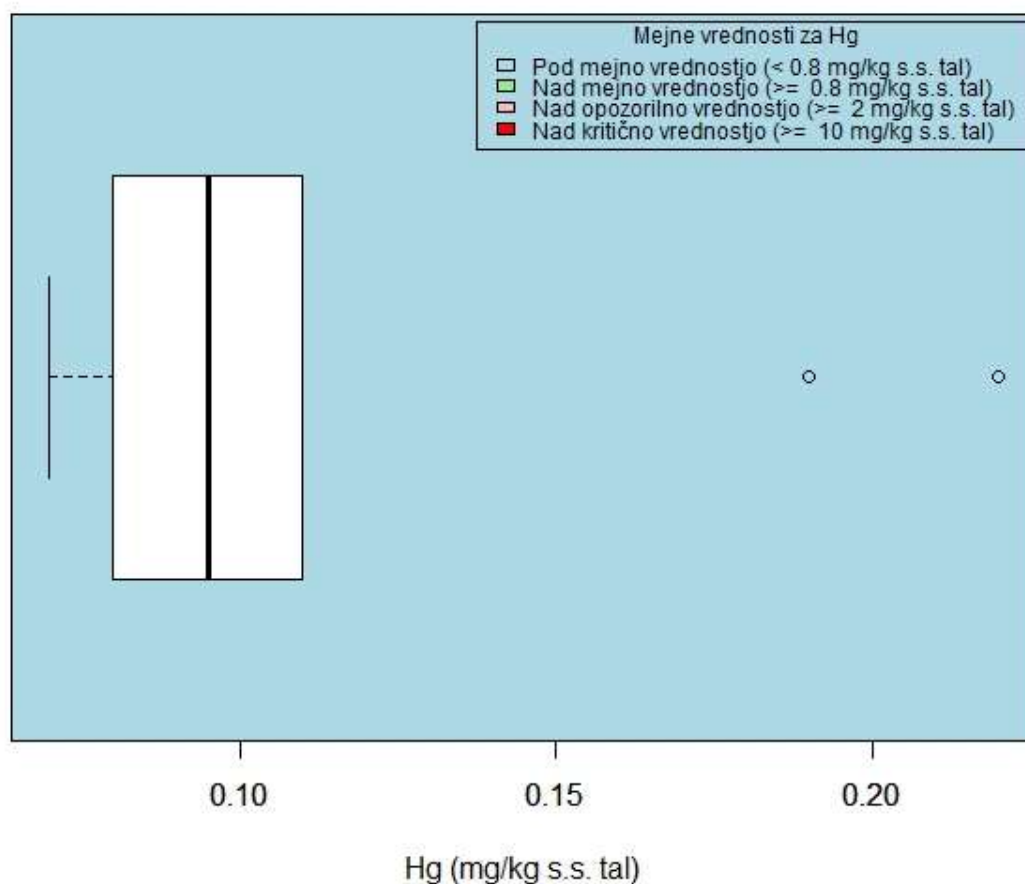
4.1.7 Živo srebro

Vsebnost Hg v vzorcih tal ne presega mejne imisijske vrednosti, prikazano na Slika 23.

Povprečna vrednost Hg v vseh 10 vzetih vzorcih je 0,1 mg/kg s.s. tal in mediana je 0,1 mg/kg s.s. tal. Vsebnost Hg v vzorcih je izredno nizka in ne presega vsebnosti 0,2 mg/kg s.s. tal, ki smo jo zabeležili v Hmeljišču 5. Najnižja izmerjena vsebnost je 0,07 mg/kg s.s. tal, in sicer v Hmeljišču 8.

Vsebnost Hg ne presega mejne imisijske vrednosti v vzorcih hmeljišč, tla so neonesnažena s Hg.

Vsebnost Hg v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline



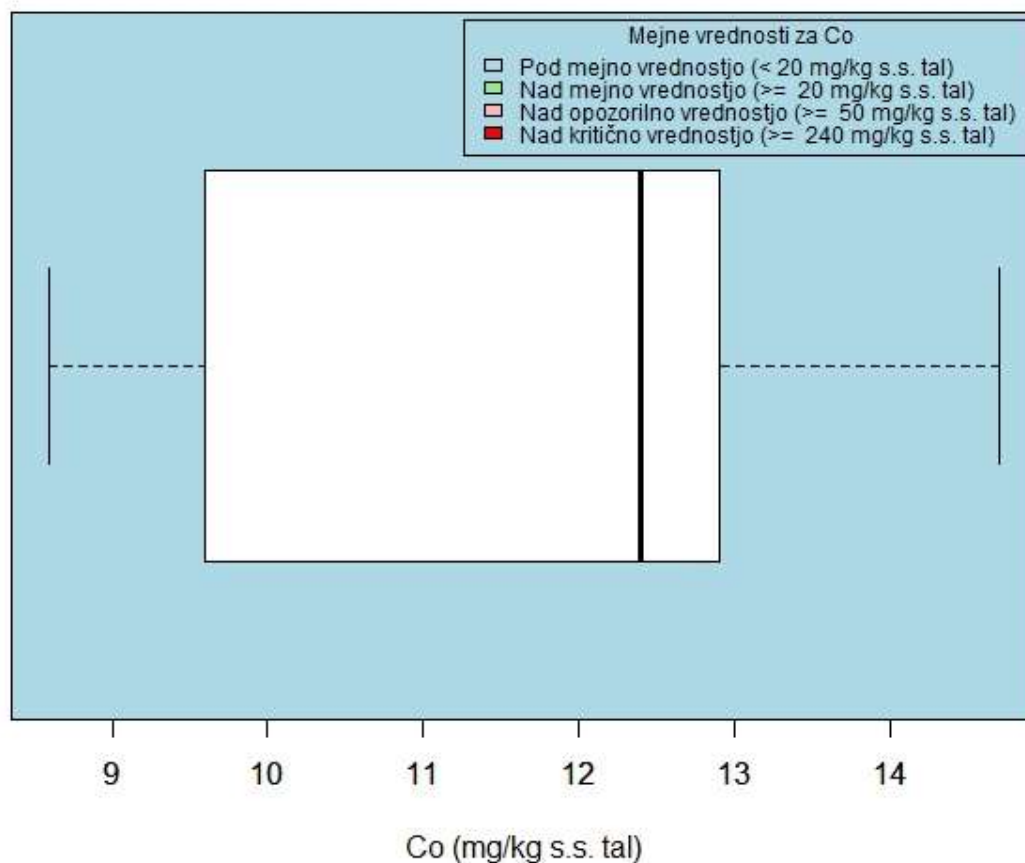
Slika 23: Vsebnost Hg na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Hg.

4.1.8 Kobalt

Povprečna vsebnost Co v vzorcih je 11,60 mg/kg s.s. tal, mediana pa znaša 12,40 mg/kg s.s. tal. Vsebnost Co v vzorcih je v območju od 8,60 mg/kg s.s. tal v Hmeljišču 8 do 14,70 mg/kg s.s. tal v Hmeljišču 6. Vsebnosti so prikazane na Slika 24. Vsebnost Co v tleh vseh vzorčenih hmeljišč je pod mejno vrednostjo glede na Uredbo.

Tla hmeljišč so neonesnažena s Co.

Vsebnost Co v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline



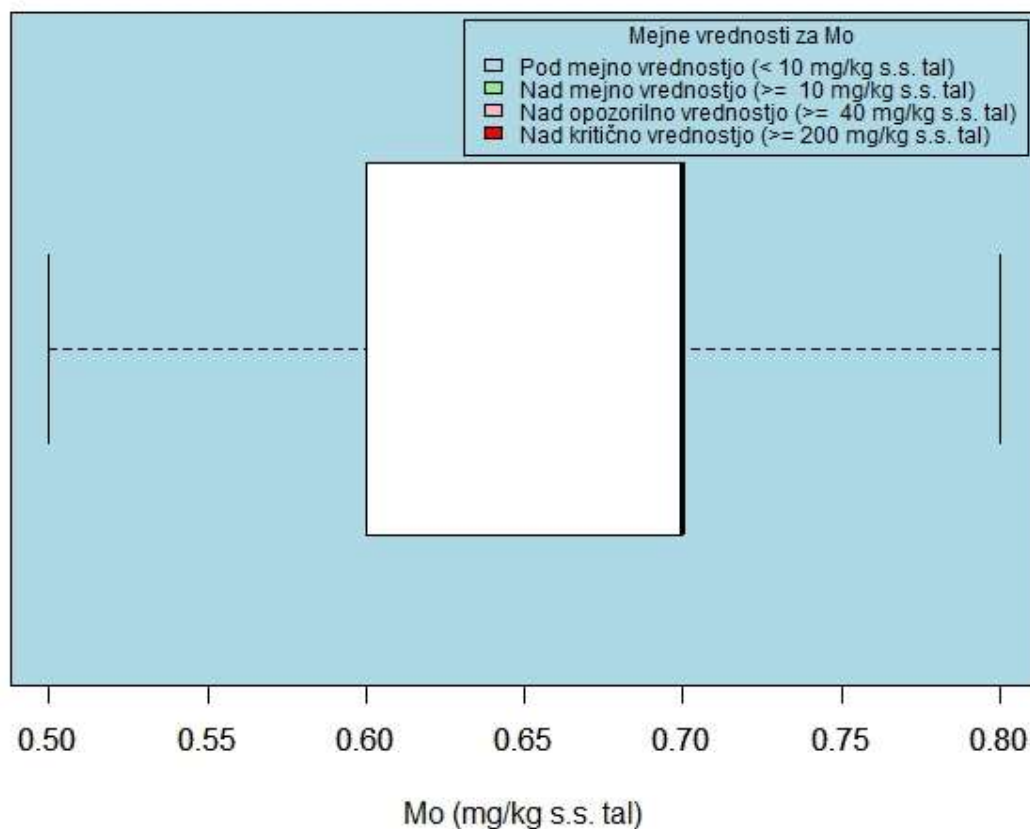
Slika 24: Vsebnost Co na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednost za Co.

4.1.9 Molibden

Povprečje Mo v vzorcih je 0,7 mg/kg s.s. tal in mediana vzorcev je 0,7 mg/kg s.s. tal. Vsebnost Mo v vseh vzorcih hmeljišč je izredno nizka in ne presega 0,8 mg/kg s.s. tal. V Hmeljišču 3 je bila izmerjena najvišja vsebnost Mo, ki je znašala 0,8 mg/kg s.s. tal. Najnižja vsebnost Mo je v Hmeljiščih 5 in 10 ter znaša 0,5 mg/kg s.s. tal. Vsebnosti so prikazane na Slika 25.

Vsebnost Mo ne presega mejne imisijske vrednosti, tla hmeljišč so neonesnažena z Mo.

Vsebnost Mo v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline



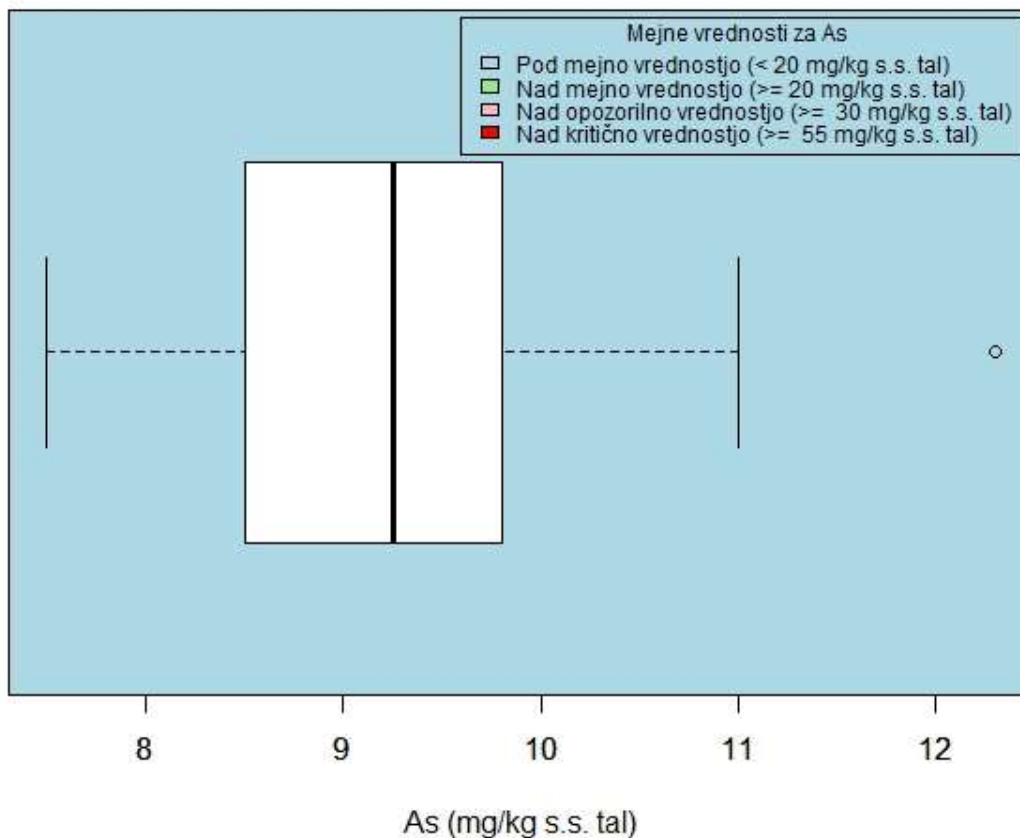
Slika 25: Vsebnosti Mo na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za Mo.

4.1.10 Arzen

Vsebnost As v vseh desetih vzorcih ne presega mejne imisijske vrednosti. Povprečna vsebnost v vzorcih je 9,40 mg/kg s.s. tal in mediana je 9,30 mg/kg s.s. tal. Najvišja izmerjena vsebnost As je bila v vzorcu Hmeljišča 6 in je znašala 12,30 mg/kg s.s. tal. Najnižja vsebnost As znaša 7,50 mg/kg s.s. tal v Hmeljišču 9.

Tla hmeljišč so neonesnažena z As, kar je prikazano na Slika 26.

