

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Matej ŠTULAR

**VPLIV KONCENTRACIJE BAKRA NA DEŽEVNIKE
V SLOVENSKIH VINOGRADIH**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Matej ŠTULAR

**VPLIV KONCENTRACIJE BAKRA NA DEŽEVNIKE V SLOVENSKIH
VINOGRADIH**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**COOPER CONCENTRATION EFFECT ON EARTHWORMS IN SLOVENIAN
VINEYARDS**

GADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2014

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija kmetijstva - agronomije. Opravljeno je bilo na Centru za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene vse kemijske analize. Vzorčenje tal in deževnikov je potekalo v slovenskih vinogradih.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico imenovala doc. dr. Metko UDOVIČ in za somentorico prof. dr. Heleno GRČMAN.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marijana Jakše

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Metka Udovič

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: izr. prof. dr. Helena Grčman

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: izr. prof. dr. Franci Aco Celar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega dela v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Matej Štular

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 631.453:631.468(043.2)
KG	Pedologija/baker/vinogradniška/tla/toksičnost/dostopnost/mobilnost/biologija tal/deževniki
AV	ŠTULAR, Matej
SA	UDOVIČ, Metka (mentor)/, GRČMAN, Helena (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2014
IN	VPLIV KONCENTRACIJE BAKRA NA DEŽEVNIKE V SLOVENSKIH VINOGRADIH
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 34, [8] str., 3 pregl., 14 sl., 5 pril., 30 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Fitofarmacevtska sredstva na podlagi bakra (Cu) so škodljiva za deževnike, skupino najpomembnejših talnih živali. Namen diplomske naloge je bil ovrednotiti vpliv talnih lastnosti in koncentracije Cu, na vrstno in številčno zastopanost deževnikov, v vinogradniških tleh v 3 vinorodnih okoliših v Sloveniji. Delo je zajemalo vzorčenje tal in deževnikov v izbranih vinogradih, analizo talnih lastnosti ter analizo vsebnosti Cu v tleh in v deževnikih. Za meritve vsebnosti Cu v deževnikih smo zaradi reprezentativnosti rezultatov uporabili le odrasle, spolno zrele osebkke. Pridobljene podatke smo grafično prikazali, in sicer biomaso deževnikov po spolni zrelosti, vrstno pojavnost po vinogradih in regijah, vpliv organske snovi in pH na akumulacijo Cu v tleh ter vsebnost Cu poposameznih vrstah in rodovih deževnikov. Na pojavnost deževnikovso najbolj vplivale klimatske razmere, talne lastnosti in kmetijska praksa (npr. vsebnost organske snovi, oranje, prisotnost prekrivke itd.).Variabilnost Cu v tleh je bila v veliki meri odvisna od količine organske snovi, in sicer je znašala 56 % za primorsko ter 45 % za dolenjsko regijo. Na Dolenjskem smo zasledili največjo vrstno pestrost deževnikov, in sicer 12 vrst od 15 zabeleženih v vseh treh regijah. Po številu predstavnikov je bila na Dolenjskem najbolj zastopana vrsta <i>Lumbricus terrestris</i> . Na Primorskem in Štajerskem je bila najbolj zastopana vrsta <i>Aporrectodea rosea</i> , ki se je edina pojavljala v vseh 3 regijah. Koncentracija Cu v tleh je pojasnila 65 % variabilnosti vsebnosti Cu v deževnikih v primeru rodu <i>Aporrectodea</i> in 59 % v primeru rodu <i>Lumbricus</i> . Bioakumulacijski faktor (BAF) za rod <i>Lumbricus</i> je za Dolenjsko znašal 0,17, na Štajerskem pa 0,38. V primeru rodu <i>Apporectodea</i> je bil BAF višji, in sicer 0,57 na Dolenjskem, 0,51 na Primorskem ter 0,6 na Štajerskem.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dn

DC UDC 631.453:631.468(043.2)

CX Pedology/copper/vineyards soil/toxicity/mobility/soil biology/earthworms

AU ŠTULAR, Matej

AA UDOVIČ, Metka (supervisor)/ GRČMAN, Helena (co-supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy

PY 2014

TY COOPER CONCENTRATION EFFECT ON EARTHWORMS IN SLOVENIAN VINEYARDS

DT Graduation thesis (University studies)

NO X, 34, [8] str., 3 tab., 14 fig., 5 ann., 30 ref.

LA sl

Al sl/en

AB Plant protection products based on copper (Cu) are harmful to earthworms, a group of the most important ground animals. The aim of the dissertation was to evaluate how the soil characteristics and copper concentration affect the species and numbers of earthworms in the vineyard soil in 3 wine regions in Slovenia. The work included soil and earthworm sampling in selected vineyards, an analysis of soil characteristics, and an analysis of copper content in the soil and earthworms. Due to the representativity of the results, only adult, sexually mature specimens were used to determine the content of copper in earthworms. The collected data were presented graphically: earthworm biomass by sexual maturity, the occurrence of species by vineyards and regions, the influence of organic matter and pH on copper accumulation in the soil, and copper content by individual earthworm species and lines. The occurrence of earthworms was most strongly affected by the climate conditions, soil characteristics and agricultural practices (e.g. organic matter content, ploughing, the presence of a covering etc.). The changing levels of copper in the soil largely depended on the amount of organic matter, and reached 56 % in the Primorska region and 45 % in the Dolenjska region. Earthworm species were the most varied in Dolenjska, where 12 species out of 15 registered in all three regions were found. *Lumbricus terrestris* was the most widespread species in Dolenjska, and *Aporrectodea rosea*, that was the only species to occur in all three regions, in Primorska and Štajerska. Copper concentration in the soil explained 65 % of changing levels of copper content in *Aporrectodea* earthworm species, and 59 % in *Lumbricus*. The bioconcentration factor (BCF) for *Lumbricus* was 0.17 in Dolenjska, and 0.38 in Štajerska. In the case of *Aporrectodea*, the BCF was higher: 0.57 for Dolenjska, 0.51 for Primorska and 0.6 for Štajerska.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD	1
1.1 POVOD ZA IZDELAVO DIPLOMSKEGA DELA	1
1.2 NAMEN NALOGE	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 BAKER V TLEH	3
2.1.1 Geogeni izvori Cu	3
2.1.2 Antropogeni izvori Cu	4
2.2 ZAKONODAJA	5
2.3 BAKER IN VINOGRADI	6
2.4 DOSTOPNOST IN MOBILNOST Cu V TLEH	6
2.4.1 Kemijski procesi, ki uravnavajo adsorbcijo Cu v tleh	7
2.5 DOSTOPNOST Cu ZA RASTLINE	9
2.6 STRUPENOST Cu ZA TALNE ORGANIZME	10
2.7 STRUPENOST Cu ZA DEŽEVNIKE	10
3 MATERIAL IN METODE	12
3.1 IZBOR LOKACIJ	12
3.1.1 Priprava dokumentacije	13
3.2 VZORČENJE	13
3.2.1 Vzorčenje deževnikov	13
3.2.2 Vzorčenje tal	14
3.3 PRIPRAVA VZORCEV DEŽEVNIKOV ZA ANALIZO	15
3.4 ANALIZA TAL	16
3.5 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	17
4 REZULTATI Z DISKUSIJO	18
4.1 PRIMERJAVA MERITEV Cu V TLEH S PODATKI IZ BAZE KMETIJSKEGA INŠTITUTA SLOVENIJE (KIS) ZA VINOGRADNICE, KI SO BILI VKLJUČENI V NAŠO RAZISKAVO	18
4.2 BIOMASA DEŽEVNIKOV V IZBRANIH VINOGRADNICH	19
4.3 POVEZAVA MED VSEBNOSTJO Cu V TLEH IN OSTALIMI TALNIMI LASTNOSTMI	21
4.3.1 Organska snov	21

4.3.2	pH	22
4.4	VRSTNA ZASTOPANOST DEŽEVNIKOV IN VSEBNOST Cu V POSAMEZNIH VRSTAH IN RODOVIH DEŽEVNIKOV PO REGIJAH	23
5	SKLEPI	29
6	POVZETEK	30
7	VIRI	33
8	ZAHVALA	
9	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vsebnost Cu v tleh nastalih na različnih matičnih podlagah (Shorrocks in Alloway, 1987, cit po Baker, 1990)	3
Preglednica 2: Mejna, opozorilna in kritična imisijska vrednost za Cu in njegove spojine, izražene kot Cu (Uredba o mejnih ..., 1996)	6
Preglednica 3: Izbrani vinogradi na območju Primorske, Dolenjske in Štajerske (Pedološke ..., 2013)	12

KAZALO SLIK

Slika 1: Izkop vzorčne jame in vzorčenje deževnikov.	14
Slika 2: Vzorčenje tal na dveh globinah z uporabo dveh različnih sond in shranjevanje vzorcev	15
Slika 3: Praznjenje črevesja deževnikov in shranjevanje osebkov v etanolu.	16
Slika 4: Primerjava podatkov o vsebnosti Cu v tleh zbranimi v naši raziskavi (Cu BF) in podatki zbranimi na Kmetijskem Inštitutu Slovenije (pedološke ..., 2013).	19
Slika 5: Skupna masa odraslih in juvenilnih deževnikov (preračunana na 1m ²) v posameznem vinogradu.	20
Slika 6: Število odraslih deževnikov (preračunano na 1m ²) v posameznem vinogradu	21
Slika 7: Odvisnost vsebnosti Cu v tleh od deleža organske snovi v primorski, dolenski in štajski regiji.	22
Slika 8: Odvisnost Cu v tleh od pH tal v primorski, dolenski in štajski regiji.	23
Slika 9: Število vzorčenih odraslih deževnikov po vrstah in regijah.	24
Slika 10: Število deževnikov po rodovih in regijah	25
Slika 12: Vsebnost Cu v posameznih rodovih deževnikov v odvisnosti od celokupne koncentracije Cu v tleh.	26
Slika 13: Vsebnost Cu v deževnikih rodu <i>Aporrectodea</i> in <i>Lumbricus</i> v odvisnosti od koncentracije Cu v tleh	27
Slika 14: Povprečna vsebnost Cu v deževnikih in v tleh ($\pm$ standardna napaka) po rodovih in regijah	28

KAZALO PRILOG

Priloga A: Orto-foto posnetek kot del terenske dokumentacije z označinimi točkami vzorčenja.

Priloga B: Vsebnost Cu v odraslih deževnikih in v tleh na posameznih vzorčnih mestih v vinogradih na Dolenjskem.

Priloga C: Vsebnost Cu v odraslih deževnikih in v tleh na posameznih vzorčnih mestih v vinogradih na Primorskem.

Priloga D: Vsebnost Cu v odraslih deževnikih in v tleh na posameznih vzorčnih mestih v vinogradih na Štajerskem.

Priloga E: Zbrani podatki za posamezne vzorčene vinograde.

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava	Pomen
BF	Biotehniška fakulteta
KIS	Kmetijski inštitut Slovenije
FFS	Fitofarmacevtska sredstva
CEC	Cation Exchanging Capacity
PZC	Point of Zero Charge
Eh	Redoks potencial
BAF	Bioakumulacijski faktor
GERK	Grafična Enota Rabe Kmetijskega gospodarstva

1 UVOD

Baker (Cu) v tleh je bodisi geogenega kot antropogenega izvora. Geogeni izvor prispeva manjši delež Cu v tleh in je posledica preperevanja matične podlage. Večji del je s svojim delovanjem v okolje vnesel človek. Fitofarmacevtska sredstva na podlagi Cu imajo širok spekter delovanja, zato so najpogostejše uporabljena pri gojenju vinske trte. Količina dostopnega Cu v tleh, za rastline in talne živali, je odvisna od lastnosti tal in talnih procesov. Vsakoletna uporaba Cu pripravkov vodi v kopičenje Cu v tleh, kar negativno vpliva na talne živali, med njimi tudi na deževnike. Zaradi pomembnosti deževnikov pri številnih talnih procesih, je bil ta vpliv predmet številnih raziskav. Zmanjševanje števila deževnikov v vinogradniških tleh pomeni manjšo razgradnjo organske snovi, slabše vodne razmere v tleh, manj organsko mineralnih kompleksov in dostopnega dušika, pa tudi manjše vertikalno mešanje tal (Mršić, 1997). Baker sicer sodi med esencialne elemente, vendar je že v majhnem presegu zelo toksičen, se akumulira v tkivih in prehaja na višje nivoje prehranjevalne verige. Nekatere vrste deževnikov so razvile raznolike mehanizme, s katerimi lahko kljubujejo povišanim koncentracijam Cu v tleh, vendar vseeno niso sposobni preživetja pri visokih koncentracijah (Van Rhee, 1969, cit. po Hopkin, 1989).

1.1 POVOD ZA IZDELAVO DIPLOMSKEGA DELA

Dosedanje meritve koncentracij Cu v tleh v Sloveniji so pokazale, da je vsebnost Cu v tleh raznolika. Veliko je starih vinogradov, kjer koncentracije dosegajo kritično vrednost 300 mg kg⁻¹ (Uredba o mejnih ..., 1996). Tako različne koncentracije bi lahko vplivale na številčnost deževnikov v tleh, kakor tudi na pojavnost in na število posameznih vrst v vinogradniških regijah Slovenije.

1.2 NAMEN NALOGE

Na izbranih lokacijah (vinogradih) v primorskem, dolenjskem in štajerskem vinorodnem okolišu bomo ugotavljali povezavo med koncentracijami Cu v tleh in številčnostjo deževnikov, njihovo vrstno zastopanost ter akumulacijo Cu v tkivih. Naloga zajema terensko vzorčenje deževnikov in tal po vinogradih, laboratorijsko analizo talnih lastnosti ter analizo vsebnosti Cu v tleh in v deževnikih. Na podlagi pridobljenih podatkov bomo izrisali grafe, ki bodo ponazarjali odvisnost števila deževnikov od talnih lastnosti in koncentracije Cu, kakor tudi vrstno zastopanost po regijah.

Rezultati bodo pripomogli k razumevanju vpliva Cu na deževnike ter k oceni pogostnosti in številčnosti deževnikov v slovenskih vinogradih. Skušali bomo opredeliti vzroke, ki poleg Cu vplivajo na populacije deževnikov v naravi.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Za raziskavo smo postavili naslednje delovne hipoteze:

1. Vrstna in števična zastopanost deževnikov v vinogradih je odvisna od koncentracije Cu v tleh.
2. Koncentracija akumuliranega Cu v deževnikih je odvisna od koncentracije Cu v tleh in od vrste deževnikov.

3. Na osnovi rezultatov naše raziskave, bomo lahko izbrali vrsto deževnikov, ki bo uporabna kot indikator koncentracije Cu v tleh z biološkim vplivom na talne organizme (dostopni Cu).

2 PREGLED OBJAV

2.1 BAKER V TLEH

Ocenjena vsebnost Cu v zemeljski skorji se giblje med 24 in 55 mg kg⁻¹ (Preglednica 1). Prisoten je v različnih kemijskih oblikah, in sicer vezan na organsko snov, Fe-okside in Mn-okside, silikatne gline tal ter na druge minerale. Koncentracije Cu, ki ga rastline lahko privzamejo, opisujemo kot dostopni Cu (McBride, 1981, cit po Baker, 1990). Leta 1930 so dokazali esencialnost Cu za rastline. Deluje namreč kot del prostetične skupine encimskih sistemov in kot fakultativen aktivator encimskih sistemov (Arnon, 1939, cit. po Baker, 1990).

2.1.1 Geogeni izvori Cu

Baker in mnoge druge kovine imenujemo tudi elementi v sledovih, saj jih zemeljska skorja v kamninah vsebuje manj kot 1 %. Količine, ki izvirajo iz matične podlage, so zato zanemarljive v nasprotju s tistimi, ki jih s svojimi aktivnostmi vnaša človek.

2.1.1.1 Matična podlaga

Kamnine so po svoji mineralni in elementarni sestavi heterogene, zato je tudi vsebnost kovin v njih različna. Pri vulkanskih kamninah kovine lahko pri kristalizaciji magme zamenjajo primarne minerale. Bazaltne kamnine vsebujejo več Cu kot granitne, zelo malo pa ga najdemo v karbonatnih kamninah (Krauskopf, 1972, cit. po Baker, 1990). Gabro in bazaltne kamnine imajo največjo vsebnost Cu.

Med pomembnejše matične podlage uvrščamo sedimentne kamnine, saj predstavljajo 75 % površja Zemlje. Velike količine kovin vsebujejo glinenci in skrilavci, in sicer zaradi svoje sposobnosti adsorpcije kovin. Koncentracije kovin, ki izvirajo iz matične podlage, se spreminjajo pod vplivom pedogenetskih in biogeokemijskih procesov. Preperevanje je proces fizičnega in kemijskega razpadanja mineralov. Povzročajo ga reakcije hidrolize, hidratacije, raztapljanja, oksidacije in redukcije, ionske izmenjave in karbonacije, vse pa je odvisno od vodnih razmer in temperature. Prisotnost organske snovi in biomase v tleh povzroča biokemično preperevanje. Na količino Cu s stališča preperevanja matične podlage vplivata bodisi sproščanje Cu kot posledica preperevanja matične podlage, kot tudi translokacija in akumulacija delcev, ki adsorbirajo Cu (t.j. gline, hidroksidi in organske spojine) (Alloway, 1990).

Preglednica 1: Vsebnost Cu v tleh nastalih na različnih matičnih podlagah (Shorrocks in Alloway, 1987, cit. po Baker, 1990)

Tla	Vsebnost Cu (mg kg ⁻¹)
Šota (histosoli)	15-40
Peščena tla in naplavine (arenosoli, podzoli)	2-10
Peščena tla na granitih	10
Muljasto-ilovnati glinenci na skrilavcih (npr. gleji)	40
Glinenci na glinastih kamninah (gleji)	10-27
Glinenci na bazaltnih kamninah	40-150
Humidni glinenci na apnencih	7-28
Organsko bogati glinenci na naplavinah (črnozjomi)	1-100
Tla razvita na lehnjaku	2-10
Tropska tla	8-128

2.1.2 Antropogeni izvori Cu

2.1.2.1 Kmetijstvo

Bakrovi pripravki se v kmetijstvu uporabljajo kot gnojila in fitofarmacevtska sredstva (FFS). Leta 1917 sta Grossenbacher in Floyd dokazala dobre učinke uporabe bakrovega sulfata pentahidrata ($(\text{CuSO}_4) \times 5\text{H}_2\text{O}$) v tleh in uporabe bordojske brozge ($((\text{CuSO}_4) \text{Ca}(\text{OH})_2) \times 100 \cdot \text{H}_2\text{O}$), kot foliarno škropivo za zatiranje gliv plesnivk. Poleg vinogradov se Cu pripravki uporabljajo tudi v nasadih hmelja, v sadovnjakih ter pri pridelavi poljščin in vrtnin. V nasadih hmelja se uporabljajo za zatiranje hmeljne peronospor (*Pseudoperonospora humuli*). Pripravki imajo širok spekter delovanja in jih uporabljajo po vsem svetu (Schramel sod., 2000, cit. po Komarek in sod., 2009).

V sadovnjakih se Cu pripravki uporabljajo za zatiranje jablanovega in hruševega škrlupa (*Venturia* sp.), listne luknjičavosti koščičarjev (*Clasterosporium carpophilum*) in breskove kodravosti (*Taphrina deformans*) (Cinkarna Celje, 2013). Pri poljščinah in vrtninah se uporabljajo za zatiranje čebulne (*Peronospora destructor*) in krompirjeve plesni (*Phytophthora infestans*) na krompirju in paradižniku, kjer delujejo tudi proti okrogli listni pegavosti paradižnika (*Septoria lycopersici*) (Schramel in sod., 2000; Adriano, 2001, cit. po Komarek in sod., 2009).

V nasadih kave (*Coffea* sp.), avokada (*Persea americana*) ter drugih tropskih kulturnih rastlin se Cu pripravki uporabljajo za zatiranje gnilobe plodov, ki jo povzročata glivi *Colletotrichum kahawae* (CBD Coffe Berry Disease) (Loland in Singh, 2004, cit. po Komarek in sod., 2009) in *Colletotrichum gloesporioides* (gniloba avokada) (Schramel sod., 2000; Van Zwieten in sod., 2004, cit. po Komarek sod., 2009).

Najobsežneje in najpogosteje pa so Cu pripravki uporabljeni na vinski trti (*Vitis vinifera*). Peronospora vinske trte (*Plasmopara viticola*), rdeči listni ožig vinske trte (*Pseudopeziza tracheiphila*) in črna grozdna gniloba (*Guignardia bidwellii*) so le nekatere bolezni, kjer se za njihovo zatiranje uporabljajo Cu pripravki.

Intenzivna uporaba Cu pripravkov v kmetijstvu je v zadnjih stotih letih povzročila obsežno kopičenje Cu v tleh. Dolgotrajna uporaba bordojske brozge v vinogradih, nasadih banan in citrusov lahko vodi do akumulacije visokih koncentracij Cu v tleh, tudi do 1500 mg kg^{-1} (Tiller, 1981, cit. po Baker, 1990).

Tudi za oskrbo rastlin se uporabljajo številni Cu pripravki. Med njimi je vodotopen hidratiran Cu sulfat, najpogosteje uporabljen kot gnojilo.

K zviševanju koncentracije Cu v tleh prispeva tudi gnojenje z živalskim gnojem in uporaba blata iz čistilnih naprav. Kot primer, prašičji gnoj lahko vsebuje do 1990 mg kg^{-1} Cu (Nriagu, 1979, cit. po Baker, 1990).

2.1.2.2 Blata čistilnih naprav

Pri postopku čiščenja odpadnih vod odstranimo le okoli 30 % Cu. Odpadno blato praviloma vsebuje veliko več Cu kot tla in rastline (povprečna vsebnost Cu v blatu čistilnih naprav znaša v Evropi 1230 mg kg^{-1}) (Baker, 1975, cit. po Baker, 1990).

Dodajanje z Cu zelo bogatega blata tlom poveča sprejem Cu v rastline, vendar ni podatkov o morebitnih toksičnih učinkih na rastline, ki uspevajo na karbonatnih tleh. Glavni dejavnik, ki vpliva na dostopnost Cu za rastline, je organska snov v tleh. Razgradnja

organske snovi in biološka aktivnost v tleh sta zato ključnega pomena za regulacijo dostopnosti Cu v tleh (Singh, 1971). Sicer že zelo majhne količine rastlinam dostopnega Cu v odpadnem blatu (npr. 10 mg kg^{-1} z dietilentriamin pentaocetno ekstrahiranega Cu) vplivajo na znižanje encimske aktivnosti v tleh (Mathur in sod., 1980), 5 mg kg^{-1} v talni raztopini, v tleh z visokim pH pospeši denitrifikacijo, medtem ko že sama prisotnost Cu v tleh inhibira nitrifikacijo (Chang in sod., 1982).

Pred uporabo odpadnega blata kot gnojila je zato potrebno določiti vsebnost kovin ter patogenov v blatu ter predvideti dolgoročno obremenitev tal in rastlin s kovinami (Uredba o uporabi ..., 2008).