Vsebnost As v tleh izbranih hmeljišč Spodnje Savinjske doline

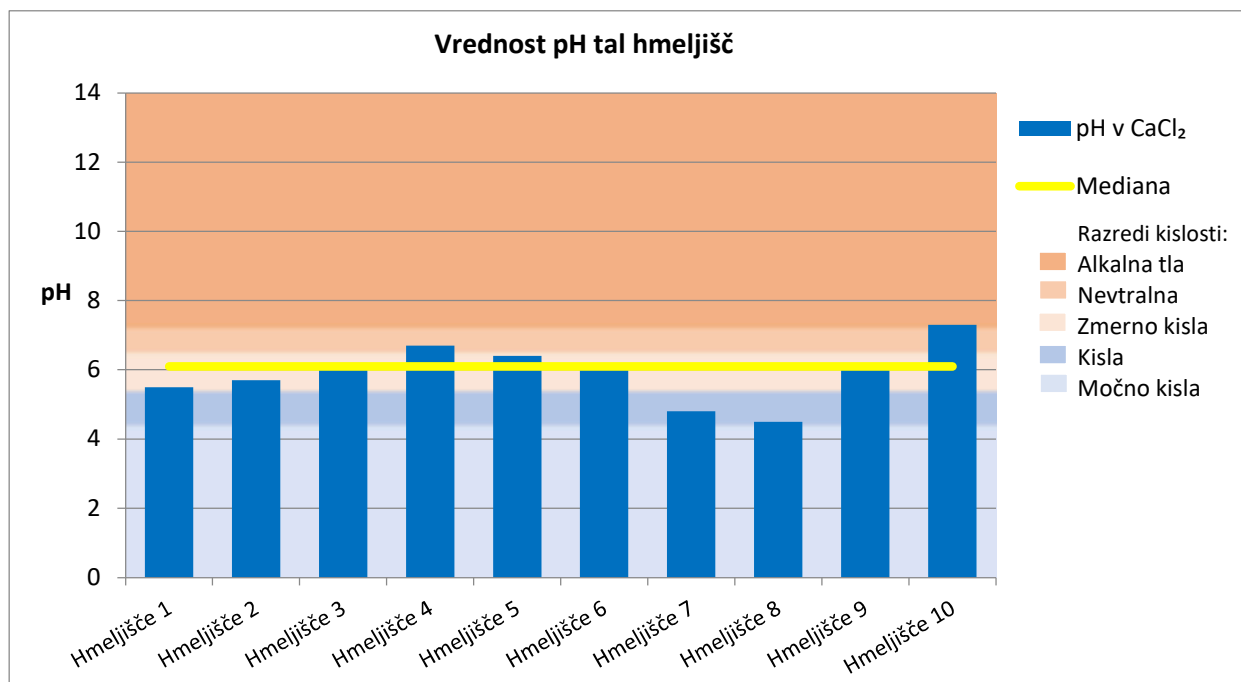


Slika 26: Vsebnosti As na izbranih hmeljiščih in mejne imisijske vrednosti za As.

4.2 Standardna pedološka analiza

4.2.1 Vrednost pH tal

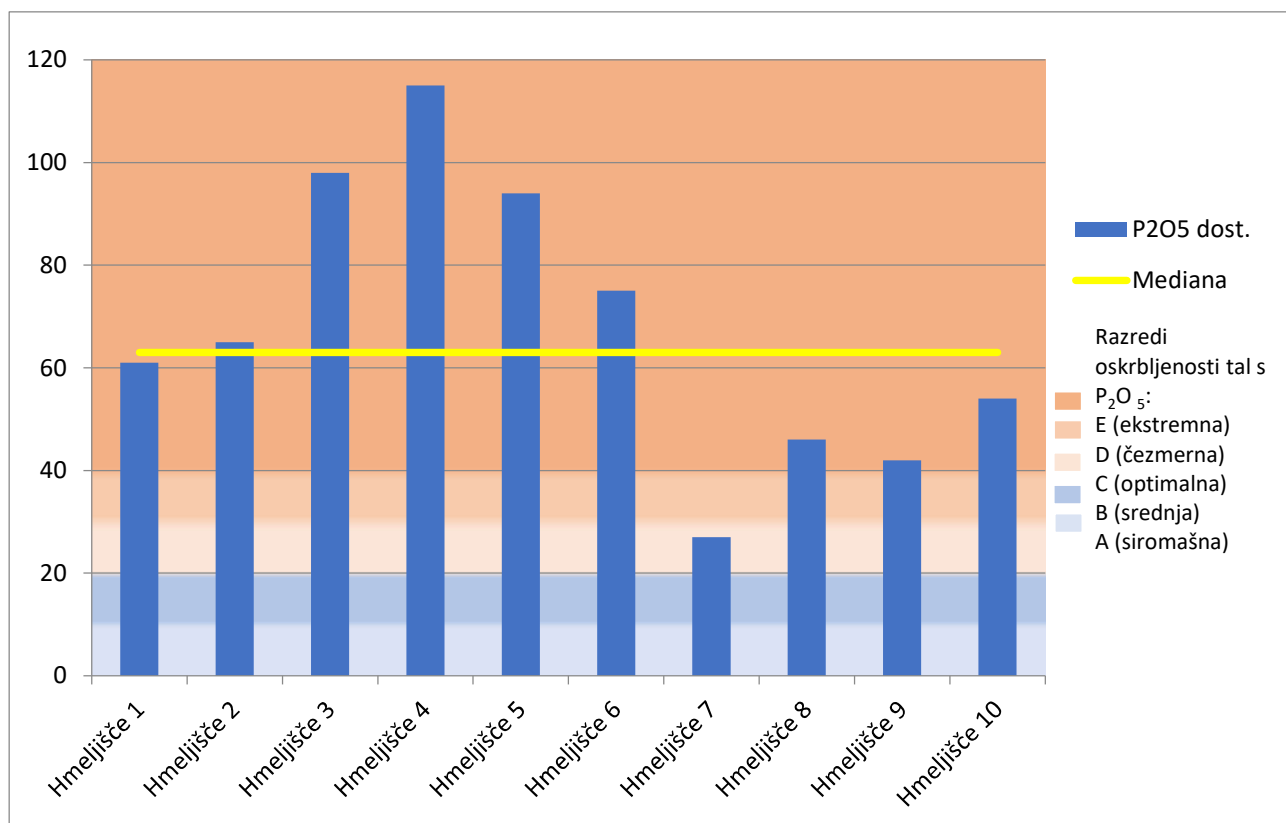
Kislost tal se razlikuje po posameznih hmeljiščih. Povprečna vrednost pH izmerjena v raztopini CaCl_2 v hmeljiščih je 5,9. Hmeljišče 1 z vrednostjo pH 5,5, Hmeljišče 7 s pH 4,8 in Hmeljišče 8 s pH vrednostjo 4,5 imajo najnižjo vrednost pH med izbranimi hmeljišči. Najmanj so kislila tla v Hmeljišču 10 (pH = 7,3). Vrednost pH v Hmeljiščih 2, 3, 4, 5, 6 in 9 je med 5,7 in 6,7.



Graf 1: Vrednost pH tal hmeljišč z razredi kislosti.

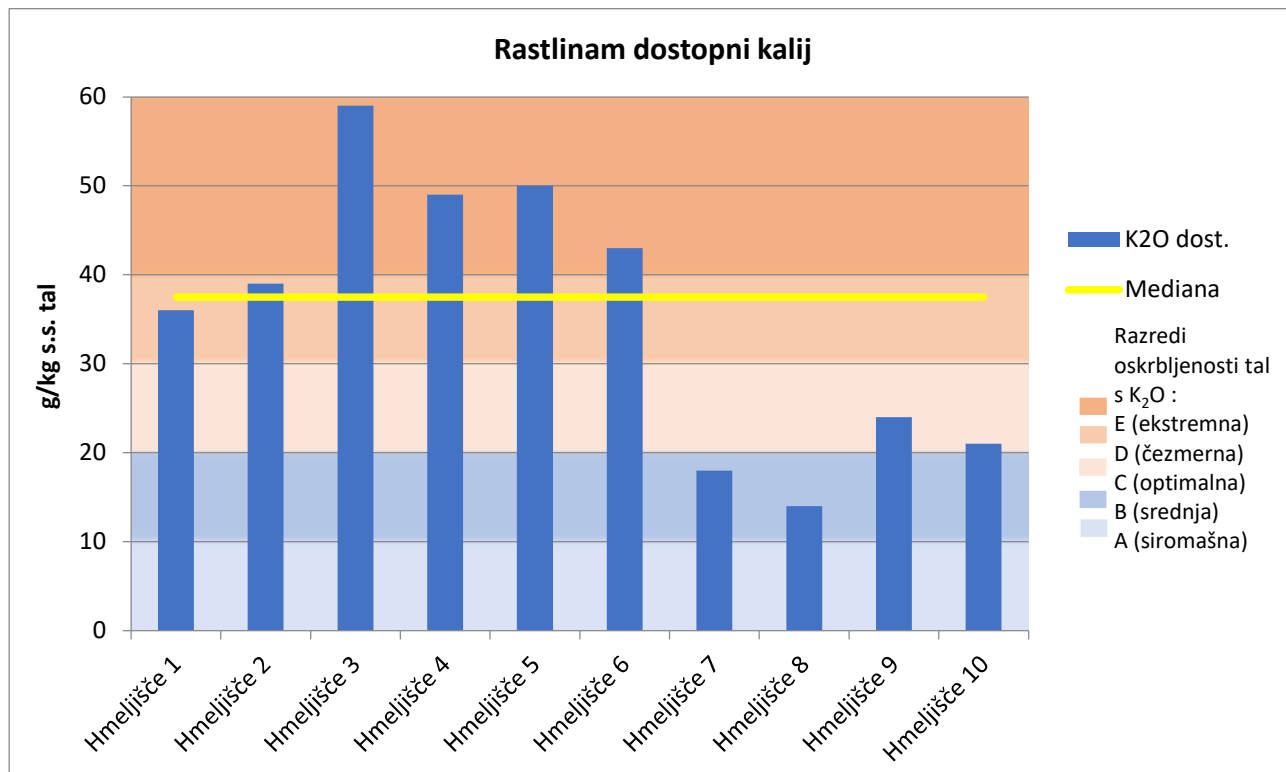
4.2.2 Vsebnost rastlinam dostopnega fosforja in kalija v tleh hmeljišč

Povprečna vsebnost rastlinam dostopnega fosforja je 67,7 mg/100 g s.s. tal. Vsebnost dostopnega fosforja se razlikuje od hmeljišča do hmeljišča, pri čemer je opaziti velike razlike med najnižjo in najvišjo vsebnostjo. Hmeljišče z najvišjo vsebnostjo fosforja je Hmeljišče 4 z vsebnostjo P_2O_5 115 mg/100 g s.s. tal (razred preskrbljenosti E), medtem ko najnižja vsebnost znaša 27 mg/100 g s.s. tal v Hmeljišču 7 (razred preskrbljenosti C).



Graf 2: Koncentracija rastlinam dostopnega fosforja z razredi založenosti tal s fosforjem.

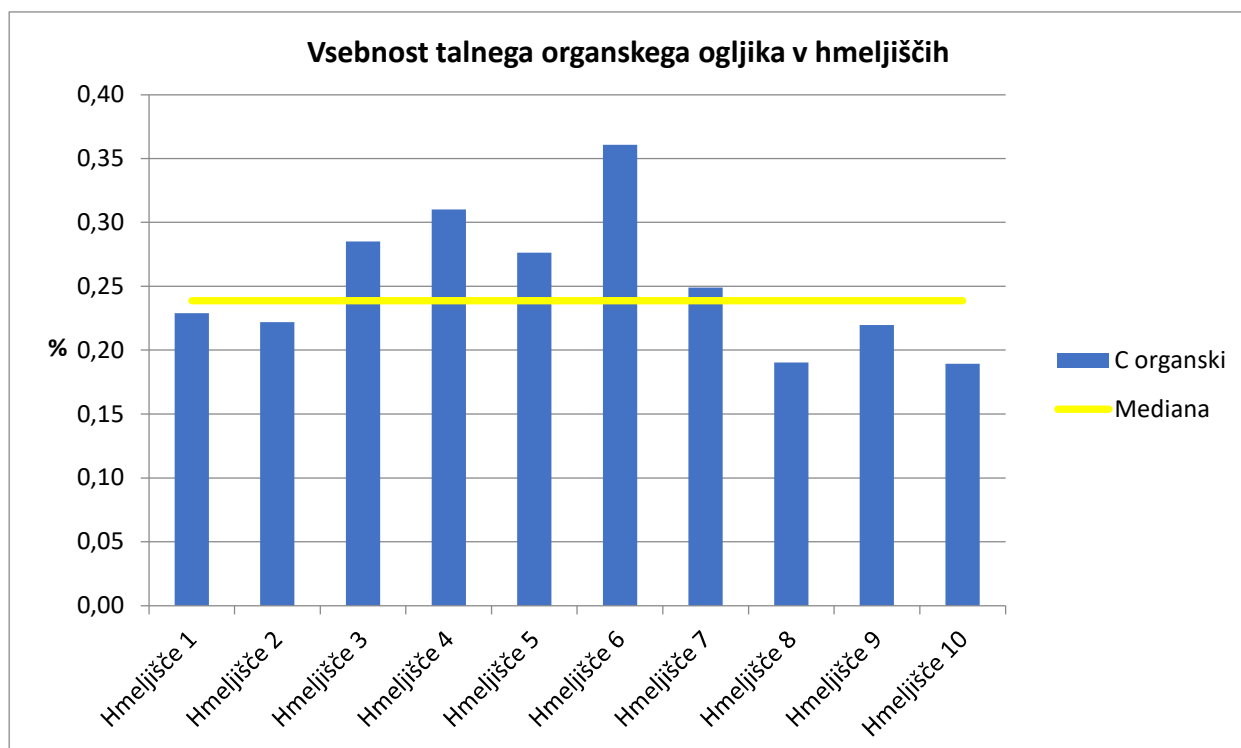
Povprečna vsebnost rastlinam dostopnega kalija v tleh hmeljišč je 35,3 mg/100 g s.s. tal. Najvišja vsebnost je v Hmeljišču 3 in sicer 59 mg/100 g s.s. tal (razred preskrbljenosti E), najnižja vsebnost kalija pa je 14 mg/100 g s.s. tal v Hmeljišču 8 (razred preskrbljenosti B).



Graf 3: Koncentracija rastlinam dostopnega kalija z razredi založenosti tal s kalijem.

4.2.3 Vsebnost talnega organskega ogljika

Mediana vsebnosti talnega organskega ogljika v tleh hmeljišč je 0,20 %. Najvišja vsebnost je v Hmeljišču 6, 0,36 %. Najnižja vsebnost je v Hmeljišču 8 in 10 je 0,19 %.