2.1.2.3 Atmosferski depozit

Doprinos Cu iz zraka v tla v obliki dežja in suhega depozita je odvisen od količine Cu v industrijskih emisijah in v vetrnem prahu. Sežiganje lesa, odpadkov, premoga in ostalih fosilnih goriv za pridobivanje elektrike prispevajo k onesnaženju, vendar so te količine v glavnem majhne in omejene na ožja območja. Emisije talilnic kovin so po sestavi kovin kompleksne in vplivajo na širše območje. V raziskavi v Pensilvaniji so npr. poročali o prisotnosti kovin iz emisij tudi do 19 km daleč od talilnice Zn (Buchaeur, 1973). Kovine se na rudarskih območjih lahko izpirajo v vodna telesa in povzročijo akumulacijo kovin v vodnih organizmih, prav tako pa zaradi erozije delcev povzročajo onesnaženost aluvialnih tal.

Več kot 80 % vsega Cu za potrebe človeštva je bilo pridobljenega v dvajsetem stoletju, od tega 30 % v sedemdesetih letih. Okoli 1 % od $307 \times 10^6 \text{ t}$ pridobljenega Cu je bilo spuščena v atmosfero, kar je trikratna količina danes prisotnega Cu v atmosferi. Zaradi kratke življenjske dobe zračnih aerosolov je verjetnost, da bi lahko atmosfera sprejela še več Cu, majhna (Nriagu, 1979, cit. po Baker, 1990).

Atmosfera je pomemben medij za prenašanje Cu na oddaljena področja Zemlje. Analize polarnega ledu so pokazale vsebnost Cu kljub odmaknjenosti od virov onesnaženja (Nriagu, 1979, cit. po Baker, 1990). Kljub atmosferskim depozitom v tleh lahko nastopi pomanjkanje Cu za organizme, predvsem pri nekaterih kemijskih oblikah Cu in zaradi adsorpcije Cu na talne delce. Obratno lahko z apnenjem tal in z dodajanjem humusa omejimo toksičnost Cu za rastline in ljudi (Baker, 1988, cit. po Baker, 1990).

2.2 ZAKONODAJA

Na podlagi zakona o varstvu okolja je v Sloveniji v veljavi Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh, kjer so podane mejna, opozorilna in kritična imisijska vrednost za Cu (preglednica 2) (Uredba o mejnih ..., 1996). Ta uredba velja za celotno območje Republike Slovenije, ne glede na sestavo tal ali na vrsto rabe tal.

Pojmi, ki so pomembni za razumevanje te uredbe so:

- **Imisija snovi v tleh** je koncentracija posamezne nevarne snovi v tleh in se izraža v miligramih ali mikrogramih na kilogram mase suhih tal.
- **Reprezentativni vzorec tal** je zmes 25-ih vzorcev tal, odvzetih na največ 5 ha velikem območju z enako vrsto rabe in je namenjen analizi onesnaženosti tal. Izmerjene

vrednosti nevarnih snovi v tleh veljajo za reprezentativen vzorec tal, ki je bil posušen do konstantne teže pri temperaturi do največ 40 °C.

- **Mejna imisijska vrednost oz. mejna vrednost** je koncentracija posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni takšno obremenitev tal, da se zagotavljajo življenske razmere za rastline in živali, in pri katerih se ne poslabšuje kakovost podtalnice ter rodovitnost tal. Pri tej vrednosti so učinki ali vplivi na zdravje človeka ali okolje še sprejemljivi.
- **Opozorilna imisijska vrednost oz. opozorilna vrednost** je koncentracija posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni pri določenih vrstah rabe tal verjetnost škodljivih učinkov ali vplivov na zdravje človeka ali okolje.
- **Kritična imisijska vrednost oz. kritična vrednost** je koncentracija posamezne nevarne snovi v tleh, pri kateri zaradi škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi ali živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode.

Preglednica1: Mejna, opozorilna in kritična imisijska vrednost za Cu in njegove spojine, izražene kot Cu (Uredba o mejnih ..., 1996)

Mejna vrednost (mg kg ⁻¹ suhih tal)	Opozorilna vrednost (mg kg ⁻¹ suhih tal)	Kritična vrednost (mg kg ⁻¹ suhih tal)
60	100	300

2.3 BAKER IN VINOGRADI

Bakrove spojine so pomembna sredstva za varstvo rastlin v integriranem in biološkem vinogradništvu, saj nam omogočajo uspešno preventivo in kurativo proti številnim obolenjem trte. Najbolj znano fitofarmacevtsko sredstvo (FFS) za zatiranje glivičnih okužb je bordojska brozga, ki je zmes Cu sulfatna kalcijevega hidroksida ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$). Poleg učinkovitega zatiranja peronospor deluje bordojska brozga zaviralno tudi na številne druge glive, bakterije, pršice in nematode. Baker deluje tudi na oidij vinske trte, kjer ovira oblikovanje kleistotecijev, ki so prezimitvene oblike glive (Vercesi in sod., 2001).

Zaradi svojega delovanja na številne glive in bakterije, Cu pripravki uspešno omilijo škodo po toči, ker preprečujejo obolenja poškodovanega grozdja. Poznan je, na primer, pozitiven učinek poznega škropljenja vinske trte, ki pripomore k ohranitvi jagodne kožice ter preprečuje bujno rast trsa in dozorevanje rodne lesa (Pušnar, 2006).

V Sloveniji se je zgodil prehod iz konvencionalnega na ekološko in integrirano kmetijsko pridelavo. Uporaba Cu je pri slednji omejena, v ekološkem pa so za tretiranje vinske trte dovoljeni le Cu in žveplovi pripravki. V zgodnjih fazah rasti vinske trte sicer ne uporabljamo Cu, ker povzroča osip cvetov in ožige pri temperaturah nižjih od 8 °C. Čeprav so se v zadnjih 40-ih letih pojavila različna nadomestna sintetična škropiva, le-ta ne morejo v celoti nadomestiti učinkovitosti Cu (Pušnar, 2006).

2.4 DOSTOPNOST IN MOBILNOST Cu V TLEH

Glede na svoje fizikalne in kemijske lastnosti lahko celokupni Cu v tleh razdelimo na šest glavnih kemijskih oblik. Te so: I) vodotopni Cu ioni ter anorganski in organski kompleksi v

talni raztopini; II) izmenljivi Cu; III) stabilni organski kompleksi v humusu; IV) na Mn-, Fe- in Al-hidrokside adsorbiran Cu; V) na glineno humusne koloidne komplekse adsorbiran Cu, in VI) v kristalno rešetko talnih mineralov vezan Cu (Alloway, 1990).

Labilni in rastlinam ter ostalim organizmom dostopni Cu se nahaja predvsem v talni raztopini in v izmenljivi obliki, t.j. delno adsorbiran na talne koloide. Delež celokupnega Cu, ki ga lahko potencialno privzamejo organizmi, imenujemo biodostopni Cu.

Najpomembnejši kemijski proces, ki vpliva na biodostopnost Cu v tleh, je njegovo premeščanje med trdno in tekočo fazo. Ta v največji meri vpliva na koncentracijo kovinskih ionov in kompleksov v talni raztopini in posledično tudi na koreninski privzem Cu v rastline.

2.4.1 Kemijski procesi, ki uravnavajo adsorpcijo Cu v tleh

2.4.1.1 Kationska izmenjevalna kapaciteta (»Cation Exchanging Capacity«, CEC)

Večina kovin, med njimi tudi Cu, se v tleh nahaja v kationski obliki, zato je za njihovo adsorpcijo odgovorna negativno nabita površina talnih koloidov, npr. glinenih mineralov in humusa. Zaradi vzdrževanja elektrokemijskega ravnotežja, se na negativno površino koloidnih delcev koordinirajo kationi, ki izhajajo iz talne raztopine. Izmenjevanje je reverzibilno ter odvisno od pH talne raztopine in od afinitete med koloidnim delcem in kationom. pH vrednost, pri kateri imajo koloidi na površini naboj 0, imenujemo točka ničelnega naboja (»Point of Zero Charge«, PZC). Ker imajo hidroksidi PZC pri $\text{pH} > 8$, zelo malo prispevajo k CEC. Čeprav je organske snovi na splošno v tleh količinsko manj kot glinenih mineralov, prispeva veliko k CEC zaradi svoje velike adsorpcijske kapacitete pri $\text{pH} > 5$ (Alloway, 1990).

2.4.1.2 Specifična adsorpcija

Specifična adsorpcija je izmenjava kovinskih kationov in anionov, ki s površino liganda tvorijo delno kovalentno vez. Tvorba vezi poteka med ioni kovin in glinenimi minerali, humusom ter hidratiranimi oksidi. Kovine, ki so zmožne tvoriti hidroksidne komplekse, so najmočnejše specifično adsorbirane. Reakcija je odvisna od pH in je povezana s hidrolizo kovinskih ionov. Ravnotežna konstanta reakcije (pK) hidrolize iona je merilo za specifično adsorpcijo. Manjša kot je vrednost konstante, večja je moč vezi. Stopnja difuzije iona se povečuje z vrednostjo pH, in sicer do maksimuma, ki je enak pK konstanti reakcije $\text{Cu}^{2+} = \text{CuOH}^+$ na mineralni površini. Ob nadaljnjem naraščanju pH nastopi desorpcija (Brummer, 1986, cit. po Alloway, 1990).

2.4.1.3 Ko-precipitacija

Pri ko-precipitaciji pride do izomorfne zamenjave, to je do zamenjave Cu ionov v kristalni mreži z ioni podobnega radia. Cu običajno ko-precipitira s silikatnimi in nesilikatnimi glinami (npr. CaCO_3 - CuCO_3), kot tudi z Fe oksidi (Lindsay, 1979, cit. po Alloway, 1990).

2.4.1.4 Tvorba organskih kompleksov

Kovine se lahko adsorbirajo na karboksilne skupine humusnih kompleksov, predvsem humusnih kislin. Ligandi z nizko molekulsko maso, ki so lahko tudi nehumoznega izvora,

tvorijo topne kelate s kovinami in s tem preprečujejo njihovo adsorpcijo oz. ko-precipitacijo (Chen, 1986, cit. po Alloway, 1990).

2.4.1.5 Nastanek koordinacijskih kompleksnih spojin

Koordinacijska kompleksna spojina se tvori ob vezavi enega ali več ligandov na centralni kovinski ion. Organski ligandi so lahko topne huminske in fulvične kisline, citronska in oksalna kislina, med anorganskimi ligandi pa sta najpomembnejša hidroksidni in kloridni ion. Berrow in sod., 1980 (cit. po Rieuwerts in sod., 1998) navajajo, da se 99 % kovin v talni raztopini nahaja v obliki koordinacijskih spojin.

Raztapljanje organske snovi in tvorba Cu organskih kompleksov lahko povzroči mobilnost Cu pri pH nad 7.5 (Arias in sod., 2006).

2.4.1.6 Raztapljanje in obarjanje

Večina Cu mineralov je preveč topnih, da bi lahko bili vzrok za tako nizko aktivnost Cu^{+2} v talni raztopini. Enostavne oblike obarjenega Cu v tleh, kot so $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuO ali $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, v splošnem niso odgovorne za adsorpcijo Cu, ki ga dodajamo tlom (McBride, 1981, cit. po Baker, 1990). Najmanj topen Cu mineral je Cu ferit (CuFe_2O_4). Isti avtor navaja, da se tetraedrična koordinacija Fe^{3+} lahko vzdržuje kljub razmeram v tleh. Prisotnost železa in aluminija v tleh ter njuna velika specifična površina sta vzrok, da se Cu^{+2} kemično veže v oktaedrični obliki, kar povzroči manjšo aktivnost Cu^{+2} v raztopini, kot pa pri čistih Cu^{+2} mineralih.