Graf 4: Prikaz vsebnosti talnega organskega ogljika v tleh.

5 RAZPRAVA IN POVZETEK

5.1 Interpretacija rezultatov meritev TK v tleh obravnavanih hmeljišč

Težke kovine (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Hg, Co, Mo, As), ki so z zakonodajo opredeljene in imajo v Uredbi določene mejne, opozorilne in kritične vrednosti, smo primerjali z rezultati analize TK v tleh. Ugotovili smo, da vsebnost težkih kovin Ni, Pb, Cr, Hg, Co, Mo, As v tleh hmeljišč ne presega mejnih imisijskih vrednosti snovi v tleh glede na Uredbo. Tako lahko sklepamo, da hmeljišča niso onesnažena z omenjenimi težkimi kovinami.

Vsebnost kovin Cd, Cu in Zn **prekoračujejo mejne imisijske vrednosti**, ki so določene z Uredbo.

Vsebnost Cd v tleh hmeljišč v 90 % vzorcev presega mejno imisijsko vrednost določeno z Uredbo. Povišana vsebnost Cd je lahko posledica vnašanja Cd v tla hmeljišč z mineralnimi gnojili (Simončič idr., 2009). Tla v hmeljišč s povišanimi vsebnostmi Cd po Uredbi ne veljajo za onesnažena, ker vsebnost Cd ne presega opozorilne imisijske vrednosti (2 mg/kg s.s. tal).

Vsebnost Cu v tleh hmeljišč **prekoračuje opozorilno imisijsko vrednost** v 50 % vzorcev hmeljišč. Omenjena hmeljišča so onesnažena z Cu. Razlogov za višjo vsebnost Cu v tleh je več, eden izmed njih je lahko dolgoletna uporaba FFS na osnovi Cu, ki zatirajo bolezni, predvsem hmeljevo peronosporo (Simončič idr., 2009). Vnašanje Cu v tla hmeljišč je možno tudi z uporabo organskih gnojil, ki so obogatena z Cu (Mihelič idr., 2009).

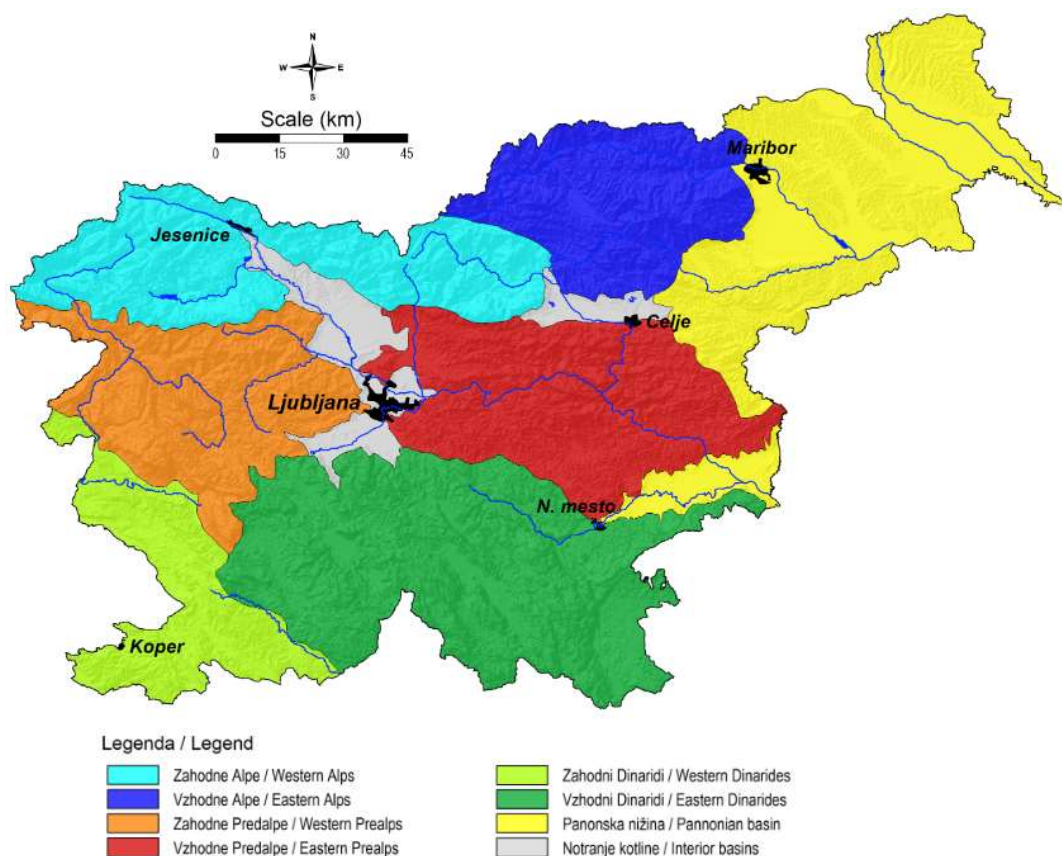
Vsebnost Zn v hmeljišču 1 **prekoračuje opozorilno imisijsko vrednost** glede na Uredbo. Tla v omenjenem hmeljišču so onesnažena z Zn. V kmetijska tla se Zn vnaša z različnimi organskimi in mineralnimi gnojili, ki so onesnažena z Zn (Zupan idr., 2008).

5.1.1 Primerjava rezultatov TK v tleh obravnavanih hmeljišč z raziskavami

5.1.1.1 Opis vzorčenja raziskav Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije

V raziskavi Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije so sistematično vzorčenje izvajali v mreži 5 x 5 km na območju celotne Slovenije. Skupno je bilo 817 vzorcev, odvzetih na globini od 0 do 10 cm, za katere je izračunana mediana in zgornje meje naravne variabilnosti (Priloga 5). Vzorce so razdelili na osem prostorskih enot (Zahodne Alpe, Vzhodne Alpe, Zahodne Predalpe, Vzhodne Predalpe, Zahodni Dinaridi, Vzhodni Dinaridi, Panonska nižina, Notranje kotline), ki so jih določili glede na geološko zgradbo, relief, kamninsko zgradbo in rastlinstvo. Slika 27 prikazuje porazdelitev Slovenije na osem prostorskih enot.

V naši raziskavi smo s to raziskavo primerjali rezultate za celotno Slovenijo (v nadaljevanju Slovenija) in rezultate za prostorsko enoto Notranje kotline (Priloga 6). Rezultati median za Notranje kotline (v nadaljevanju Notranje kotline) so rezultat 38 vzorcev tal (Gosar idr., 2019).



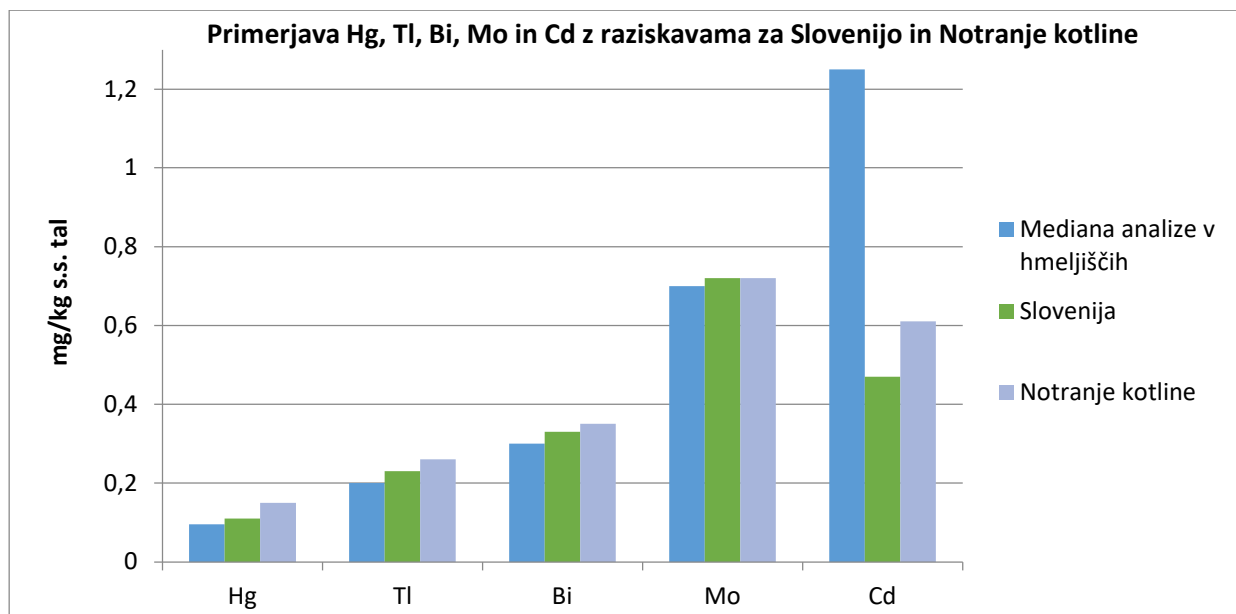
Slika 27: Razdelitev Slovenije na osem prostorskih enot (Gosar idr., 2019).

5.1.1.2 Primerjava naših rezultatov z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline

Na grafu 5 so prikazane vrednosti median živega srebra (Hg), talija (Tl), bizmuta (Bi), molibdena (Mo) in kadmija (Cd). Vsebnost težkih kovin Hg, Tl, Bi in Mo ne presega median, prikazanih v raziskavi Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline.

Cd ima višjo vsebnost, kot je vsebnost Cd v raziskavi za Slovenijo in Notranje kotline. Glede na možen vir Cd predvidevamo, da je lahko razlog gnojenje kmetijskih tal z onesnaženimi mineralnimi gnojili.

Za kovine (Hg, Tl, Bi, Mo), ki imajo nižjo vsebnost v tleh v primerjavi z raziskavo Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline, tako lahko predvidevamo, da kmetijstvo ni vir antropogenega onesnaževanja tal z omenjenimi kovinami.



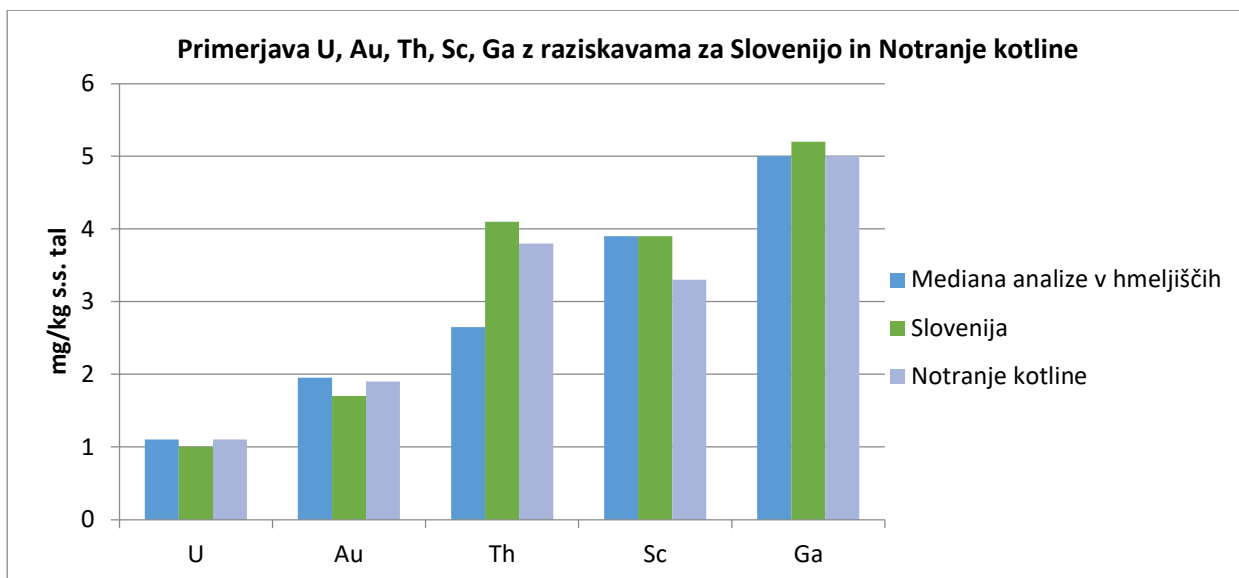
Graf 5: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Hg, Tl, Bi, Mo in Cd.

Prikaz vrednosti Hg, Tl, Bi, Mo in Cd iz hmeljišč z ostalimi raziskavami. Elementi v hmeljiščih – analiza Aqua regia, Notranje kotline – mediane vzorcev iz raziskava Geokemičnega ozadja tal, Slovenija – mediane iz raziskava Geokemičnega ozadja.

Na grafu 6 so predstavljeni rezultati vsebnosti urana (U), zlata (Au), torija (Th), skandija (Sc) in galija (Ga). Vsebnost kovin Th, Sc in Ga v tleh hmeljišč ne odstopa od vrednosti v raziskavi v Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline. Predvidevamo lahko, da so te kovine v tleh torej predvsem naravno prisotne.

Mediana kovine U je enaka v analizi hmeljišč in v raziskavi za Notranje kotline, obe vrednosti pa sta višji od raziskave za Slovenijo. Tla na karbonatnih kamninah imajo pogosteje višje vsebnosti kovine U od slovenskega povprečje, kar je lahko razlog za višje vsebnosti U v raziskavi Notranje kotline in analizi hmeljišč (Gosar idr., 2019).

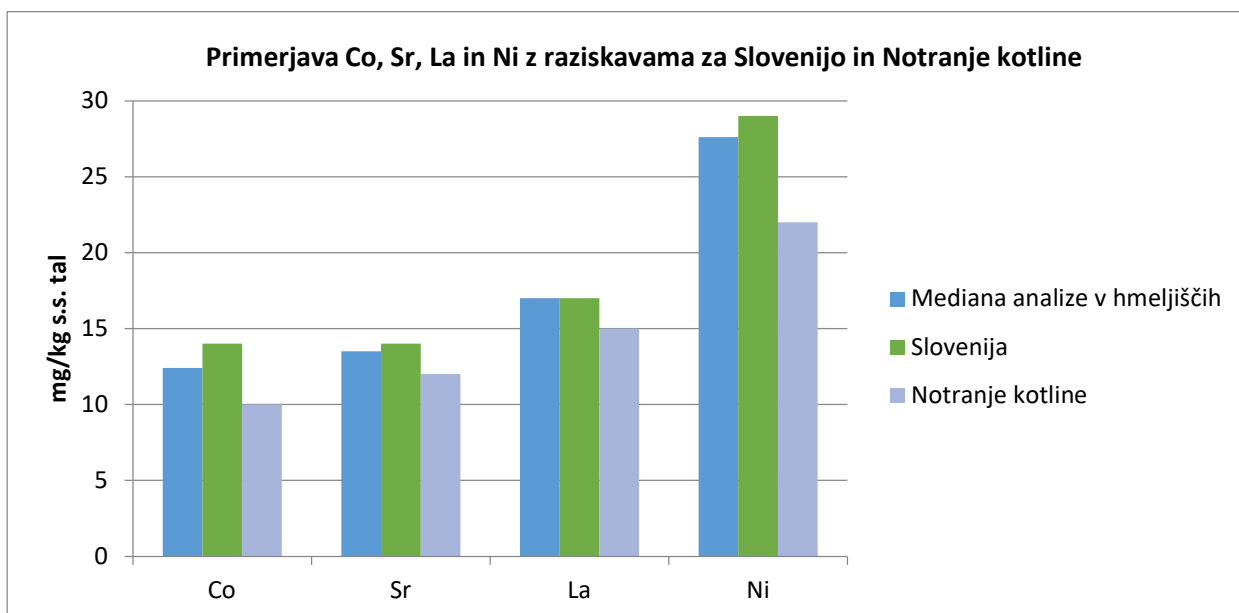
Za višjo vsebnost Au v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline v primerjavi z rezultati raziskave Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Notranje kotline nimamo razlage.



Graf 6: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: U, Au, Th, Sc, Ga.

Prikaz vrednosti U, Au, Th, Sc in Ga iz hmeljišč z ostalimi raziskavami. Elementi v hmeljiščih – analiza Aqua regia, Notranje kotline – mediane vzorcev iz raziskava Geokemičnega ozadja tal, Slovenija – mediane iz raziskava Geokemičnega ozadja.

Vsebnost kovin kobalta (Co), stroncija (Sr), lantana (La) in niklja (Ni) je predstavljena na grafu 7. Vrednosti ne presegajo tistih v raziskavi Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo, presegajo pa vsebnosti raziskave za Notranje kotline. Z mineralnimi gnojili, ki so slabše kakovosti in imajo primesi kovin Co in Ni, lahko v tla vnesemo omenjeni kovini, kar je lahko razlog za višje vsebnosti. Za višjo vsebnost kovin Sr in La v tleh hmeljišč nimamo razlage. Iz rezultatov ne moremo potrditi, da je kmetijstvo vir antropogenega onesnaževanja tal z omenjenimi kovinami, saj v primerjavi z rezultati Slovenije ne odstopajo oziroma so vsebnosti kovin enake / nižje.

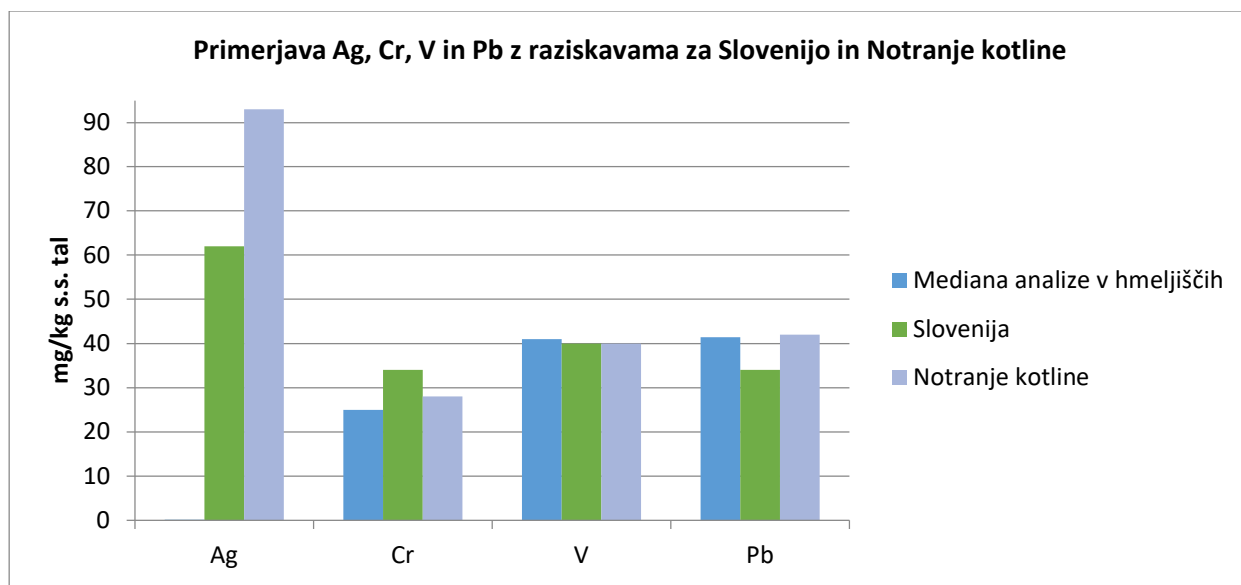


Graf 7: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Co, Sr, La in Ni

Prikaz vrednosti Co, Sr, La in Ni iz hmeljišč z ostalimi raziskavami. Elementi v hmeljiščih – analiza Aqua regia, Notranje kotline – mediane vzorcev iz raziskava Geokemičnega ozadja tal, Slovenija – mediane iz raziskava Geokemičnega ozadja.

Graf 8 prikazuje vsebnost kovin srebra (Ag), kroma (Cr), vanadija (V) in svinca (Pb). Vsebnost kovin Ag in Cr je nižja v primerjavi z raziskavo Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline. Kovina V je geogeni element, kar je lahko razlog za primerljivo vsebnost glede na raziskavo Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline.

Vsebnost Pb v tleh je nižja glede na raziskavo za Notranje kotline. V preteklosti so uporabljali FFS in gnojila na osnovi Pb, kar je lahko eden izmed razlogov za njegovo prisotnost v tleh (Zupan idr., 2008).



Graf 8: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Ag, Cr, V in Pb.

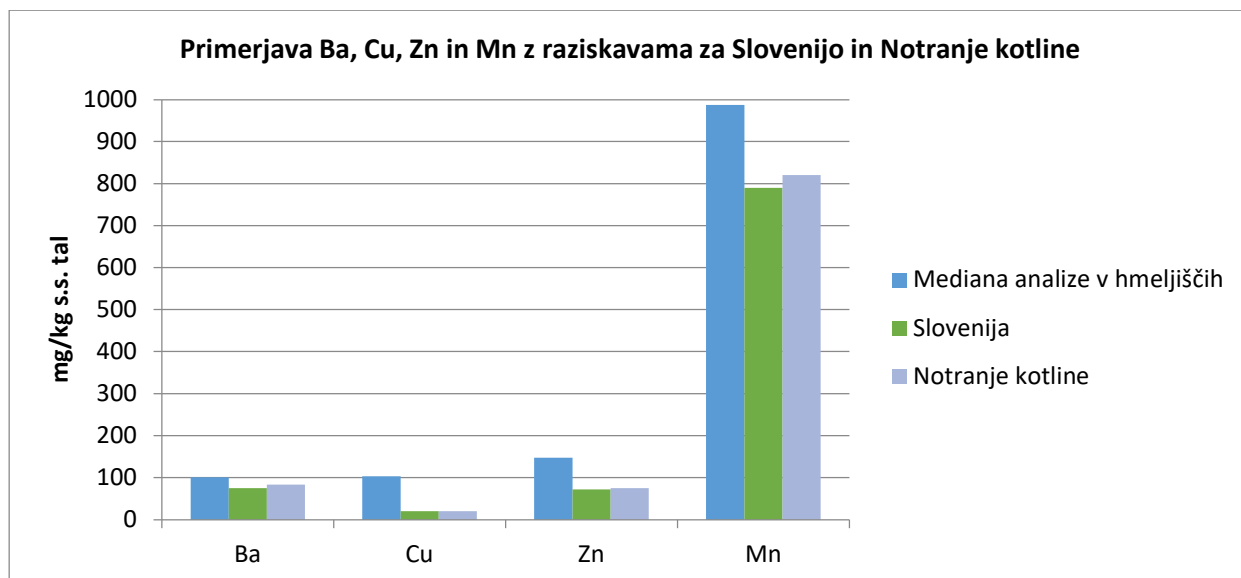
Prikaz vrednosti Ag, Cr, V in Pb iz hmeljišč z ostalimi raziskavami. Elementi v hmeljiščih – analiza Aqua regia, Notranje kotline – mediane vzorcev iz raziskava Geokemičnega ozadja tal, Slovenija – mediane iz raziskava Geokemičnega ozadja.

Vsebnost barija (Ba), mangana (Mn), bakra (Cu) in cinka (Zn) je prikazana na grafu 9. Vrednosti kovin Ba, Mn, Cu in Zn so višje glede na ostale vrednosti rezultatov iz raziskave Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline.

Višjo vsebnost Cu lahko pripisujemo FFS, ki so na osnovi te kovine, in organskim gnojilom, ki lahko vsebujejo višje vsebnosti Cu. Višje vsebnosti Cu so lahko tudi posledica pogoste uporabe bakrovih pripravkov v preteklosti za preprečevanje hmeljeve peronospore. Cu se v tleh kopiči in se ne spira, kar prispeva k višji vsebnosti te kovine v tleh.

Višjo vsebnost Mn in Zn v vzorcih lahko delno pripišemo antropogenemu onesnaževanju ter uporabi različnih mineralnih in organski gnojil v kmetijstvu (Zupan idr., 2008).

Višjo vsebnost Ba lahko pripišemo uporabi mineralnih gnojil, ki vsebujejo barijeve spojine kot dodatek. Ker so rjava tla v Spodnji Savinjski dolini nastala na karbonatnem pretežno apneno - dolomitnem produ in pesku, imajo lahko kmetijska tla tudi zato višjo vsebnost Mn, Cu in Zn (Gosar idr., 2019).



Graf 9: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Ba, Cu, Zn in Mn.

Prikaz vrednosti Ba, Cu, Zn in Mn iz hmeljišč z ostalimi raziskavami. Elementi v hmeljiščih – analiza Aqua regia, Notranje kotline – mediane vzorcev iz raziskava Geokemičnega ozadja tal, Slovenija – mediane iz raziskava Geokemičnega ozadja tal.

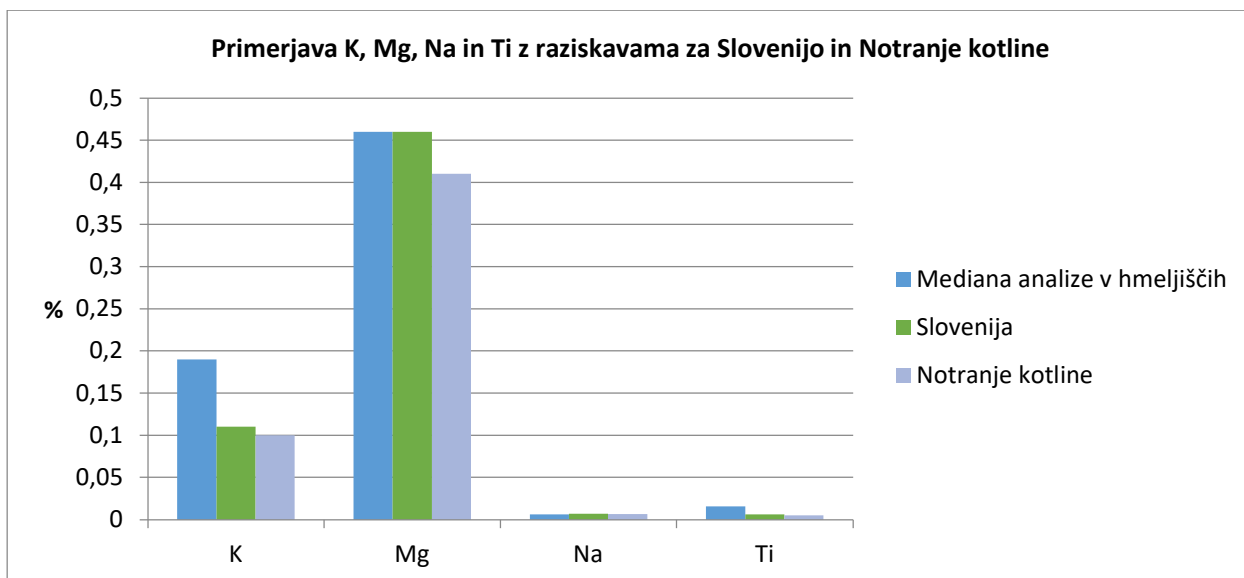
Na grafu 10 je prikazana vsebnost kovin kalija (K), magnezija (Mg), natrija (Na) in titana (Ti). Kovini K in Ti ne presegata vsebnosti glede na raziskavo Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline.

Višjo vsebnost K v tleh lahko pripišemo gnojenju z mineralnimi gnojili, ki vsebujejo K. Kalij je sicer tudi rastlinsko makrohranilo.

Za višjo vsebnost Ti v tleh hmeljišč nimamo razlage.

Vsebnost Mg v tleh presega vsebnost glede na rezultate raziskave Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Notranje kotline, a ne presega vsebnosti za celotno Slovenijo. Tako lahko sklepamo, da so tla v Sloveniji že po naravni poti dobro preskrbljena z Mg. Na vsebnost Mg v tleh hmeljišč pa lahko tudi vplivamo z vnašanjem mineralnih gnojil. Mg je pomembno rastlinsko makrohranilo.