2.4.1.7 Reakcija tal (pH)

Reakcija tal (pH) je najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na delež topnega in rastlinam dostopnega Cu. Z zniževanjem pH se zmanjšuje tudi delež obarjenih kovin. Glavna pot zmanjševanja deleža kovin v talni raztopini postane sorpcija. Pri manjših vrednostih pH je koncentracija protonov (H^+) v raztopini večja. Posledica tega je protonacija karboksilnih kislin humusa in s tem zmanjšanje CEC pri $\text{pH} < 5$. Zaradi visoke koncentracije H^+ v raztopini ti močno konkurirajo in izpodrivajo kovinske katione s tistih veznih mest na talnih koloidih, ki sicer niso odvisna od pH. Zaradi navedenih procesov se delež kovin v talni raztopini večja z zniževanjem pH vrednosti talne raztopine (Leštan, 2002).

V kislih tleh je Cu v talni raztopini prisoten večinoma v obliki Cu^{2+} iona. Pri ostalih pH vrednosti se Cu nahaja v oblikah CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuCO_3 , Cu^+ , CuCl , $\text{Cu}(\text{Cl}_2)^-$ in v organskih kompleksih. Cu^{2+} je prevladujoč ion v talni raztopini s pH vrednostjo pod 6.9, medtem, ko je pri pH vrednosti nad 7 prisoten v obliki $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ (Lindsay, 1979, cit. po Baker, 1990).

2.4.1.8 Redoks potencial (Eh)

Redoks potencial (Eh) predstavlja težnjo tal in drugih elementov po oddajanju in sprejemanju elektronov, kar ustvarja razliko potencialov in s tem omogoča prenos elektronov. Velja, da je delež vodotopnih kemijskih oblik kovin v talni raztopini večji v tleh z nizkim Eh in v tleh, ki so nasičena z vodo (Leštan, 2002).

Železovi in manganovi oksidi se pojavljajo kot obloge na talnih delcih, kjer so lahko posamezno pomešani z glinenimi delci kot zapolnitve praznih prostorov, oz. v obliki koncentričnih nodulov. Železovi in manganovi oksidi so glede na Eh in pH tal podvrženi

ali raztapljanju ali obarjanju. Z naraščanjem pH in Eh pride do obarjanja oksidov, vendar se železovi oksidi oborijo prej kot manganovi. Pri znižanju pH in Eh se oksidi železa in mangana raztapljajo, pri tem da so manganovi oksidi bolj topni od železovih. Že majhne spremembe Eh in pH lahko povzročijo raztapljanje, oziroma obarjanje železovih in manganovih oksidov (O'Neill, 1985, cit. po Alloway, 1990). Obarjanje Fe se začne s tvorbo želatinastega hidrata železovega oksida (ferihidrit, $\text{Fe}_5(\text{O}_4 \text{H}_3)_3$), ki se s staranjem dehidrira v bolj stabilno obliko, npr. goethit. Ferihidrit se so-obarja z drugimi ioni (Cu, Mn, Mo, Ni, V, Zn). Z nastopom reduktivnih razmer v tleh se začne raztapljanje železovih in manganovih hidroksidov. So-obarjeni ioni se nato sprostijo v talno raztopino (O'Neill, 1985, cit. po Alloway, 1990).

Zaradi interakcij med talnimi lastnostmi in kemijskimi procesi v tleh, na obliko kemijske vezave in na usodo kovin v tleh močno vplivajo delež organske snovi, železovih in manganovih oksidov ter prisotnost kationov in anionov v talni raztopini.

Ker večina tal vsebuje le med 20 in 30 mg kg⁻¹ celokupnega Cu, je le-ta večinoma prisoten v ionski obliki adsorbiran na površino mineralov, vezan ali so-obarjen na silikatne in nesilikatne gline oz. v obliki organskih ionskih kompleksov (Lindsey, 1979; MckBride, 1981, cit. po Baker, 1990). Baker, ki ga dodamo v tla, je izpostavljen hidrolizi ter tvorbi anorganskih in organskih kompleksov.

2.5 DOSTOPNOST Cu ZA RASTLINE

Za hitro oceno biodostopnosti Cu za rastline (fitodostopnost) so zadovoljive že enostopenjske ekstrakcije tal, npr. z 0.1 M raztopino CaCl_2 , z 0.05 M raztopino etilendiamin tetraacetata (EDTA) ali z 0.005 M raztopino dietilentriamin pentaacetata (DTPA) (Brun in sod., 1998). Omenjene metode se uporabljajo za oceno potencialnega tveganja za rastline zaradi biodostopnosti kovin v tleh (Chrastný in sod., 2008), čeprav pogosto precenjujejo dejansko fitodostopnost kovin.

Stopnja absorpcije Cu v rastline je med najnižjimi med esencianimi elementi, poleg tega pa obstajajo velike razlike med posameznimi sortami in kultivarji (Baker, 1976; Loneragan, 1987, cit. po Baker, 1990).

Dostopnost Cu za rastline je največja v kislih tleh z nizko CEC. Padec pH poveča privzem Cu zaradi povečanja aktivnosti Cu^{+2} v talni raztopini, kar je posledica raztapljanja mineralov, zmanjševanja kompleksnosti organske snovi v tleh in nižanja adsorpcije Cu na trdno fazo tal. Čeprav je v organskih tleh pri pH 4.8-6.3 manj kot 0.2 % Cu prisotnega v prosti obliki, se le-ta nahaja tudi v obliki labilnih lipofilnih organskih kompleksov, ki lahko prehajajo celično membrano (Karlsson in sod., 2006).

Ko rastlina privzame Cu^{+2} , se ta lahko premešča po rastlini preko ksilema ali floema do mesta, kjer tvori komplekse z organskimi dušikovimi spojinami (npr. aminokislinami). Večina Cu^{+2} , ki ga rastlina sprejme, se kljub pomankanju Cu^{+2} v zračni coni ne bo translocirala po rastlini navzgor. Vezavo in transport Cu^{+2} v poganjkih nadzira metabolizem dušika (N). Pri velikih količinah N in omejeni količini Cu^{+2} se bo rastlina sprva razvijala normalno, kasneje pa se bodo zaradi nemobilnosti Cu in prenehanja rasti korenin razvile kloroze in nekroze, ki so znaki pomanjkanja Cu. Cu, Fe in Mn štejemo med nemobilne elemente v rastlinah, saj se ne translocirajo iz starih listov v novo nastajajoče dele.

2.6 STRUPENOST Cu ZA TALNE ORGANIZME

Vpliv kovin na talne organizme je bil predmet številnih raziskav v preteklosti. Prekomerna vsebnost kovin v tleh do določene mere vpliva na vse talne organizme, vendar je vpliv odvisen od talnih lastnosti, količine in lastnosti kovin ter od fizioloških lastnosti in prilagoditev posameznih organizmov. Kaže se lahko kot zmanjšanje prisotnosti organizma, motnja v razmnoževanju in gibanju ali povišanju smrtnosti organizmov. Te spremembe se odražajo tudi na nivoju talnih lastnosti, saj imajo talni organizmi pomembno vlogo pri razgradnji organske snovi in drugih procesih v tleh (Hopkin, 1989).

Prebavni sistem talnih živali se je zaradi močne selekcije skozi evolucijo močno izoblikoval v svoji morfologiji in fiziologiji. V njem potekajo sprejem, transport, skladiščenje in izločanje kovin. Nekatere skupine talnih živali imajo razvit učinkovit sistem za razstrupljanje, pri čemer se kovine pretvorijo v inertno obliko in se s tem prepreči njihov vpliv na biokemijske reakcije v tkivih. Presežek ne-esencialnih kovin, ki vstopijo v srednje črevo, se lahko npr. veže na proteine in v različne membranske granule, kjer je shranjen v inertni obliki. Pri deževnikih se kovine skladiščijo v kloragosomih v kloragogenem tkivu, ki obdaja črevo. Postopoma se v neškodljivih kemijskih oblikah izločajo skozi nefridije v celomsko tekočino. Talne živali v svojih prebavilih vsebujejo številne encime, ki so aktivni pri različnih vrednostih pH. Usoda kovin, ki vstopijo v prebavni sistem, je zato močno odvisna od pH. Kovine se bolje absorbirajo pri nizkih vrednostih pH. Nekatere talne živali (npr. polži in pršice) s svojimi simbiotskimi mikroorganizmi, ki so prisotni v njihovem črevesju, kontrolirajo usodo kovin. Pri pršicah ti simbionti uravnavajo potrebo po kovinah. Simbionti tudi akumulirajo kovine ali pa s svojimi izločki vplivajo na spremembo njihove kemijske oblike. Podobne strategije določajo, kateri organizmi so sposobni preživetja v tleh s prekomerno vsebnostjo kovin. (Hopkin, 1989).

2.7 STRUPENOST Cu ZA DEŽEVNIKE

Pomen vloge deževnikov pri rodovitnosti tal je poznal že Darwin. Deževniki so izrednega pomena v pedogenetskih procesih in pri tvorbi rodovitnih tal. Njihova aktivnost poteka po celotnem talnem profilu do matične podlage. Hranijo se z bolj ali manj razgrajeno organsko snovjo, zato jih prištevamo med sekundarne razgrajevalce. Pomembno vlogo imajo tudi pri vertikalnem mešanju tal, saj prenašajo organsko snov v globino in mineralne delce na površino tal. Pri hranjenju zaužije deževnik poleg organske snovi tudi minerale. V prebavilih se nato tvorijo organsko-mineralni kompleksi, hkrati pa deževnik v prebavila izloča kalcijeve ione, ki med seboj povežejo posamezne talne delce, kar bistveno pripomore k izboljševanju sestave in strukture tal. Deževniki imajo največji pomen v procesih nastajanja humusa. Bakterije, ki jih deževnik zaužije oz. ki so del njegove prebavne flore, razgrajujejo tudi odmrle ostanke njegovih prebavil. Pri tem se sprošča amonijak, ki vzdržuje bazično reakcijo v prebavilih, kar olajša potek procesov oksidacije. Iztrebki deževnikov (glistine) vsebujejo veliko več humusa, dušika, fosforja, kalija, kalcija od navadnih tal, poleg tega pa se ta hranila nahajajo v rastlinam dostopnejših kemijskih oblikah (Mršić, 1997).

Tla, kot življenjski prostor deževnikov, so pogosto izpostavljena različnim virom onesnaženja. Sposobnost deževnikov, da kopičijo kovine v tkivih, je bila prepoznana že leta 1895, ko je Hogg objavil, da deževniki, ki živijo na rudarskih območjih, kopičijo svinec v črevesnem tkivu. Ta pojav postane pomembnejši, ko se kovine nalagajo v tkivih v

večjih količinah, kot je sicer njihova koncentracija v tleh (bioakumulacija), in se nato začnejo premeščati višje po prehranjevalni verigi. Deževniki so sposobni kopičenja in izločanja nekaterih kovin iz telesa. Njihovo črevesje obdajajo celice (kloragocite), ki tvorijo kloragogeno tkivo, v katerem se kopičijo produkti presnavljanja. V kolikor vsebujejo produkti presnavljanja tudi kovine, se le-te shranjujejo v obliki granul (kloragosomi) v kloragocitah (Ireland in Richards, 1981, cit. po Hopkin, 1989). Kasneje se lahko kovine postopoma izločijo iz organizma preko nefridijev z izločanjem odmrlih kloragocit ali pa ostanejo v telesu v obliki nodulov v celomskih vrečkah v predelu zadka. Razmerje med koncentracijo določene kovine v tkivih deževnika in v tleh izrazimo z bioakumulacijskim faktorjem (BAF), ki znaša za Cd najmanj 5, za Zn od 2 do 5, za Pb in Cu pa je vedno manjši od 1 (Van Hook, 1974, cit. po Hopkin, 1989; Van Rhee, 1977, cit. po Hopkin, 1989; Czarnowska in Jopkiewicz, 1978, cit. po Hopkin, 1989; Carter in sod., 1980, cit. po Hopkin, 1989).