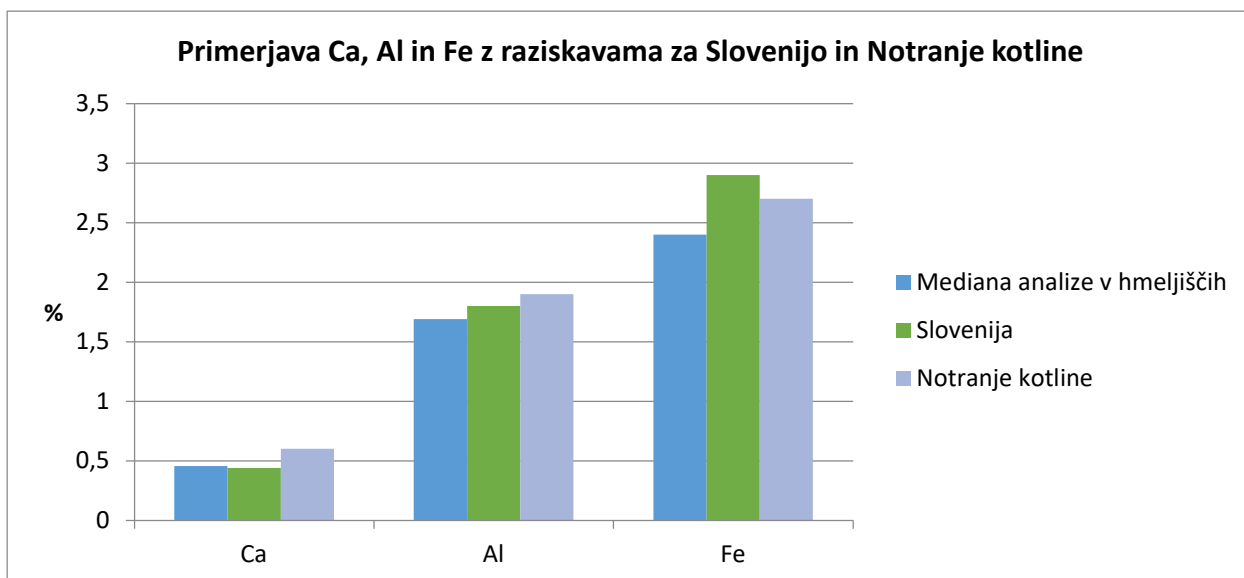
Vsebnosti Na v tleh hmeljišč ne presegajo vrednosti v raziskavi Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline.



Graf 10: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: K, Mg, Na in Ti.

Prikaz vrednosti K, Mg, Na in Ti iz hmeljišč z ostalimi raziskavami. Elementi v hmeljiščih – analiza Aqua regia, Notranje kotline – mediane vzorcev iz raziskava Geokemičnega ozadja tal, Slovenija – mediane iz raziskava Geokemičnega ozadja.

Graf 11 predstavlja vsebnost kovin kalcija (Ca), aluminija (Al) in železa (Fe). Kovini Al in Fe ne presegata nobene vrednosti glede na raziskavo Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije za Slovenijo in Notranje kotline. Vsebnost Ca v tleh hmeljišč je višja kot vsebnost za Slovenijo, vendar ne presega vsebnosti za Notranje kotline. Ca je pomembno rastlinsko makrohranilo, ki zagotavlja optimalno rast rastlin in ga v tla vnašamo z mineralnimi gnojili. Fe je mikrohranilo, ki je v tleh naravno prisoten. V tla ga lahko vnašamo z nekaterimi gnojili.



Graf 11: Prikaz rezultatov analize z raziskavama za Slovenijo in Notranje kotline za TK: Ca, Al in Fe.

Prikaz vrednosti Ca, Al in Fe iz hmeljišč z ostalimi raziskavami. Elementi v hmeljiščih – analiza Aqua regia, Notranje kotline – mediane vzorcev iz raziskava Geokemičnega ozadja tal, Slovenija – mediane iz raziskava Geokemičnega ozadja.

Cd, Zn in Cu so tri težke kovine, ki presegajo vrednosti glede na Uredbo o mejnih vrednostih težkih kovin v tleh, prav tako pa imajo povišane vrednosti glede na rezultate raziskave

Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije (za Slovenijo in Notranje kotline).

Ne glede na višjo vsebnost Cu v tleh hmeljišč, je po raziskavi *White Hop Shoot Production in Slovenia Total Phenolic, Microelement and Pesticide Residue Content in Five Commercial Cultivars* v spomladanskih pogojih hmelja vsebnost bakra majhna in sicer le 2,3 mg/kg sveže mase. Lahko sklepamo, da hmelj ne absorbira vase niti prekomerne količine Cu niti Zn (Vidmar idr., 2019). Raziskave v Italiji so pokazale, da so težke kovine, kot so arzen, kadmij in svinec, v pivu lahko prisotne, vendar ne predstavljajo grožnje za zdravje potrošnikov, saj so vsebnosti nizke (Donadini idr., 2008).

Poleg vseh naštetih možnih onesnaževanj tal v kmetijstvu ne smemo pozabiti na antropogeno onesnaževanje z različno industrijo, izgorevanjem in lokalnim onesnaževanjem (Zupan idr., 2008).

Vezava onesnaževal v tleh, kot so kovine Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, Hg, Mn, je odvisna od biološke aktivnosti tal, vsebnosti organske snovi, strukture, zračno – vodnih razmer. Biološka aktivnost, je največja v organskem delu tal (Vrščaj, 2017). Mikrobiotična razgradnja spojin v organskem delu tal je najpomembnejši postopek razgradnje organskih nevarnih snov (npr. FFS) in v končni fazi poteka do anorganskih komponent (H₂O). Delež organske snovi v tleh ima velik pomen za razgradnjo in usodo nevarnih snovi v tleh (Zupan idr., 2008).

Tla nimajo neomejene možnosti vezave kovin v tleh. Tla postanejo onesnaževalo, ko vnos kovin preseže sposobnost vezave le-teh. Ko se tlom poslabšajo njihove lastnosti (zmanjšanje organske snovi, zakisanost tal, zasičenost z vodo), tla začnejo oddajati prej vezane težke kovine (Vrščaj, 2017).

5.2 Dostopni fosfor, kalij in organski ogljik in kislost tal obravnavanih hmeljišč

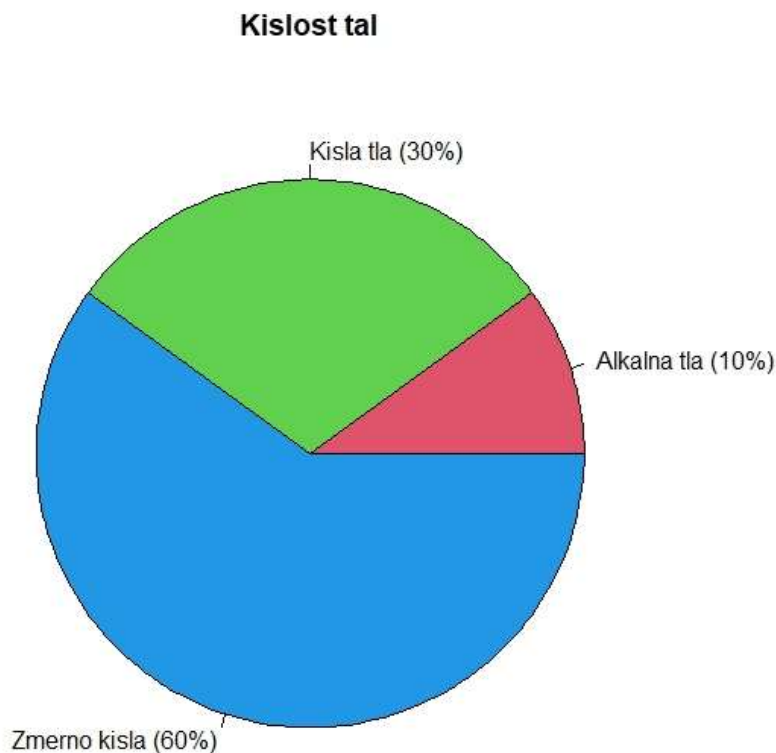
5.2.1 Kislost tal

Optimalna kislost tal je odvisna od teksture tal in vsebnosti humusa. Zaradi pridelka na kmetijskih površinah, delno kislega dežja in izpiranja bazičnih kationov (Mg in Ca) ter fiziološkega kislega delovanja gnojil, je potrebno vrednost pH tal kontrolirati in po potrebi apniti (Mihelič idr., 2009).

Vrednosti pH v vzorcih so z izjemo štirih vzorcev v območju zmerno kislih tal, torej med pH 5,6 in 6,7. Slika 28 prikazuje porazdelitev vzorcev glede na razrede kislosti. Prevladujejo tla, ki so zmerno kisla oz. nevtralne kislosti in so v območju od pH 5,6 do 6,7 (60 % vzorcev). Sledijo kisla tla, ki so v območju od pH 4,5 do 5,5 (30 % vzorcev). Alkalnih tal je manj, so v območju pH > 7,2 (10 % vzorcev).

Tla, ki so najbolj optimalna za gojenje hmelja, so zmerno kisla tla v območju od pH 6 do 6,7 (Čeh idr., 2022). Iz slike 28 je razvidno, da je 60 % hmeljišč v primernem razredu za gojenje hmelja glede na kislost tal.

Vzrokov za večjo kislost v tleh je več. Med njimi so izpiranje kalcija in drugih kationov iz tal, kisle padavine in nevtralizacija med rastno dobo rastlin. Na kislost tal vpliva tudi posevek, ki iz tal odvzame bazične katione, predvsem Ca in Mg. Poleg omenjenega lahko tudi uporaba kisle delujočih mineralnih gnojil prispeva k zakisanju tal (Mihelič idr., 2009).



Slika 28: Kislost tal.

5.2.2 Dostopni fosfor v tleh analiziranih hmeljišč

Rezultate analize smo vrednotili na podlagi petih razredov, ki so določeni po AL metodi (A, B, C, D, E). Optimalna preskrbljenost tal s hranili je v C razredu. Ustrezno založena tla s fosforjem za pridelavo hmelja vsebujejo od 12 do 25 mg P₂O₅/100 g tal s.s. tal (Mihelič idr., 2009).

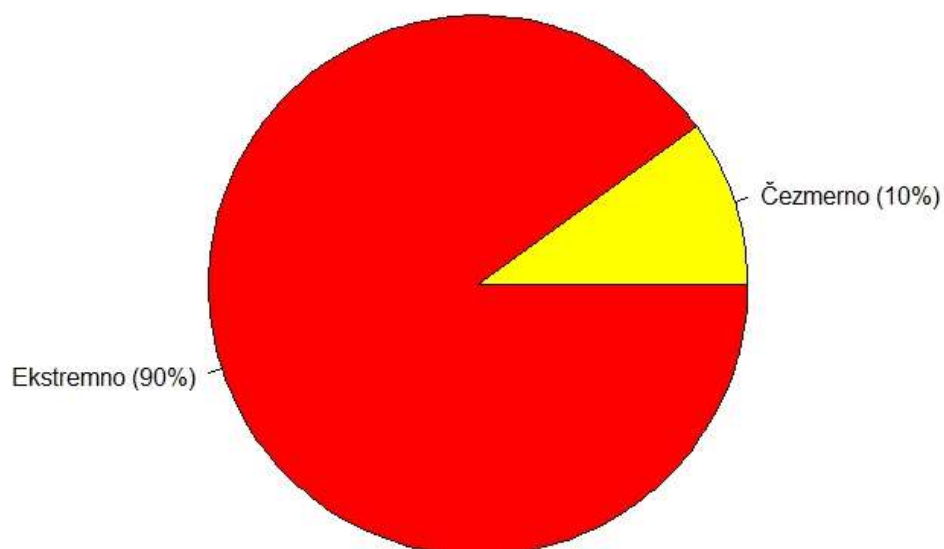
V tem primeru moramo z gnojenjem v tla vrniti toliko hranil, kolikor smo jih odvzeli s pridelkom iz tal. Razreda A in B predstavljata pomanjkanje hranil v tleh. Ko pa je v tleh preveč hranil, govorimo o čezmerni vsebnosti hranil, ki ga predstavlja D razred. Še večja, ekstremna oskrbljenost tal s hranili pa je predstavljena z E razredom. V D in E razredu je potrebno gnojenje zmanjšati, v D razredu za polovico, v razredu E pa gnojenje z dotičnim hranilom za 5 let odsvetujemo (Sušin, 2008). Vsebnosti hranil v tleh glede na razred oskrbljenosti tal so predstavljene v preglednici 3.

Preglednica 3: Mejne vrednosti za fosfor in kalij po AL metodi (Mihelič idr., 2009)

Razredi oskrbljenost tal	Fosfor (mg P ₂ O ₅ /100 g s.s. tal)	Kalij (mg K ₂ O/100 g s.s. tal)	
		Lahka in srednje težka tla	Težka tla
A (siromašna)	< 6	< 10	< 12
B (srednja)	6 – 12	10 – 19	12 – 22
C (optimalna)	13 – 25	20 – 30	23 – 33
D (čezmerna)	26 – 40	31 – 40	34 – 45
E (ekstremna)	>40	> 40	> 45

Iz slike 29 je razvidno, da so tla vzorčenih hmeljišč v 90 % ekstremno preskrbljena s fosforjem (razred E), v enem hmeljišču pa so tla čezmerno preskrbljena s fosforjem (med 26 – 40 mg P₂O₅/100 g tal s.s. tal).

Dostopni fosfor

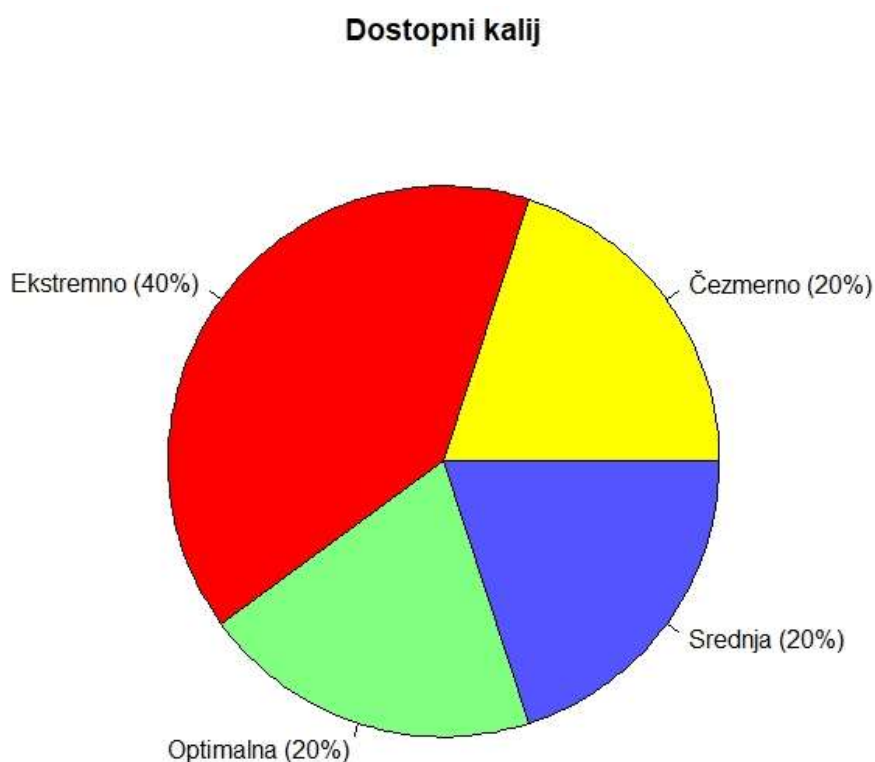


Slika 29: Oskrbljenost tal z rastlinam dostopnim fosforjem.

5.2.3 Dostopni kalij v tleh analiziranih hmeljišč

Ekstremna preskrbljenost tal hmeljišč s kalijem (nad 40 mg $K_2O/100$ g s.s. tal) je v 40 % odvzetih vzorcev, prikazano na Slika 30. V 20 % vzorcev je dostopnost kalija v razredu čezmerno (razred D). Optimalna vsebnost rastlinam dostopnega kalija je v 20 % hmeljišč in prav tako je 20% vzorcev tal v razredu s srednjo preskrbljenostjo tal s kalijem razvidno iz slike 30.

Ustrezno preskrbljena tla s kalijem vsebujejo od 20 do 30 mg $K_2O/100$ g s.s. tal (Mihelič idr., 2009).



Slika 30: Oskrbljenost tal z rastlinam dostopnim kalijem.

5.3 Preverjanje hipotez

Hipoteze, ki smo jih postavili, lahko delno potrdimo in delno ovržemo.

Hipoteza 1: Vsebnost težkih kovin v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline se lahko razlikuje od hmeljišča do hmeljišča.

Hipoteza 1, v kateri smo predpostavili, da se vsebnost težkih kovin v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline lahko razlikuje od hmeljišča do hmeljišča, smo potrdili, saj so se rezultati med seboj glede na določeno kovino v hmeljiščih razlikovali. Največje odstopanje med vsebnostmi težkih kovin v hmeljiščih je pri kovinah: Cr, Mg, Al, Ba, Cu, Pb, Th, V, Sc, Mn, Zn, Ni, Co, As, Sr, Cd in Ca. Primerljive kovine glede na vsebnost v hmeljiščih so: Ti, Hg, Ga, Mo, Ag, Fe, U, Au in Bi.

Hipoteza 2: Vsebnost nekaterih težkih kovin v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline presega zakonsko predpisane opozorilne imisijske vrednosti.

Hipotezo 2 lahko delno sprejmemo, saj smo trdili, da vsebnosti nekaterih težkih kovin v tleh hmeljišč Spodnje Savinjske doline presegajo opozorilne imisijske vrednosti vsebnosti težkih kovin, kot jih določa Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh (Ur.l.RS, št. 68/96,41/04 – ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2). Hipotezo lahko zavržemo za kovine, ki niso presegale mejne imisijske vrednosti Uredbe; to so Ni, Pb, Cr, Hg, Co, Mo in As. Kovina Cd je presegala mejno imisijsko vrednost glede na Uredbo. Kovini Cu in Zn pa sta presegali opozorilno imisijsko vrednost težkih kovin v tleh glede na Uredbo, kar pomeni, da lahko v tem primeru hipotezo potrdimo. Višja vsebnost težkih kovin Cd, Cu in Zn je lahko posledica antropogenega onesnaževanja.

6 ZAKLJUČKI

Namen diplomskega dela je bil ugotoviti vsebnost težkih kovin v hmeljiščih Spodnje Savinjske doline, povišanje njihovih vsebnosti in onesnaženost kmetijskih tal z njimi. V raziskavi je bilo zajetih 10 različnih hmeljišč iz različnih lokacij v Spodnji Savinjski dolini.

Tla poleg fizikalnega filtriranja opravljajo še kemijsko filtriranje, nevtralizacijo in razgradnjo nevarnih snovi v tleh. Te sposobnosti so odvisne od lastnosti tal (kislosti, vsebnosti talne organske snovi, vodno-zračnih razmer v tleh, idr.). Tla, ki vsebujejo več talne organske snovi, imajo ustrezno globino tal, dobro strukturo in dobre vodno-zračne razmere v tleh, imajo lahko večjo možnost vezave onesnaževal, sorpcijsko kapaciteto (vežejo več hranil) in večjo puferno sposobnost (odpornost pred zakisovanjem in zaslanjevanjem tal) (Vrščaj, 2017) (Mihelič idr., 2009).

Na desetih hmeljiščih smo izvedli vzorčenje kmetijskih tal. Vzorec iz enega hmeljišča je sestavljen iz dvajsetih pod-vzorcev, ki so bili vzeti vzdolž hmeljišča (cik - cak linije) v globini 0 - 20 cm. V laboratoriju smo izvedli pripravo vzorcev, sušenje, mletje, sejanje in pripravo na pošiljanje v laboratorij za analizo s postopkom zlatotopke in v laboratorij na Kmetijskem inštitutu, kjer so analizirali kislost tal ter rastlinam dostopni fosfor in kalij po akreditiranih metodah. V akreditiranem laboratoriju Bureau Veritas v Vancouvru so analizirali 37 kovin (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, B, Al, Na, K, W, Sc, Tl, S, Hg, Se, Te in Ga). Vsebnosti deset kovin v tleh (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Hg, Co, Mo in As) smo primerjali s slovensko zakonodajo o mejnih vrednostih - Uredbo. Rezultate vsebnosti kovin smo primerjali tudi z raziskavo Geokemično ozadje in zgornja meja narave variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije v Notranjih kotlinah in za celotno Slovenijo.

Na osnovi primerjave vsebnosti median za deset kovin (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Hg, Co, Mo in As), z vrednostmi v Uredbi, smo ugotovili, da dve kovini, Cu in Zn, presegata opozorilni vrednosti v več vzorcih. Z Cu je onesnaženih 50 % hmeljišč, s katerih smo vzeli vzorce, le eno hmeljišče pa je onesnaženo s Zn. Mejno imisijsko vrednost glede na Uredbo presega le Cd v 90 % hmeljišč, s katerih smo vzeli vzorce. Ostale kovine, Ni, Pb, Cr, Hg, Co, Mo in As, ki so zajete v Uredbi, ne presegajo mejne imisijske vrednosti v nobenem vzetem vzorcu. Tla hmeljišč so v kmetijski rabi, kar pomeni, da so povišane vsebnosti kovin lahko tudi posledica dolgotrajne uporabe mineralnih oz. organskih gnojil in FFS, ki vsebujejo Cu, Cd in Zn. Kovine, ki so bile uporabljene v preteklosti, se še vedno kopičijo v tleh, odražajo zgodovino kmetovanja oz. rabe tal ter uporabe različnih kemičnih sredstev na hmeljiščih, saj se ne izpirajo, ampak se z leti akumulirajo v tleh. Povišane vsebnosti TK v tleh pa lahko pripišemo tudi antropogenemu onesnaževanju, saj so tla hmeljišča v Spodnji Savinjski dolini v preteklosti bila izpostavljena različnim onesnaževanjem s TK. Med drugim ne smemo izključiti onesnaževanja tal različnih industriji na območju Žalca in Celja s TK. Možnost onesnaževanja tal v preteklosti predvsem z Cd lahko pripišemo tudi kurjenju lignita v industriji in v privatnih kuriščih in bližina rudarske industrije. K višji vsebnosti TK v tleh je lahko pripomogla tudi urbanizacija Spodnje Savinjske doline, ob tem pa ne smemo izključiti možnost onesnaževanja tal s prometom. Skratka, višje vsebnosti TK v tleh hmeljišč v Spodnji Savinjski dolini so lahko posledica vplivov industrijskih, kmetijskih, urbanih in drugih antropogenih dejavnosti v preteklosti in sedanjosti.

Kovini Cu in Zn, ki imata povišane vsebnosti v tleh hmeljišč glede na Uredbo, ne predstavljata tveganja za potrošnika. Iz raziskave o končnih produktih – pivu, so vsebnosti TK izjemno nizke in ne predstavljajo grožnje potrošniku. Prav tako ni večjih vsebnosti omenjenih TK v sami rastlini – hmelju, preko katere bi lahko prešle TK iz tal v plod in v končni produkt. Omenjene kovine so v tleh vezane na talne delce (minerali gline in talna organska snov) in se zato težko izpirajo iz tal. Ob spremembi talnih lastnosti (zmanjša vsebnost organske snovi ali povečana kislost tal) pa

postanejo TK mobilne in takrat lahko predstavljajo večje tveganje za pridelavo hrane in za okolje.

Raziskava je pokazala, da hmeljišča niso onesnažena s težkimi kovinami, izjeme so le Cd, ki mestoma prekoračuje mejno imisijsko vrednost ter Cu in Zn na nekaterih hmeljiščih, kjer vsebnosti v tleh prekoračujejo opozorilno imisijsko vrednost glede na Uredbo.

Analizirana hmeljišča so preskrbljena z rastlinam dostopnim kalijem in fosforjem. Z dostopnim fosforjem je preskrbljenih kar 90 % hmeljišč, ki so v razredu ekstremno preskrbljenih (razred E). Eno hmeljišče je optimalno preskrbljeno (razred C) z rastlinam dostopnim fosforjem. Z rastlinam dostopnim kalijem so hmeljišča preskrbljena v 60 %, od tega je 40 % hmeljišč ekstremno preskrbljenih (razred E) in 20 % hmeljišč čezmerno preskrbljenih (razred D). Optimalno preskrbljenih (razred C) hmeljišč z rastlinam dostopnim kalijem je 20 % hmeljišč in 20 % hmeljišč je srednje založenih (razred B) z rastlinam dostopnim kalijem. V hmeljiščih, kjer je preskrbljenost ekstremna, je potrebno gnojenje v skladu s strokovnimi smernicami gnojenje zmanjšati oz. prenehati. Tla analiziranih hmeljišč v Spodnji Savinjski dolini so praviloma presežno preskrbljena z rastlinam dostopnim fosforjem in kalijem.

Za nadaljnje raziskave bi bilo smiselno opredeliti hmeljišča, ki so vsebovala višje vrednosti kovin v tleh. Obenem pa bi bilo koristno spremljati mobilnosti TK v tleh in njihovo prehajanje v kmetijske rastline (hmelj) preko korenin ter vsebnost TK v pridelku (hmeljevi storžki) in hrani (pivo). Morebitnih obstoječih raziskav na to temo pri pregledu literature nismo zasledovali in to tudi ni bil predmet te raziskave.

7 VIRI

- Adriano, D. C. (2001). *Terrestrial Environments, biogeochemistry, bioavailability and risks of metals* (Let. 2001). University of Georgia. http://archive.org/details/traceelementsint0000adri_i2d9
- Alengebaway, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R. in Wang, M.-Q. (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 2021(9), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- Alloway, B. J. (2012). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. London, Soil research center. (Let. 2012). Springer Science & Business Media.
- Aqua regia*. (b. d.). Office of Environmental Health and Safety. Pridobljeno 8. september 2023, s <https://ehs.princeton.edu/laboratory-research/chemical-safety/chemical-specific-protocols/aqua-regia>
- Atlas okolja*. (b.d.). Pridobljeno 27. januar 2024, s https://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
- Bureau Veritas. (2023). *Geochemistry. 2023 schedule of services & fees \$ cad. Bureau Veritas*. Bureau Veritas.
- Čeh, B. in ostali. (2017). *Hmeljarski bilten. Žalec, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije*. Pridobljeno 6. januar 2024, s [https://www.institut-icanna.com/files/Hmeljarski_URN_NBN_SI_DOC-9SD8QSRX\(1\).pdf](https://www.institut-icanna.com/files/Hmeljarski_URN_NBN_SI_DOC-9SD8QSRX(1).pdf)
- Čeh, B., Leskošek, G., Naglič, B., Čremožnik, B., (2022). *Vodi prijazno hmeljarstvo*. Pridobljeno 2. avgust 2023, s https://www.geo-zs.si/PDF/Prirocniki/Vodi_prijazno_hmeljarstvo_prirocnik.pdf
- Čerenak, A. in drugi. (2002). *Priročnik za hmeljarje. Žalec: Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Žalec*. Pridobljeno 31. december 2023, s https://www.ihps.si/wp-content/uploads/2016/08/hmeljarski_prirocnik_2002.pdf
- Donadini, G., Spalla, S. in Beone, G. m. (2008). Arsenic, Cadmium and Lead in Beers from the Italian Market. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(4), 283–288. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00770.x>
- Dr. Bešter, P., K., in ostali, (2021). *Program monitoringa kakovosti tal. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje*. (b. d.). Pridobljeno 3. avgust 2023, s https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOPE/Okolje/Tla/Program_monitoringa_kakovosti_tal_2022_2026.pdf
- Gosar, M., Šajn, R., Bavec, Š., Gaberšek, M., Pezdir, V. in Miler, M. (2019). Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije. *Geologija*, 2019(62), Article 1. <https://doi.org/10.5474/geologija.2019.001>
- Gostečnik, P. (2018, oktober 16). *Skozi zgodovino hmelja Spodnje Savinjske doline*. Združenje hmeljarjev Slovenije. <http://hmeljarji.si/savinjska-dolina/>
- Hmeljarstvo*. (2023). GOV.SI. <https://www.gov.si teme/hmeljarstvo/>
- Kmetijski inštitut Slovenije*. Pridobljeno 7. oktober 2023, s <https://www.kis.si/Tla/>
- Legenda kartiranih enot*. Pridobljeno 12. september 2023, s https://ogk100.geo-zs.si/images/LKE/Celje_lke.pdf
- Mihelič, R., Čop, J., Jakše, M., Štampar, F., Majer, D., Tojnko, S. in Vršič, S. (2009). *Smernice za strokovno gnojenje* (Let. 2009). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.