Na preživetje določene vrste deževnika v onesnaženih tleh najbolj vpliva pH tal. Nizek pH vpliva na povečano dostopnost Cu za deževnike, prav tako tudi drugih kovin (npr. Zn, Cd in Pb). Razlike se pojavljajo med vrstami in tudi znotraj same vrste. Vrste z bolj razvitimi kalcijevimi žlezami so sposobne preživetja na bolj onesnaženih tleh, saj z izločanjem Ca v črevesno votlino nevtralizirajo pH v njej. Bioakumulacija Cu je na splošno manjša glede na druge kovine ($BAF < 1$), vendar velik problem predstavlja njegova toksičnost. Reprodukcijska vrsta *Allolobophora calignosa* je npr. motena že pri vsebnosti 50 mg kg^{-1} Cu v tleh (Van Rhee, 1969, cit. po Hopkin, 1989). Deževniki, ki so jih vzorčili v bližini rafinerije Cu v Liverpoolu v Angliji, so imeli slabo razvito sedlo (Hunter in sod., 1987). Znano je, da se na golf igriščih uporablja raztopina Cu sulfata ($(\text{CuSO}_4) + \text{H}_2\text{O}$) za zatiranje/odganjanje deževnikov. Cu je zelo učinkovit fungicid, njegova uporaba pa predstavlja največji problem prav v vinogradih. Na mnogih mestih so zato deževniki že popolnoma odsotni (Niklas in Kennel, 1978, cit. po Hopkin, 1989). Zaradi zmanjševanja populacij deževnikov prihaja posledično do akumulacije nerazgrajenega organskega materiala.

Količina nakopičenih kovin v deževnikih je odvisna od kemijskih lastnosti posameznega elementa, temperature in tipa tal. Za vrsto *Eisenia foetida* so karbonatne in oksidne oblike Cu, Ni, Cd in Pb manj toksične kot pa njihove acetatne, kloridne, nitratne ali sulfatne oblike (Malecki in sod., 1982, cit. po Hopkin, 1989). Vpliv pH in T na vrsto *Lumbricus rubellus* je preiskoval Ma, 1984. Ugotovil je, da se tvorba kokonov zmanjšuje z nižanjem pH in T tal. V najbolj onesnaženih tleh se Pb in Cu začneta akumulirati v semenskih vrečkah in v živčnem tkivu kot posledica detoksifikacije črevesja, kar vpliva na tvorbo kokonov.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 IZBOR LOKACIJ

Na podlagi podatkov pridobljenih na Kmetijskem Inštitutu Slovenije (KIS) za pretekla obdobja, smo izbrali vinograde z različnimi koncentracijami Cu. Vinograde smo izbirali tako, da smo, po naših zmogljivostih, zajeli ves koncentracijski gradient Cu v tleh, in sicer od neonesnaženih tal do prekomerno onesnaženih tal. Da bi čim bolj omejili talne dejavnike, ki bi lahko poleg prisotnosti Cu vplivali na pojavnost in na lastnosti deževnikov, smo izbirali le med vinogradi, ki se nahajajo na karbonatni podlagi. Izbrali smo 22 posestev-vinogradov v različnih predelih Slovenije, in sicer 6 na Primorskem, 10 na Dolenjskem in 6 na Štajerskem, saj smo pričakovali razlike v vrstni sestavi in številčnosti populacij deževnikov tudi med posameznimi regijami. Izbor vinogradov je prikazan v preglednici (preglednica 3).

Preglednica 3: Izbrani vinogradi na območju Primorske, Dolenjske in Štajerske (Pedološke ..., 2013)

Lokacija	Starost vinograda (leta) (leta)	Talni tip	Vsebnost Cu (mg kg ⁻¹)*
ŠTAJERSKA			
GERK 3409135	8	evtrična rjava tla na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	29,7
GERK 2291062	10	evtrična rjava tla na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	39,4
GERK 3497613	20	evtrična vinogradniška tla (vitosol)	200,0
GERK 677882	20	rendzina na laporju, sprsteninasta in evtrična rjava tla na laporju, tipična	65,0
GERK 677885	15	evtrična vinogradniška tla (vitosol)	89,9
GERK 576515	20	evtrična rjava tla na mehkih karbonatnih kamninah (lapornati apnenci)	129,3
DOLENJSKA			
GERK 1382810	30	evtrična vinogradniška tla (vitosol)	514,0
GERK 3515165	40	evtrična rjava tla na mehkih karbonatnih kamninah (lapornati apnenci)	262,0
GERK 545375	82	distrična rjava tla na vezanih klastičnih kamninah, rigolana vinogradniška tla (vitosol) distrična	59,4
GERK 461938	58	distrična rjava tla na vezanih klastičnih kamninah, rigolana vinogradniška tla (vitosol) distrična	47,1
GERK 3103155	0	evtrična rjava tla na vezanih klastičnih pelitskih in psamitskih kamninah	326,0
GERK 1834565	15	evtrična rjava tla na vezanih klastičnih pelitskih in psamitskih kamninah	508,0
GERK 412001	32	evtrična rjava tla na laporju	82,5
GERK 412002	35	evtrična rjava tla na vezanih klastičnih pelitskih in psamitskih kamninah	193,0

Se nadaljuje

nadaljevanje

Lokacija	Starost vinograda (leta) (leta)	Talni tip	Vsebnost Cu (mg kg ⁻¹)*
GERK 3521699	20	evtrična rjava tla na vezanih klastičnih pelitskih in psamitskih kamninah	99,0
GERK 1659865	35	rendzina na dolomitu, sprsteninasta in rjava pokarbonatna tla na dolomitu, tipična, srednje globoka	378,9
PRIMORSKA			
GERK 169369	15	evtrična rjava tla na eocenskem flišu	31,5
GERK 1956422	8	rjava pokarbonatna tla na apnencu in dolomitu, tipična in rendzina na apnencu in dolomitu, sprsteninasta	52,8
GERK 807035	5	rdeče rjava tla (terrarossa), kremenica, tipična	131,6
GERK 3597630	15	rjava pokarbonatna tla na apnencu in dolomitu, tipična in rendzina na apnencu in dolomitu, sprsteninasta	79,9
GERK 761460	3	rendzina na apnencu in dolomitu, antropogena in rjava pokarbonatna tla na apnencu in dolomitu, tipična	146,0
GERK 4419914	16	rjava pokarbonatna tla na apnencu in dolomitu, tipična in rendzina na apnencu in dolomitu, sprsteninasta	79,8

3.1.1 Priprava dokumentacije

Za vse lokacije smo pripravili terenske obrazce in potrebno dokumentacijo, t.j. orto-foto posnetke GERK-ov, v katerih so se nahajali posamezni vinogradi in seznam lastnikov z njihovimi kontaktnimi podatki. Primer terenske dokumentacije kot orto-foto posnetek za terensko delo je v prilogi (priloga A).

3.2 VZORČENJE

Vzorčenje vinogradov je potekalo od konca meseca maja 2012 do sredine junija istega leta. Da bi omejili morebitni vpliv sezonskih vremenskih sprememb, smo vzorčenja izvedli v kratkem časovnem razmahu. Običajno nas je na lokacijo pospremil lastnik parcele, ki smo ga predhodno zaprosili za dovoljenje za vzorčenje. Najprej smo si GERK ogledali in lastnika povprašali o načinu obdelovanja vinograda, o sorti gojene vinske trte ter o starosti nasada. Glede na orografske značilnosti terena in na podlagi pridobljenih informacij smo izbrali tri reprezentativna vzorčna mesta, kjer smo vzorčili deževnike in tla za nadaljne analize. V primeru, da je bil določen GERK sestavljen iz večih vinogradov, smo se osredotočili le na enega, da bi se izognili vplivu raznolikosti terena (nagib terena, vodne razmere, osončenost, globina tal).

3.2.1 Vzorčenje deževnikov

Deževnike smo vzorčili v vsakem vinogradu v treh vzorčnih jamah premera 50 cm in globine 0,5 m (slika 1). Z lopatico smo na površini previdno odstranili plast travne ruše in tako sprostili vhode rovov deževnikov. V primeru nagnjenega terena smo površino tudi

nekoliko zdravljali. Odstranjeno plast tal smo prenesli na razgrnjeno plastično folijo in ročno prebrali. Sledilo je dvakratno zalivanje površine z raztopino formalina, ki smo jo sproti pripravljali. Prvič smo tla zalili s 3 L 0,4 % raztopine. Zalivali smo postopoma, tako da je raztopina počasi pronicala v tla. V naslednjih 20 minutah smo opazovali vzorčno mesto in pobirali deževnike, ki so prišli na površje. Shranili smo jih v označene posodice, v katerih je bilo nekaj vlažnih tal z vzorčnega mesta. Sledilo je drugo zalivanje s 3 L 0,8 % raztopine formalina, pri katerem so prilezli na površje deževniki, ki so se nahajali globlje v tleh. Tudi te smo shranili v isti posodi. Vsako vzorčno mesto smo na koncu izkopali z lopato do globine 0,5 m, izkopana tla zložili na folijo, ter jih ročno prebrali. Tako smo na vzorčni ploskvi povzorčili vse deževnike. Vzorčno jamo smo na koncu zasuli. Posodice z deževniki smo navlažili, pokrili s prozorno naluknjano folijo in postavili v termično izolirano torbo za prevoz do laboratorija.



Slika 1: Izkop vzorčne jame in vzorčenje deževnikov

3.2.2 Vzorčenje tal

Na vsakem vzorčnem mestu smo vzorčili tla, v premeru 0,5–2 m okrog posamezne vzorčne jame (slika 2). Vsakič smo pobrali po 5 vzorcev na dveh različnih globinah, in sicer na globini 0–20 cm in 20–40 cm. Vzorčenje smo opravili z dvema različno širokima sondama. Zgornjo globino smo vzorčili s širšo sondo, nato pa z ožjo sondo v isti luknji še spodnjo globino tal. Vzorce smo shranili v označene papirnate vrečke.



Slika 2: Vzorčenje tal na dveh globinah z uporabo dveh različnih sond in shranjevanje vzorcev

3.3 PRIPRAVA VZORCEV DEŽEVNIKOV ZA ANALIZO

Zelo pomembno je bilo, da smo deževnike čimprej odpeljali v laboratorij in jih nadalje obdelali, saj smo s tem preprečili njihov (prezgodnji) pogin zaradi vročine v vozilu. S tem namenom smo zemljo med transportom še nekajkrat navlažili z vodo. Ker nas je zanimala vsebnost Cu v tkivih deževnikov, smo jim najprej omogočili praznjenje črevesja. Deževnike smo sprali v vodi in jih rahlo popivnali s papirnato brisačo. Po 1-3 deževnike, odvisno od njihove velikosti, smo dali v čiste plastične petrijevke s premerom 8 cm, v katerih smo dno obložili z vlažno papirnato brisačo (slika 3). Petrijevke z deževniki smo postavili v temo na sobno temperaturo za 48 ur, tako da so deževniki iz črevesja izločili zaužito zemljo. Po dveh dneh smo deževnike premestili v enako pripravljene čiste petrijevke in s tem preprečili koprofagijo. Petrijevke smo pustili v temi še en dan. Deževnike smo nato sprali z vodo, jih ločili na juvenilne in odrasle ter stehali, da smo dobili podatek o njihovi sveži biomasi za vsako vzorčno mesto. Vsak osebek smo shranili v svoji epruveti v 96 % etanolu v hladilniku do nadaljnjega.