- Miller group. (2019). *Standard operating procedure. North Carolina, University of North Carolina at Chapel Hill*. Pridobljeno 8. september 2023, s https://kemi.uu.se/digitalAssets/889/c_889878-l_1-k_aquaregia_20190214.pdf
- Osnovna geološka karta. (2023). <https://ogk100.geo-zs.si/>
- PisRS - Pravno informacijski sistem. Pridobljeno 4. avgust 2023, s <http://pisrs.si/Pis.web/>
- Podatki tal - eTLA - Kmetijski inštitut Slovenije. Pridobljeno 20. februar 2024, s <https://www.kis.si/eTLA>
- Postopek odvzema vzorca tal. Pridobljeno 25. januar 2024, s https://www.kis.si/f/docs/Tla/Postopek_odvzema_vzorca_tal.pdf
- Pravilnik o monitoringu kakovosti tal. pisrs. Pridobljeno 17. februar 2024, s <http://pisrs.si>
- Pravilnik o obratovalnem monitoringu stanja tal. (b. d.). Pridobljeno 2. marec 2024, s <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV14313>
- Rak Cizej, M. (2023). Seznam fitofarmaceutskih sredstev dovoljenih za varstvo hmelja v Sloveniji v letu 2023; stanje na dan 27. februar 2023. *Hmeljarske informacije*, 2023(1).
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., Pennock, D., (2018). *Soil pollution a hidden reality. Rim, Food and agriculture organization of the United Nations*. Pridobljeno 3. avgust 2023, s <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>
- Simončič Andrej, Sušin Janez, Baša-Česnik Helena, Žnidaršič Pongrac Vida, Velikonja Bolta Špela, in Gregorčič Ana. (2009). Preučevanje vpliva varstva hmelja pred boleznimi in škodljivci na ostanke fitofarmaceutskih sredstev v tleh in podzemni vodi v Sloveniji. *Zbornik predavanj in referatov 9. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin z mednarodno udeležbo, 2009*, 59–64.
- Sušin, J., (2008). *Kakšna mineralna gnojila potrebuje slovenski kmet z agnojenje s fosforjem in kalijem?. Sejalec*. Pridobljeno 8. november 2023, s https://www.kis.si/f/docs/Gnojenje_in_rodovitnost_tal_OKENV_Test/2008_Sejalec_PK_gnojila_1.pdf
- Teršič. T., Gosar, M., Šajn, R. (2006). *Opoščeni rudniki živega srebra v Podljubelju in njegovi vplivi na okolje. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije*. Pridobljeno 8. januar 2024, s https://www.geo-zs.si/PDF/Monografije/Opusceni_rudnik_Hg_Podljubelj.pdf
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (UR. I. št. 68/96). <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED114>
- Vidmar, M., Abram, V., Čeh, B., Demšar, L. in Ulrih, N. (2019). White Hop Shoot Production in Slovenia: Total Phenolic, Microelement and Pesticide Residue Content in Five Commercial Cultivars. *Food technology and biotechnology*, 2019(57), 525–534. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.04.19.6269>
- Vrščaj, B. (2017). *Lastnosti, pestrost in ekosistemske storitve tal* (Let. 2017). Ministrstvo za okolje in prostor.
- Zakon o kmetijstvu. (2008). pisrs. <http://pisrs.si>
- Zupan, M., Grčman, H., Lobnik, F., (2008). *Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Agencija RS za okolje*. Pridobljeno 21. december 2022, s http://agromet.mkgp.gov.si/Publikacije/raziskave_onesnazenosti_tal.pdf

8 PRILOGE

Priloga 1

PRILOGA 5: ZAPIS O VZORČENJU TAL

ZAPIS O VZORČENJU NA VZORČNEM MESTU		Oznaka vzorčnega mesta (koda):	Vzorčenje: prvo (obkroži)	ponovno obratovni monitoring	posebno: navedi razlog
I. Splošni podatki vzorčenja		Odvzeti vzorci (oznaka vzorčnega mesta in globine):			
TIP TAL ¹ :	Možni viri onesnaženja	Vrem e ob vzorčenju	Zvajalec vzorčenja:		
MATIČNA PODLAGA ¹ :	01 tovarna 02 odlagališče 03 (divje) smetišče 04 cestna/željezniška 05 privatna kmetijska 06 kmetijski obrat 07 gnojlišče 08 poplavlne vode 09 urbano, mesto 10	01 sončno 02 oblačno 03 delno jasno 04 po nevihti 05 po kratk. dežju 06 po deževju 07 vetrovno	Organizacija: _____ Naslov: _____ Vzorčenje izvedel (TISKANO): _____ Datum: ____/____/20____ Podpis vzorčevalca: _____ Podpis pooblaščen osebe zavezanca: _____		
METODA VZORČENJA:					
OPREMA ZA ODVZEM IN PREVOZ VZORCEV:					
RABA TAL: (navedi)					

II. Skica lokacij vzorčnih mest

II. Skica vzorčenja:	Opombe ob vzorčenju:
<p>Označi vzorčna in odvzemna mesta, pomembne objekte in značilnosti, po katerih je mogoče orientacija v prostoru: ceste, hiše, različna raba tal itd. Nariši in označi tudi centroid posameznega vzorčnega mesta! Če ni mogoče narisati različne skice (na primer veliko vzorčnih mest), je treba priložiti dodatne ločene skice. Namesto skice so lahko vzorčna mesta označena na DOF posnetku ali karti z ustrežno topografsko podlago in priložena.</p> <p>¹Slovenska klasifikacija tal, dostopna na spletni strani ministrstva, pristojnega za okolje</p>	

III. Opis tal na vzorčnem mestu

Vzorčno mesto	oznaka/koda	naziv vzorčnega mesta (opisno ime)	Projekcija D98/TM ali D48/GK (obkroži):	Nadmorska višina:													
			X: _____ m Y: _____ m	_____ m													
RELIEF	OBLIKA RELIEFA	NAKLON IN EKSPOZICIJA	OPOMBE VZORČNEGA MESTA														
1 ravna 2 greben 3 srednja pobočja 4 vznožje pobočja 5 plato 6 dno doline 7 vrtača 8 terasa 9 drugo	1 ni pobočja 2 enakomerna 3 konkavna 4 konvexna 5 terasasta 6 nepravilna 10 drugo	Naklon: _____ % Ekspozicija: _____ 															
STANJE POVRŠINE VZORČNEGA MESTA (obkroži oziroma opiši prevladujoče stanje)																	
1 travna površina (travnik, pašnik) 2 okrasna zelenica 3 grmičevje 4 drevesa 5 prod/rušič 6 gola tla (brez vegetacije) 7 skalovitost/kamnitost 10 drugo:																	
SKICA IN MORFOLOŠKI OPIS TALNEGA PROFILA: Označi talne horizonte ter določi morfološke lastnosti (glej legendo spodaj)																	
GLOBINA cm	SLOJ / HORIZONT	SKICA (označi sloje vzorčenja)	KONZISTENCA stopnja	STRUKTURA izraženost	TEKSTURA	BARVA	TEKSTURA (TR)	BARVA	ORGANSKA SNOV	VLAŽNOST OB OPISU	PREKORENINJENOST	SKELET vol. %	MATICNE velikost	PODLAGE oblika	DRUG MATERIAL vrsta	vol. %	DRUG MATERIAL velikost

Legenda za morfološki opis tal:

KONZISTENCA		STRUKTURA		TEKSTURA	BARVA	ORGANSKA SNOV	VLAŽNOST OB OPISU	PREKORENINJENOST	SKELET	MATICNE	PODLAGE	DRUG MATERIAL
Spek	H rahel	1 tanko	1 nestrukturen	4 dobra	Koda barve	1 organski	1 suh	1 zelo goste	vol. %	1 povprečna	1 ostrorob	navedemo prisotnost gradbenega
D drobljiv	G gost	2 dobro	2 brezstrukturen	3 srednja	Munsell	2 zelo močno	2 suh/svež	2 goste		2 m	2 zaobljen	materijala (opeka, beton, itd.), kovinskih,
Z zbit	T trd	3 nekoliko	3 druzkast	2 slaba	Soil	3 humozen	3 svež	3 srednjegoste		3 maksimalna	3 ploščat	steklenih, plastičnih in drugih
N mazav	N gnetljiv	4 srednje	4 brezkast	1 ni strukture	Colour	4 srednje humozen	4 svež/vlažen	4 redke		4 v cm	4 mešan	nenaravnih materialov v slojih tal;
L lepljiv	P plastičen	5 težko	5 poliedričen		Chart	5 slabo humozen	5 vližen	5 posamezne				ločeno volumski delež v vzorčnem
		6 zelo težko	6 krogličast			8 po ravih	6 moker	1 neprekorenjen				sloju in velikost v cm

*ČE JE VZORČNIH MEST VEČ, JE TREBA NATISNITI USTREZNO ŠTEVILO STRANI OBRAZCA!

Priloga 1: Zapis vzorčenja podatkov na terenu po Prilogi 5 iz Pravilnika o obratovnem monitoringu (Pravilnik o obratovnem monitoringu stanja tal, b. d.)

Priloga 2

PROTOKOL PRIPRAVE TALNIH VZORCEV DO SUŠILNIKA



Priloga 2: Priprava vzorcev za sušenje v sušilniku (foto: Božijak, 2023)

Vzorec pripravimo v čašo z volumnom 200 ml, ki tehta približno 110 g. Čašo z vzorcem tehtamo, da preverimo svež volumen in svežo težo vzorca, ki tehta približno 320 g. Imamo približno 210 g svežega vzorca, ki bo zadostoval za raziskavo. Čašo napolnimo do oznake za 200 ml in jo potresemo, da se vzorec posede in s tem odstranimo večje zračne prostore v čaši. S permanentnim flomastrom čašo ustrezno označimo s kodo vzorca. Ta postopek ponovimo za vse vzorce.

2.1 V sušilniku

Sušilnik nastavimo na 105 °C. S to temperaturo dosežemo suho snov tal (Pravilnik o monitoringu kakovosti tal - Uradni list RS, št. 68/19 in 44/22 – ZVO-2). V sušilnik položimo vzorce za 48 ur, Slika 31 prikazuje vzorce v sušilniku.



Slika 31: Pripravljeni vzorci na sušenje v sušilniku (foto: Božijak, 2023)

2.2 Priprava vzorca na pakiranje

Vzorca po sušenju nismo tehtali, saj nas ne zanima vlažnost vzorca. Slika 32 prikazuje vzorce po sušenju v sušilniku. Vzorec stremo v terlinici s pestilom, ki je keramičen, prikazuje Slika 33. Drobne kamenčke z rokavicami pred trenjem poberemo iz vzorca, prav tako odstranimo tudi večje korenine. Po trenju vzorec presejemo s sitom (velikost por 0,25 mm) na urno steklo ali v petrijevko. Pri sejanju ne smemo vzorca kakorkoli s silo potisniti skozi sito, vzorec skozi sito sejemo s treslaji. Prav tako po sejanju pregledamo ostanke na situ in poberemo vse, kar ne sodi v tla. Presejan vzorec vrnemo nazaj v označeno čašo, iz katere smo ga vzeli po sušenju.



Slika 32: Vzorci po sušenju v sušilniku (foto: Božijak, 2023)



Slika 33: Vzorec v terilnici po sušenju v sušilniku (foto: Božijak, 2023)

PAKIRANJE VZORCA

Vzorci se hranijo v PVC vrečke, ki se zapirajo na zip način. Vrečke označimo z zaporedno številko vzorca, lahko s permanentnim flomastrom na vrečko ali na samolepilno nalepko, ki jo pritrdimo na vrečko. V vrečko stremo vzorec, količina vzorca naj bo 30 - 45 g.

OZNAČEVANJE PAKETA

Vzorci ne smejo biti za komercialne namene, kar moramo označiti tudi na vzorcih. Paket potrebuje še uvozno dovoljenje zaradi carine. K paketu moramo priložiti dve kopiji. Eno kopijo damo v škatlo, drugo pa pritrdimo na zunanji del škatle.

Protokol sva pripravili Strmčnik A. in Božijak L.

Priloga 3

	Enota	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 5	HM 6	HM 7	HM 8	HM 9	HM 10	Md	\bar{X}
pH v CaCl ₂	/	5,5	5,7	6,2	6,7	6,4	6,1	4,8	4,5	6,1	7,3	6,1	5,9
P ₂ O ₅ dost.	mg/100g s.s.	61	65	98	115	94	75	27	46	42	54	63,0	67,7
K ₂ O dost.	mg/100g s.s.	36	39	59	49	50	43	18	14	24	21	37,5	35,3
C organski	g/kg s.s.	22,9	22,2	28,5	31,0	27,6	36,1	24,9	19,0	22,0	18,9	23,9	25,3
C organski	%	0,229	0,222	0,285	0,310	0,276	0,361	0,249	0,190	0,220	0,189	0,2	0,3