Meritve vsebnosti Cu v deževnikih so zaradi reprezentativnosti podatkov potekale le na odraslih, spolno zrelih osebkih, t.j. deževnikih z jasno razvitim sedlom in pubertetnimi izboklinicami. Odrasle deževnike smo določili do vrste oz. do rodu, če zunanje morfološke lastnosti niso omogočile natančnejšega določanja, z uporabo določevalnih ključev (Mršić, 1997). Najpomembnejši morfološki znaki za določitev vrst so oblika in lokacija pubertetnih izboklinic in sedla ter barva telesa. To delo je v celoti opravila mentorica. Skupno je bilo določeno 124 deževnikov. Deževnike smo nato liofilizirali, razrezali na čim manjše koščke in jih strli v keramični terilnici. Tako pripravljen suh material smo stehali in razklopili z zlatotopko v mikrovalovki (SIST ISO 11466, 1996).

Pri razklopu z zlatotopko smo uporabili reakcijske epruvete iz polipropilena (PP), ki smo jih pred vsako uporabo očistili, in sicer: v vsako posodo smo dali 4 mL dušikove kisline

(65 % HNO_3) in segrevali po programu »soil express«. PP epruvete smo po končanem programu pustili, da so se nekoliko ohladile, nato odprli, večkrat splaknili z deionizirano vodo (dH_2O) in dali v sušilnik.

V čiste in označene PP epruvete smo dali stehtane vzorce deževnikov ter postopoma dodali 3 mL 37 % HCl in 1 mL 65 % HNO_3 . Reakcijske mešanice smo pustili približno 10 minut, da so se vzorci prepojili s kislinami. V enem sklopu smo pripravili 38 takih PP epruvet, med njimi je ena vedno vsebovala referenčni material ALVA-PA10/1 zaradi kontrole pravilnosti postopka in meritev. Posode smo zatesnili in jih zložili na stojalo v mikrovalovni pečici. Razklop smo opravili po programu »soil«. Po končanem razklopu smo stojalo postavili v digestorij in posode previdno odprli. Vsebino smo prelili v 10 mL merilne bučke in jih do oznake napolnili z dH_2O . Ko se je tekočina ohladila, smo jo prefiltrirali skozi 0,45 μm membranski filter.

Koncentracijo Cu v tkivih deževnikov smo izmerili z atomskim absorpcijskim spektrofotometrom (Varian AA240FS). Končno vsebnost Cu v tkivih deževnikov smo podali v mg kg^{-1} .



Slika 3: Praznjenje črevesja deževnikov in shranjevanje osebkov v etanolu

3.4 ANALIZA TAL

Za nadaljnje laboratorijske analize smo vse vzorce tal pripravili po standardnem postopku (ISO 11464, 1994). Analizirali smo sledeče parametre:

- pH tal po ekstrakciji s CaCl_2 (ISO 10390, 1996);
- Vsebnost karbonatov v tleh po reakciji s HCl (SIST ISO 10693, 1994);
- Teksturo tal po modificirani metodi brez odstranjevanja organske snovi in karbonatov (ISO 11277, 1998);

- Organski ogljik po metodi mokrega sežiga po Walkley Blacku (spontana oksidacija organske snovi v raztopini kromove in žveplove kisline) (Nelson in Sommers, 1996);
- Celokupno vsebnost Cu na dveh različnih globinah (0-20 in 20-40 cm) po ekstrakciji z zlatotopko in mikrovalovnim razkrojem vzorca (SIST ISO 11466, 1995; SIST ISO 11047, 1995).

3.5 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Rezultate smo uredili, statistično obdelali in grafično prikazali s programom MS Excel. Za pogoste rodove smo izračunali bioakumulacijski faktor (BAF) po formuli 1.

$$BAF = \frac{c_{cu-dezevnik}}{c_{cu-tla}} \quad (1)$$

$c_{cu-dezevnik}$ Koncentracija bakra v deževnikih [mg kg^{-1}]

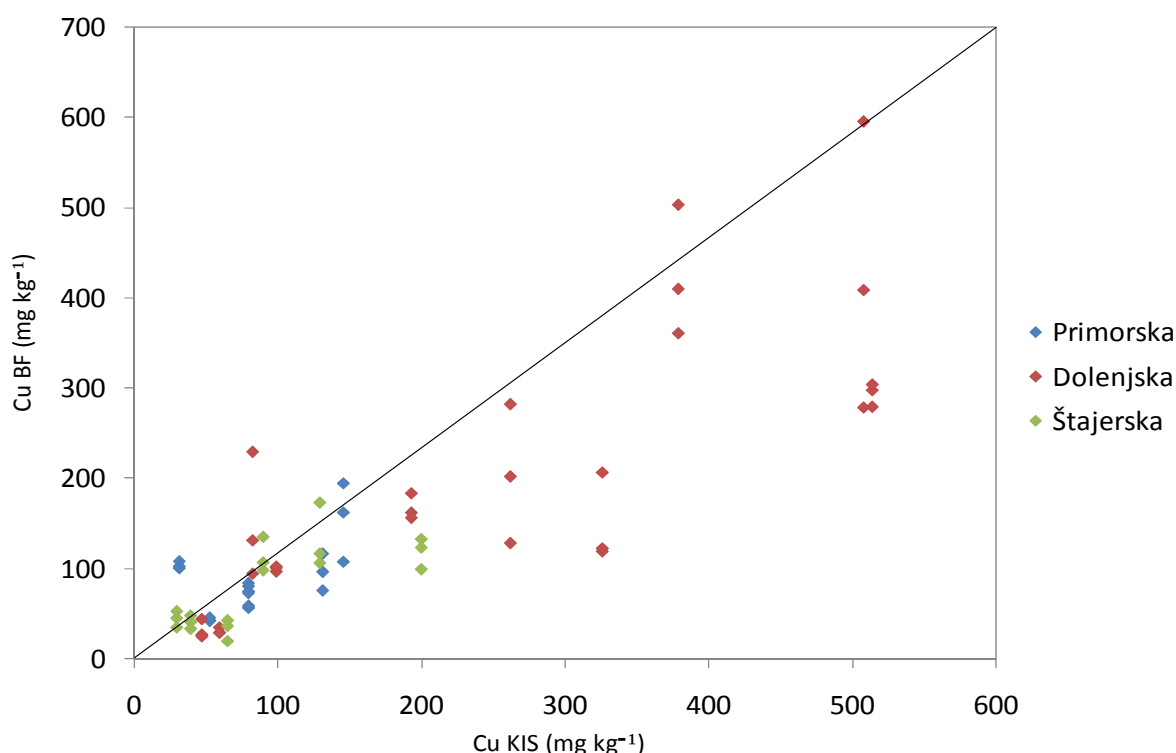
c_{cu-tla} Koncentracija bakra v tleh [mg kg^{-1}]

4 REZULTATI Z DISKUSIJO

Za vsak izbrani vinograd smo pridobili podatke sledečih lastnosti: celokupna vsebnost Cu v tleh na dveh globinah (0-20 in 20-40 cm), glavne talne lastnosti (pH, vsebnost organske snovi, tekstura tal), vrstna zastopanost deževnikov, biomasa odraslih in juvenilnih deževnikov na m², število odraslih deževnikov na m² in celokupna vsebnost Cu v odraslih deževnikih. Podatki so prikazani v prilogi E in v Prilogah A, B in C.

4.1 PRIMERJAVA MERITEV Cu V TLEH S PODATKI IZ BAZE KMETIJSKEGA INŠTITUTA SLOVENIJE (KIS) ZA VINOGRAD, KI SO BILI VKLJUČENI V NAŠO RAZISKAVO

Vinograde, ki smo jih vključili v našo raziskavo, smo izbrali na osnovi razpoložljivih podatkov KIS o vsebnosti skupnega Cu v talnih vzorcih, ki so jih na KIS pošiljali lastniki zemljišč za kontrolo rodovitnosti tal v obdobju 2008–2010. Ker mikrolokacije teh vzorčenj na posameznih zemljiščih (GERK) niso bile znane, smo pričakovali odstopanja med rezultati naše študije in podatki zbranih s strani KIS-a. Iz slike 4 je razvidno, da se rezultati v grobem ujemajo. Glede na uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih vrednostih (Uredba o mejnih ..., 1996) se je stopnja onesnaženosti tal z Cu ujemala v 17 od 22 primerov. Rezultati kažejo na variabilnost vsebnosti Cu v tleh znotraj enega GERK-a, in sicer se je koeficient variacije (KV) gibal med 2,8 % in 45,9 %. Največjo vsebnost Cu smo izmerili na Dolenjskem. Naše meritve so v večini primerov pokazale manjše koncentracije Cu od podatkov KIS. Najverjetnejša razlaga bi lahko bila različna globina vzorčenja. V obeh primerih je sicer zabeležena globina vzorčenja 0-20 cm, vendar je verjetno vzorčenje s strani posameznih lastnikov zemljišč odstopalo od standardnega, zaradi uporabe neprofesionalnega orodja. V naši študiji smo namreč za zagotavljanje enakomernosti vzorčenja uporabljali sondo.



Slika 4: Primerjava podatkov o vsebnosti Cu v tleh zbranimi v naši raziskavi (Cu BF) in podatki zbranimi na Kmetijskem Inštitutu Slovenije (Pedološke ..., 2013)

4.2 BIOMASA DEŽEVNIKOV V IZBRANIH VINOGRADIH

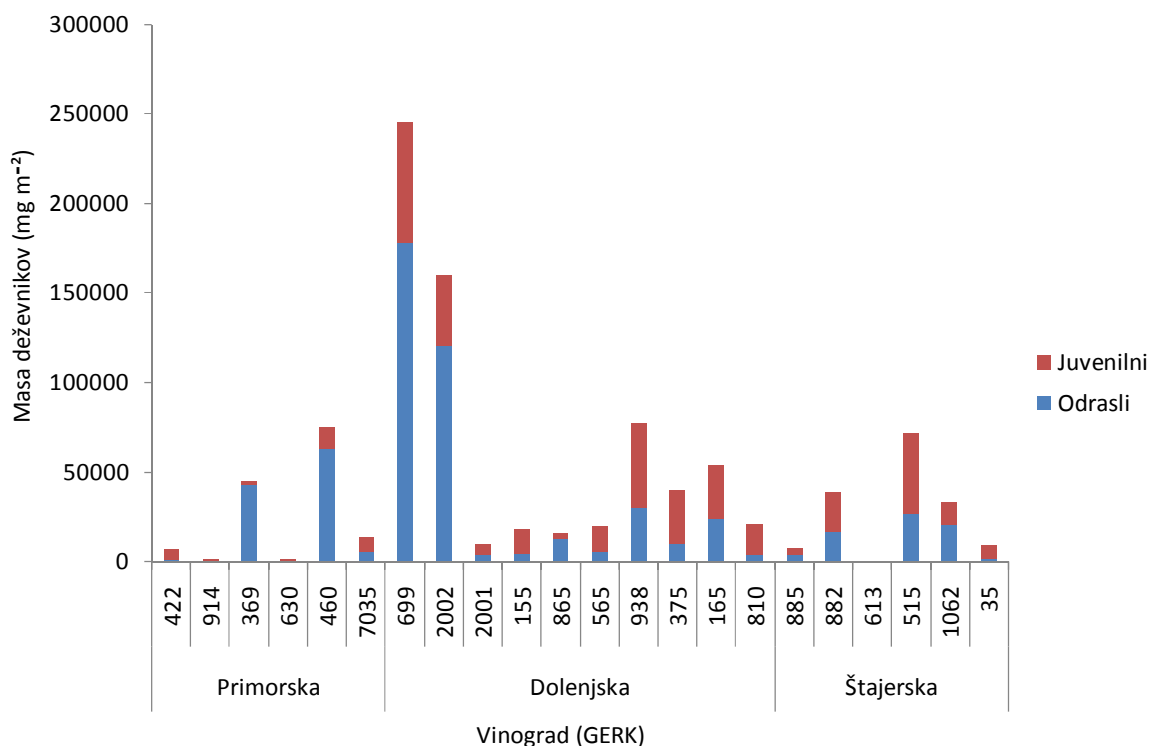
Na sliki 5 in 6 je prikazana masa deževnikov preračunana na 1 m^2 površine vinograda. Povprečna masa deževnikov znaša $43,6 \text{ g m}^{-2}$, medtem ko je največja izmerjena biomasa deževnikov $245,1 \text{ g m}^{-2}$. Dolenjska regija izstopa po največji biomasi, povprečno $72,9 \text{ g m}^{-2}$.

Povprečna masa juvenilnih osebkov v vseh treh regijah je $18,4 \text{ g m}^{-2}$, povprečna masa odraslih osebkov pa $29,2 \text{ g m}^{-2}$, kar pomeni razmerje 1:1,6 med biomaso juvenilnih in odraslih deževnikov. Nekateri vinogradi imajo kljub manjši biomasi in manjšemu številu odraslih deževnikov razmeroma veliko biomaso juvenilnih deževnikov. Vzrok za to sta lahko vlažnost in ugodne temperaturne razmere v dolenjski regiji v času vzorčenja.

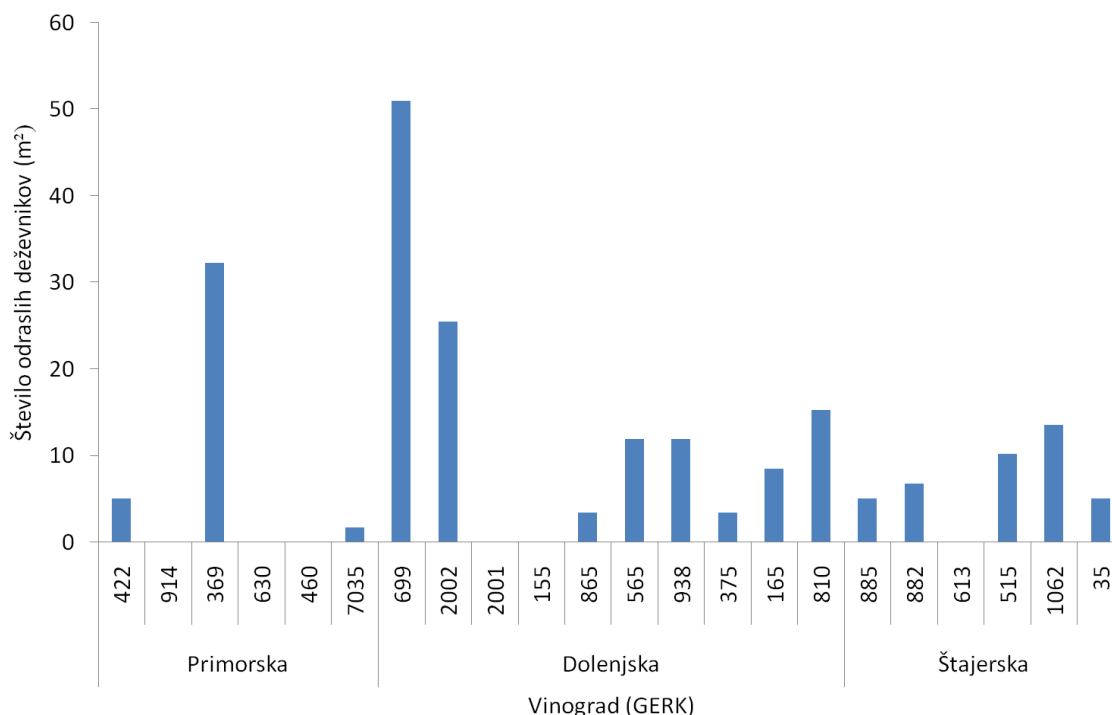
Na sliki 5 lahko opazimo, da lokaciji 699 in in 2002 izstopata z visoko biomaso deževnikov. Vinograd na lokaciji 699 je bil zatravljen in tla so vsebovala v povprečju 4,8 % organske snovi. Ko smo odstranili travno rušo, smo opazili veliko deževnikovih rogov. V zgornjem sloju tal (5-10 cm) je bilo prisotnih več manjših deževnikov, globlje pa veliko večjih deževnikov. V vinogradu 2002 je bil za zadrževanje vlage v tleh uporabljen slamnati nastil. Tla so bila vlažna in težka (zbita), vsebovala so 4,9 % organske snovi in so bila v letu vzorčenja že škropljena s huminskimi kislinami. Deževniki so bili srednje-veliki, njihovo število je znašalo 25,5 odraslih primerkov na m^2 . Nasprotno so bila tla na lokaciji 2001 v zgornjem sloju peščena in sipka, na globini $> 30 \text{ cm}$ pa ilovnata. Tla so bila porasla z deteljo, ki je v zgornjem talnem sloju tvorila gost koreninski preplet. Teksturna slojevitost tal je verjetno vzrok za prekinjen kapilarni dvig vode in večjo nagnjenost k sušnosti v zgornjih plasteh ter za posledično manj ustrezne razmere za deževnike. Na lokaciji 865 je bilo na površju tal vidnih vsaj 30 deževnikovih glistin na vsakem vzorčnem

mestu, vendar je kljub kopanju do globine 60 cm število opazovanih deževnikov znašalo le 3,4 osebkov na m². Vinograd 422 so en teden pred našim vzorčenjem plitvo orali, kar je verjetno negativno vplivalo na lokalno prisotno populacijo deževnikov (Edwards in Lofty, 1969). Pri vinogradu 914 so bila tla suha, zbita in skeletna. Pri ogledu parcele nismo opazili prisotnosti glistin deževnikov. Take talne razmere so neugodne tudi za razmnoževanje deževnikov. Podatki pridobljeni za vinograd 630 niso popolni, saj so vsi vzorčeni deževniki med transportom poginili in zato njihova analiza ni bila mogoča. V splošnem smo zasledili več primerkov v zgornji plasti (0-10 cm), medtem ko globlje nismo našli deževnikov. Tla so bila temno obarvana in gnojena s kokošjim gnojem. V vinogradu 035 je bila zemlja zelo plitva, saj smo že na globini 20 cm naleteli na matično kamnino. Deževniki so bili prisotni v zgornji plasti (0-20 cm). Na splošno so bila tla v primorski regiji v času vzorčenja sušna. V takih razmerah se deževniki nahajajo v globljih talnih plasteh, kar lahko povzroča težave pri vzorčenju.

V vinogradu 885 je neenakomernost plasti tal povzročala težave pri vzorčenju. Zgornji sloj tal (0-20 cm) je bil rahel in suh, globlje pa so bila tla močno zbita in raztopina formalina zato ni pronicala. Tudi kopanje in ročno prebiranje tal sta bili oteženi. Sicer je bilo vidnih več rogov a je bilo število vzorčenih osebkov majhno (5,4 osebkov na m²). Predvidevamo, da so se deževniki zaradi sušnih razmer in tudi naklona vinograda nahajali globlje. V vinogradu 613 so bila tla peščena in suha z 1.9 % vsebnostjo organske snovi. Teren vinograda je bil strm, kar je še dodatno vplivalo na slabe vodne razmere. Zasledili smo 3-4 rove deževnikov na vzorec, vendar primerkov nismo našli. Verjetno so se deževniki zadrževali globlje v tleh. V vinogradu 35 smo našli več juvenilnih deževnikov. Tla so bila peščena, kar je verjetno še poudarilo sušne razmere v tistem obdobju. Na lokacijah 630, 460, 2001 in 155 nismo našli odraslih osebkov.



Slika 5: Skupna masa odraslih in juvenilnih deževnikov (prerachunana na 1m²) v posameznem vinogradu

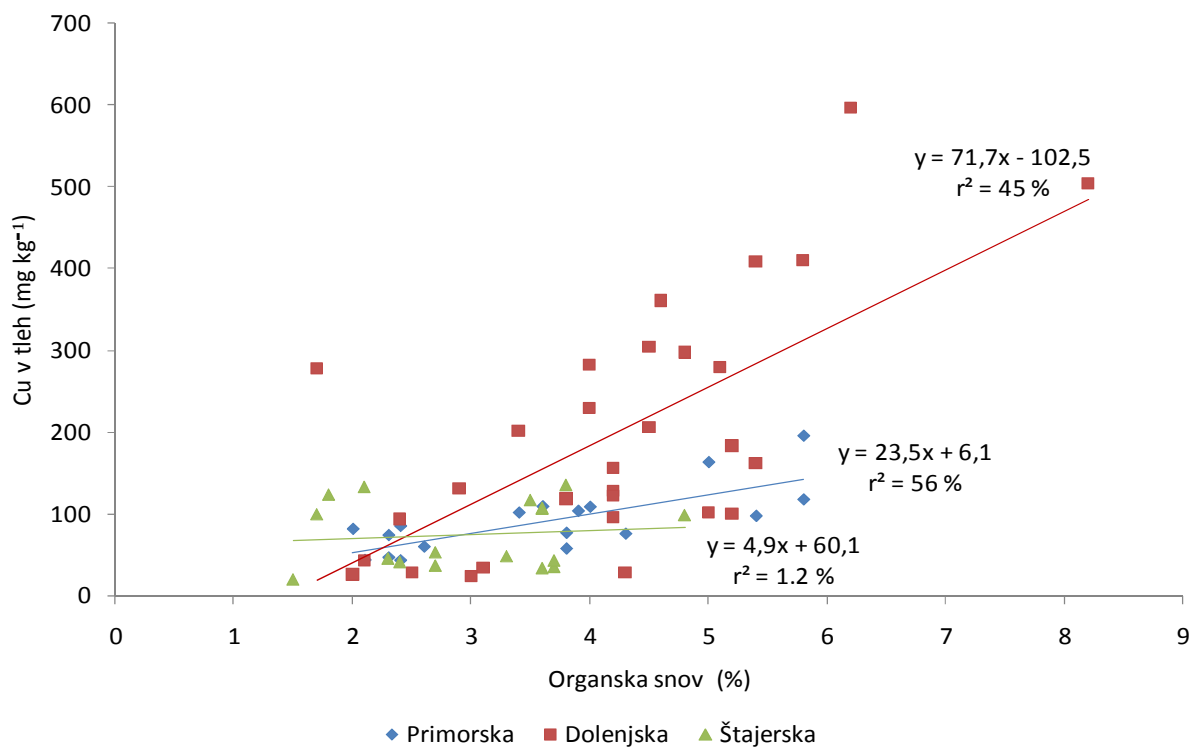


Slika 6: Število odraslih deževnikov (prerachunano na 1m²) v posameznem vinogradu