Priloga 3: Vrednosti analize izvedene na Kmetijskem inštitutu v Ljubljani

HM – hmeljišče, Md – mediana, \bar{X} - povprečje

Priloga 4

	Enota	HM1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 5	HM 6	HM 7	HM 8	HM 9	HM 10	Md	\bar{X}
Ag	mg/kg	0,10	0,10	0,10	0,10	<0,1	<0,1	0,10	0,10	<0,1	<0,1	0,10	0,10
Al	%	1,68	1,70	2,35	2,56	1,90	2,49	1,16	1,08	1,17	1,41	1,69	1,75
As	mg/kg	9,80	11,20	8,50	9,10	8,80	12,30	9,60	9,40	7,50	8,10	9,25	9,43
Au	mg/kg	2,00	4,10	1,80	3,00	1,60	1,90	2,60	1,70	2,30	1,20	1,95	2,22
B	mg/kg	3,00	2,00	3,00	4,00	3,00	5,00	2,00	2,00	3,00	5,00	3,00	3,20
Ba	mg/kg	103,00	109,00	126,00	127,00	87,00	92,00	99,00	72,00	116,00	73,00	101,00	100,40
Bi	mg/kg	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,26
Ca	%	0,32	0,36	0,55	0,97	0,58	0,65	0,18	0,13	0,31	6,32	0,46	1,04
Cd	mg/kg	1,50	1,40	1,40	1,30	1,00	1,10	1,10	0,70	1,50	1,20	1,25	1,22
Co	mg/kg	12,90	12,90	12,20	12,60	13,40	14,70	9,20	8,60	9,60	10,00	12,40	11,61
Cr	mg/kg	25,00	25,00	28,00	30,00	29,00	37,00	16,00	16,00	19,00	23,00	25,00	24,80
Cu	mg/kg	107,50	115,40	117,70	115,00	131,50	97,80	64,40	91,60	54,70	52,90	102,65	94,85
Fe	%	2,40	2,40	2,62	2,83	2,55	3,09	2,12	2,04	2,24	2,37	2,40	2,47
Ga	mg/kg	5,00	5,00	6,00	7,00	5,00	7,00	3,00	3,00	3,00	4,00	5,00	4,80
Hg	mg/kg	0,07	0,10	0,08	0,08	0,22	0,19	0,09	0,07	0,11	0,10	0,10	0,11
K	%	0,19	0,19	0,24	0,24	0,23	0,25	0,16	0,14	0,13	0,15	0,19	0,19
La	mg/kg	17,00	17,00	19,00	18,00	17,00	18,00	19,00	17,00	15,00	10,00	17,00	16,70
Mg	%	0,38	0,38	0,54	0,76	0,55	0,58	0,22	0,20	0,23	3,45	0,46	0,73
Mn	mg/kg	1093,0 0	1074,0 0	1482,0 0	1420,0 0	1003,0 0	971,00	891,00	695,00	891,00	659,00	987,00	1017,9 0
Mo	mg/kg	0,70	0,70	0,80	0,70	0,50	0,60	0,70	0,70	0,60	0,50	0,70	0,65
Na	%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	mg/kg	28,20	27,80	27,40	28,50	30,20	37,00	18,90	16,60	15,70	26,80	27,60	25,71
P	%	0,12	0,13	0,16	0,16	0,13	0,16	0,10	0,13	0,09	0,10	0,13	0,13
Pb	mg/kg	58,50	82,60	38,60	40,10	32,10	38,80	46,50	42,70	43,00	33,90	41,40	45,68
S	%	0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05
Sb	mg/kg	0,70	0,80	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,57
Sc	mg/kg	3,90	3,90	5,00	5,60	4,40	5,90	2,10	1,70	2,60	3,60	3,90	3,87
Se	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,50	0,50
Sr	mg/kg	12,00	12,00	18,00	20,00	15,00	16,00	8,00	7,00	12,00	42,00	13,50	16,20
Te	mg/kg	0,20	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,20	0,20
Th	mg/kg	2,50	2,50	2,80	3,10	3,20	4,10	1,40	0,90	3,80	2,00	2,65	2,63
Ti	%	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02
Tl	mg/kg	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,20	0,19
U	mg/kg	1,10	1,10	1,50	1,40	1,00	1,40	1,00	1,20	1,10	0,90	1,10	1,17
V	mg/kg	41,00	41,00	50,00	61,00	44,00	59,00	18,00	17,00	25,00	39,00	41,00	39,50
Zn	mg/kg	233,00	303,00	167,00	184,00	138,00	144,00	118,00	94,00	144,00	150,00	147,00	167,50

Priloga 4: Rezultati analize po postopku Zlatotopke

HM – hmeljišče, Md – mediana, \bar{X} - povprečje.

Priloga 5

	Unit	\bar{X}	X(G)	Md	Min	Max	P25	P75	A	E	A(L)	E(L)
Ag	µg/kg	78	63	62	1.0	1200	43	93	7.75	95.39	-0.17	2.95
Al	%	1.9	1.7	1.8	0.090	5.7	1.4	2.4	0.53	0.74	-1.39	4.06
As	mg/kg	13	11	11	0.85	140	7.6	15	5.67	56.73	-0.25	1.94
Au	µg/kg	2.5	1.7	1.7	0.10	110	1.1	2.7	14.62	274.70	-0.36	3.12
B	mg/kg	2.8	1.9	2.0	0.50	36	1.0	4.0	3.90	31.11	-0.07	-0.68
Ba	mg/kg	83	71	75	3.2	820	55	100	5.36	61.52	-0.89	3.52
Be	mg/kg	1.0	0.89	0.90	0.050	3.5	0.60	1.3	0.98	0.86	-0.78	2.17
Bi	mg/kg	0.36	0.32	0.33	0.020	1.3	0.24	0.43	1.28	2.53	-0.49	1.79
Ca	%	2.0	0.55	0.44	0.0050	25	0.19	1.7	2.74	8.07	0.16	-0.37
Cd	mg/kg	0.85	0.50	0.47	0.0050	11	0.25	1.0	3.86	21.40	-0.16	1.32
Ce	mg/kg	39	33	38	1.8	130	24	52	0.50	0.61	-1.22	1.88
Co	mg/kg	15	13	14	0.50	74	9.7	19	1.95	7.02	-1.12	3.34
Cr	mg/kg	38	32	34	2.6	210	23	49	2.40	11.35	-0.56	1.01
Cs	mg/kg	1.5	1.3	1.4	0.050	7.0	0.88	2.0	1.26	2.89	-0.90	1.73
Cu	mg/kg	25	21	20	1.4	300	15	28	6.14	54.76	0.07	2.41
Fe	%	2.8	2.6	2.9	0.15	10	2.3	3.4	0.85	7.03	-2.16	7.63
Ga	mg/kg	5.3	4.8	5.2	0.20	19	3.8	6.7	0.75	1.84	-1.33	3.66
Hf	mg/kg	0.071	0.047	0.050	0.010	0.37	0.020	0.10	1.44	2.38	-0.29	-0.95
Hg	mg/kg	0.17	0.12	0.11	0.012	5.3	0.069	0.18	10.38	135.24	0.84	2.09
In	mg/kg	0.039	0.033	0.040	0.010	0.25	0.030	0.050	2.31	15.37	-0.57	0.06
K	%	0.13	0.12	0.11	0.0050	1.0	0.090	0.16	4.58	34.47	0.03	3.18
La	mg/kg	18	15	17	1.0	82	11	24	1.16	4.01	-1.05	1.43
Li	mg/kg	20	17	19	0.30	150	13	24	4.27	37.31	-1.36	5.22
Mg	%	0.98	0.54	0.46	0.030	9.9	0.32	0.74	3.40	12.11	0.81	1.31
Mn	mg/kg	960	760	790	17	7200	520	1200	2.42	12.41	-0.75	2.10
Mo	mg/kg	1.4	0.84	0.72	0.070	38	0.48	1.3	7.83	92.88	0.81	1.05
Na	%	0.0079	0.0063	0.0070	0.0005	0.057	0.0050	0.010	3.03	16.49	-0.72	1.75
Nb	mg/kg	0.75	0.54	0.60	0.025	7.8	0.31	1.0	2.95	20.64	-0.44	0.05
Ni	mg/kg	34	27	29	0.80	500	20	41	6.58	90.17	-0.57	1.99
P	%	0.063	0.053	0.054	0.0060	0.52	0.037	0.076	3.57	23.20	0.01	0.82
Pb	mg/kg	40	34	34	6.2	850	25	45	13.93	294.78	0.39	2.38
Rb	mg/kg	19	17	18	0.40	94	13	23	1.79	9.53	-1.29	4.85
S	%	0.043	0.032	0.030	0.010	0.37	0.020	0.050	3.49	17.45	0.13	0.00
Sb	mg/kg	0.64	0.54	0.53	0.060	8.9	0.41	0.72	7.11	84.55	0.22	2.42
Sc	mg/kg	4.2	3.7	3.9	0.20	19	2.8	5.3	1.27	3.97	-0.86	2.11
Se	mg/kg	0.44	0.35	0.40	0.050	2.6	0.28	0.55	2.19	8.38	-0.69	1.03
Sn	mg/kg	1.3	1.1	1.1	0.10	25	0.80	1.6	11.77	215.39	0.30	2.37
Sr	mg/kg	30	16	14	1.6	940	8.5	25	7.58	76.43	0.95	1.59
Te	mg/kg	0.049	0.035	0.040	0.010	0.24	0.020	0.070	1.39	2.18	-0.14	-1.09
Th	mg/kg	4.3	3.6	4.1	0.050	17	2.7	5.7	0.59	0.91	-1.50	3.85
Ti	%	0.012	0.0057	0.0060	0.0005	0.29	0.0030	0.011	6.26	49.64	0.25	0.63
Tl	mg/kg	0.32	0.26	0.23	0.050	1.3	0.16	0.43	1.56	2.63	0.24	-0.57
U	mg/kg	1.1	0.96	1.0	0.10	10	0.70	1.4	3.69	28.00	-0.11	0.91
V	mg/kg	49	40	40	3.0	230	28	60	2.07	5.43	-0.11	0.68
Y	mg/kg	14	11	11	0.78	110	7.1	16	3.67	21.09	-0.09	0.86
Zn	mg/kg	83	72	72	9.2	1400	57	92	11.10	152.99	0.52	6.37
Zr	mg/kg	2.4	1.5	1.8	0.050	12	0.80	3.4	1.44	2.18	-0.85	0.79

Priloga 5: Podatki za celotno Slovenijo iz raziskave Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije (Gosar idr., 2019)

Priloga 6

	Unit	\bar{X}	X(G)	Md	Min	Max	P25	P75	A	E	A(L)	E(L)
Ag	µg/kg	120	88	93	18	1200	55	140	5.57	33.04	0.97	4.28
Al	%	1.8	1.8	1.9	0.60	2.9	1.5	2.3	-0.05	-0.37	-1.04	2.00
As	mg/kg	11	10	11	5.6	15	7.8	13	-0.03	-1.30	-0.37	-1.09
Au	µg/kg	2.6	2.0	1.9	0.60	12	1.2	2.7	2.51	7.36	0.48	0.10
B	mg/kg	2.6	1.9	2.0	0.50	7.0	1.0	4.0	0.63	-0.55	-0.39	-1.12
Ba	mg/kg	95	78	83	21	560	51	110	4.46	24.05	0.38	2.10
Be	mg/kg	0.88	0.83	0.90	0.30	1.6	0.70	1.0	0.45	0.08	-0.63	0.71
Bi	mg/kg	0.33	0.32	0.35	0.18	0.56	0.24	0.40	0.03	-0.44	-0.45	-0.81
Ca	%	2.1	0.54	0.60	0.0050	20	0.17	2.9	3.65	16.81	-0.34	-0.52
Cd	mg/kg	0.70	0.55	0.61	0.050	1.6	0.42	0.98	0.41	-0.53	-1.42	2.11
Ce	mg/kg	33	30	35	7.4	56	24	42	-0.10	-0.84	-1.14	1.19
Co	mg/kg	11	10	10	2.8	29	8.2	12	1.15	1.66	-0.33	0.45
Cr	mg/kg	28	26	28	8.3	56	20	35	0.57	0.49	-0.71	0.82
Cs	mg/kg	1.4	1.2	1.4	0.24	2.7	0.96	1.8	0.22	-0.36	-1.11	1.73
Cu	mg/kg	21	20	20	8.2	40	16	24	0.97	1.11	-0.04	0.34
Fe	%	2.6	2.5	2.7	1.2	4.5	2.2	3.1	-0.04	0.01	-0.79	0.04
Ga	mg/kg	5.0	4.7	5.0	1.6	8.0	3.8	6.1	-0.02	-0.43	-1.01	1.98
Hf	mg/kg	0.091	0.074	0.080	0.010	0.24	0.050	0.12	0.95	0.51	-0.93	1.38
Hg	mg/kg	0.17	0.15	0.15	0.057	0.60	0.12	0.19	3.05	13.64	0.42	1.73
In	mg/kg	0.038	0.036	0.040	0.010	0.060	0.030	0.050	-0.41	0.17	-1.71	3.73
K	%	0.12	0.11	0.10	0.050	0.34	0.090	0.14	1.75	3.83	0.57	0.17
La	mg/kg	15	13	15	2.7	30	11	18	0.45	0.07	-1.10	1.89
Li	mg/kg	18	16	18	4.3	38	14	22	0.32	0.55	-1.12	1.31
Mg	%	0.89	0.54	0.41	0.030	4.7	0.29	0.80	2.13	4.17	0.18	1.27
Mn	mg/kg	800	640	820	100	1600	350	1200	0.22	-1.03	-0.81	-0.21
Mo	mg/kg	0.79	0.73	0.72	0.31	1.6	0.56	1.0	0.52	0.08	-0.31	-0.52
Na	%	0.0074	0.0066	0.0065	0.0020	0.022	0.0050	0.010	1.70	4.48	-0.22	0.84
Nb	mg/kg	0.60	0.50	0.54	0.12	1.2	0.36	0.82	0.42	-0.90	-0.67	-0.13
Ni	mg/kg	24	21	22	7.2	64	20	26	1.64	4.73	-0.48	1.33
P	%	0.073	0.063	0.067	0.0080	0.20	0.050	0.10	0.83	1.80	-1.16	2.27
Pb	mg/kg	44	42	42	21	67	33	53	0.05	-0.65	-0.55	-0.06
Rb	mg/kg	18	17	18	5.4	45	14	22	0.84	1.97	-0.60	0.13
S	%	0.060	0.044	0.040	0.010	0.37	0.030	0.060	3.75	14.17	0.58	2.75
Sb	mg/kg	0.58	0.54	0.54	0.26	1.6	0.40	0.76	1.93	5.71	0.55	0.27
Sc	mg/kg	3.5	3.3	3.3	1.4	6.1	2.8	4.4	0.20	-0.81	-0.43	-0.51
Se	mg/kg	0.54	0.44	0.40	0.10	2.6	0.30	0.60	3.01	10.74	0.60	1.44
Sn	mg/kg	1.7	1.4	1.4	0.40	11	1.0	1.8	4.88	27.09	1.08	4.10
Sr	mg/kg	23	14	12	2.9	210	6.9	27	4.37	21.67	0.62	0.69
Te	mg/kg	0.037	0.029	0.035	0.010	0.090	0.010	0.060	0.59	-0.45	-0.39	-1.15
Th	mg/kg	3.6	3.3	3.8	0.90	7.0	2.6	4.5	0.04	-0.27	-1.13	0.98
Ti	%	0.0051	0.0040	0.0050	0.0005	0.014	0.0030	0.0070	0.95	1.39	-0.97	0.72
Tl	mg/kg	0.27	0.25	0.26	0.090	0.60	0.20	0.33	0.85	1.10	-0.37	0.19
U	mg/kg	1.4	1.1	1.1	0.30	10	0.80	1.5	4.53	22.66	1.33	4.42
V	mg/kg	39	36	40	13	89	30	44	0.93	2.59	-0.48	0.52
Y	mg/kg	12	10	9.8	2.0	30	7.6	15	1.08	1.28	-0.47	0.45
Zn	mg/kg	78	74	75	29	120	63	99	0.03	-0.48	-0.86	0.86
Zr	mg/kg	2.5	2.3	2.3	1.1	5.8	1.5	3.2	1.07	0.57	0.26	-0.82

Priloga 6: Podatki za Notranje kotline iz raziskave Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije (Gosar idr., 2019)