4.3 POVEZAVA MED VSEBNOSTJO Cu V TLEH IN OSTALIMI TALNIMI LASTNOSTMI

4.3.1 Organska snov

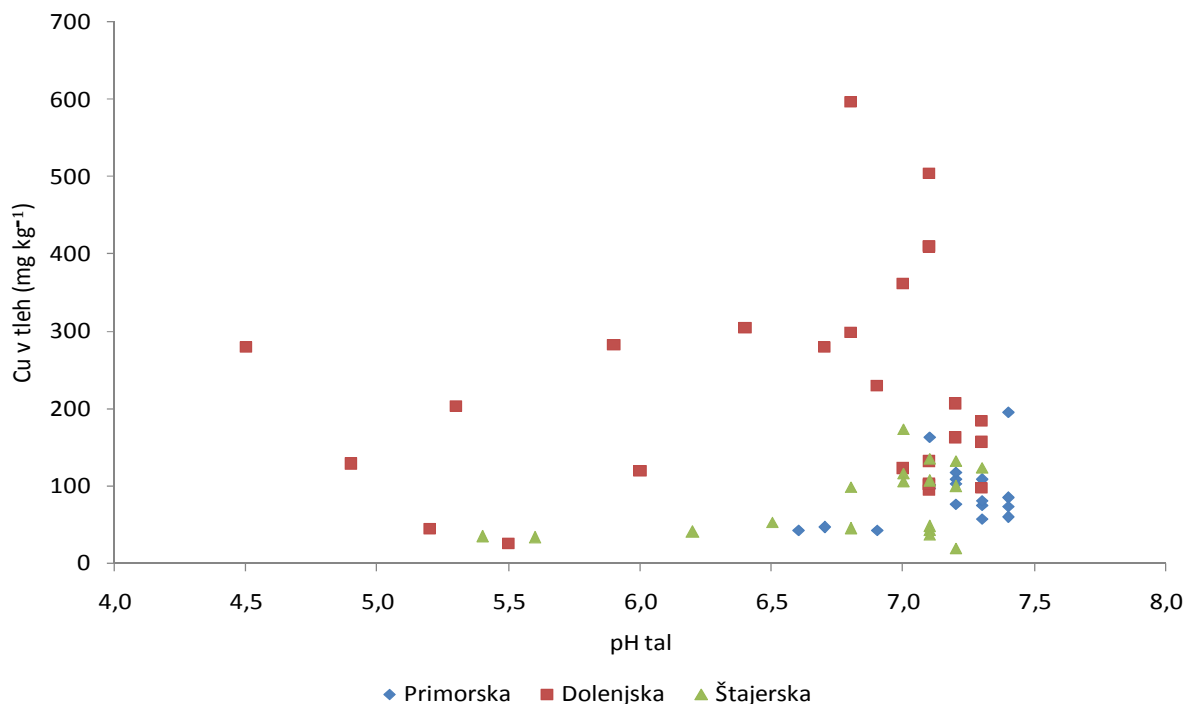
Na sliki 7 je predstavljena odvisnost vsebnosti Cu v tleh od deleža organske snovi na vzorčni globini 0-20 cm. V primeru primorske regije lahko variabilnost vsebnosti Cu v 56 % pojasnimo z deležem organske snovi, medtem ko je v dolenjski regiji pojasnjen nekoliko manjši delež, t.j. 45 %. Odvisnost ni bila značilna za štajersko regijo. Organska snov tal veže Cu na karboksilne skupine huminskih in fulvo kislin, kar onemogoči izpiranje Cu po talnem profilu. Posledično imajo tla z več organske snovi v zgornji plasti večjo sposobnost zadrževanja Cu. Ta odvisnost je bila najbolj opazna na Primorskem in Dolenjskem, kjer je bil razpon deleža organske snovi v tleh večji. Študije 24-ih različnih tipov tal v Angliji so pokazale, da je približno 30 % Cu v tleh vezanega na organsko snov. To velja tudi za tla z običajno vsebnostjo organske snovi (1-8 %) (McLaren in Crawford, 1973, cit. po Baker, 1990).



Slika 7: Odvisnost vsebnosti Cu v tleh od deleža organske snovi v primorski, dolenjski in štajerski regiji

4.3.2 pH

V talnih vzorcih smo poleg vsebnosti celokupnega C izmerili tudi vsebnost organske snovi in aktivno kislost tal (pH), ki lahko bistveno vpliva na lokalne populacije deževnikov. Povezave med celokupno koncentracijo Cu v tleh in pH tal nismo našli (slika 8).

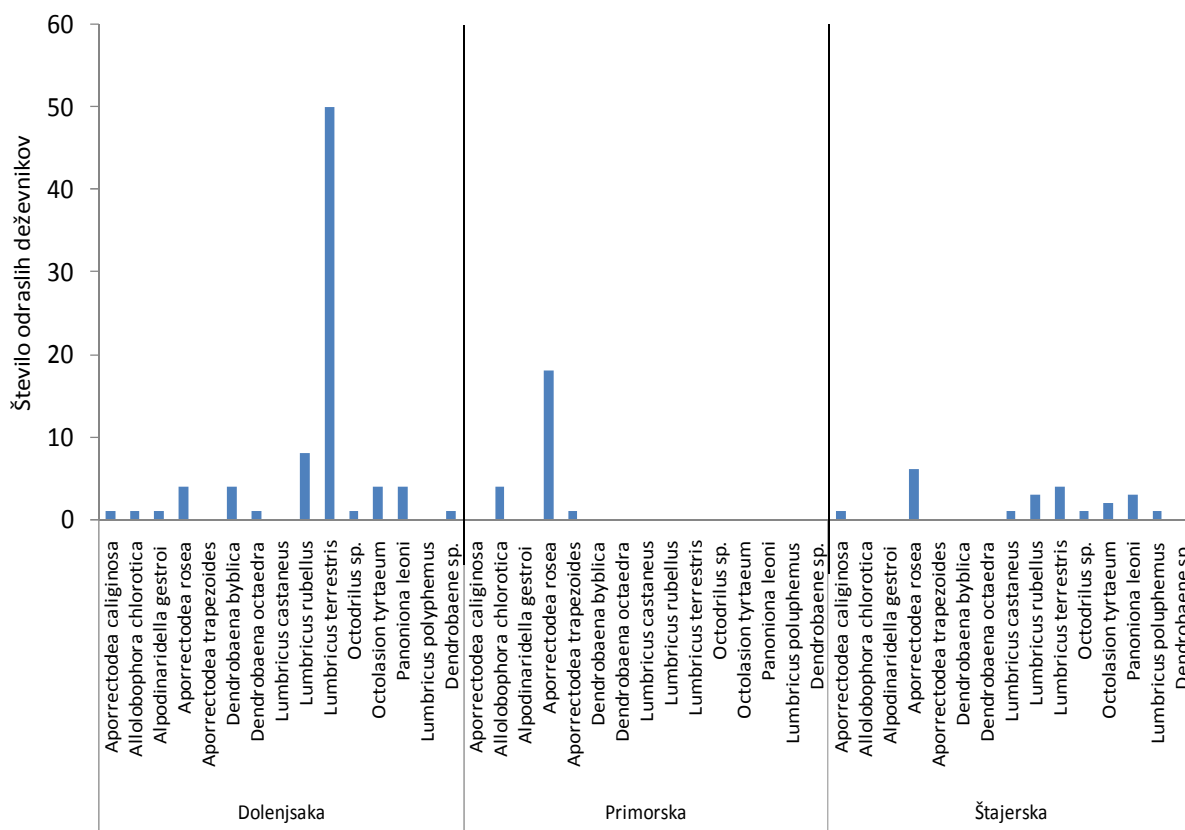


Slika 8: Odvisnost Cu v tleh od pH tal v primorski, dolenjski in štajerski regiji

4.4 VRSTNA ZASTOPANOST DEŽEVNIKOV IN VSEBNOST Cu V POSAMEZNIH VRSTAH IN RODOVIH DEŽEVNIKOV PO REGIJAH

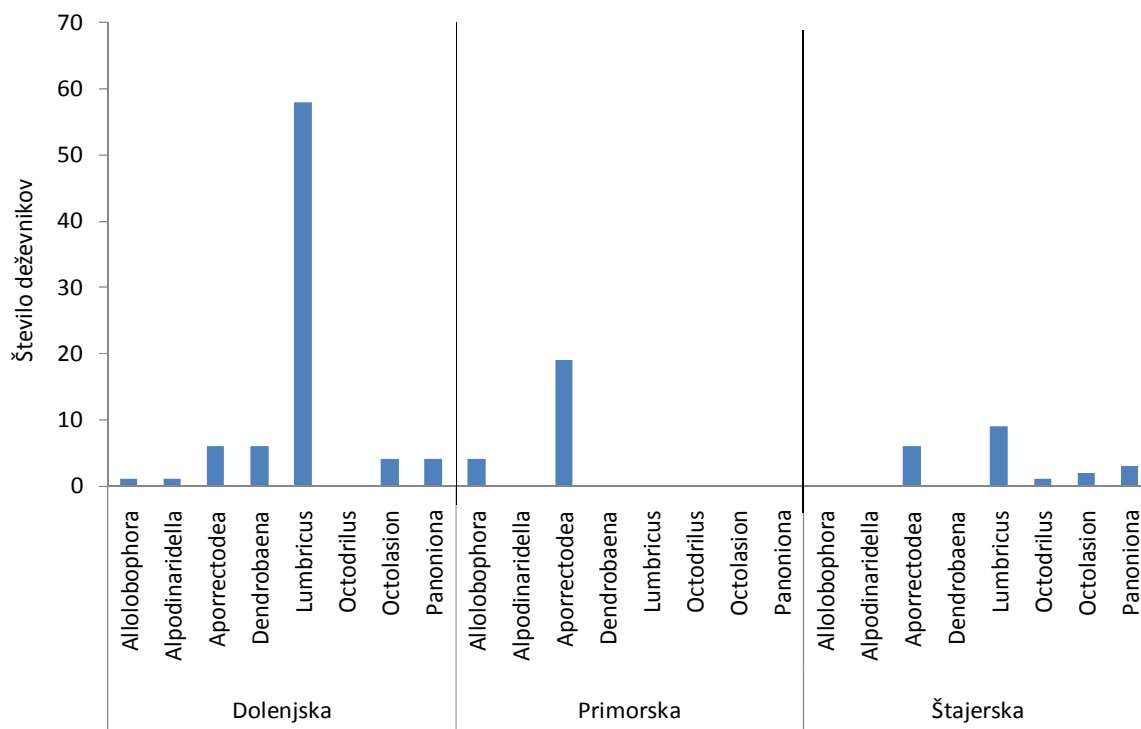
Vsem odraslim deževnikom, ki smo jih uspešno prenesli v laboratorij, smo določili vrstno oz. rodovno pripadnotin vsebnost Cu v telesu. Podatki za posamezne vinograde so zbrani v Prilogah B, C in D.

Na sliki 9 je prikazano število deževnikov za posamezno vrsto v vseh vinogradih razdeljenih po regijah (t.j. Dolenjska, Primorska in Štajerska). V vsakem številu so zajeti podatki za vse tri vzorčne luknje po 0,2 m² na posameznem vzorčnem mestu. Iz slike 9 lahko razberemo, da smo največjo vrstno pestrost zasledili na Dolenjskem, sledila je Štajerska. V dolenjski regiji smo zabeležili prisotnost 12-ih vrst (od skupno 15-ih ugotovljenih v celotni raziskavi), na Štajerskem pa 9-ih vrst. Na Primorskem smo zabeležili prisotnost le treh vrst. Po številčnosti predstavnikov je bila na Dolenjskem najbolj zastopana vrsta *Lumbricus terrestris*. Vzorčili smo ga v petih vinogradih od skupno 10-ih, s tem da je v vinogradu 699 predstavljal številčno najpogostejšo vrsto (45,9 osebkovna m²). Na Primorskem in Štajerskem je bila najpogostejša vrsta *Aporrectodea rosea*, ki se je sicer pojavljala v vseh treh regijah. Edina vrsta, ki se je poleg vrste *A. rosea* pojavila v vseh treh regijah, je bila vrsta *Allolobophora chlorotica*. Ta se je na Dolenjskem pojavila v enem, na Primorskem v dveh in na Štajerskem v enem vinogradu.

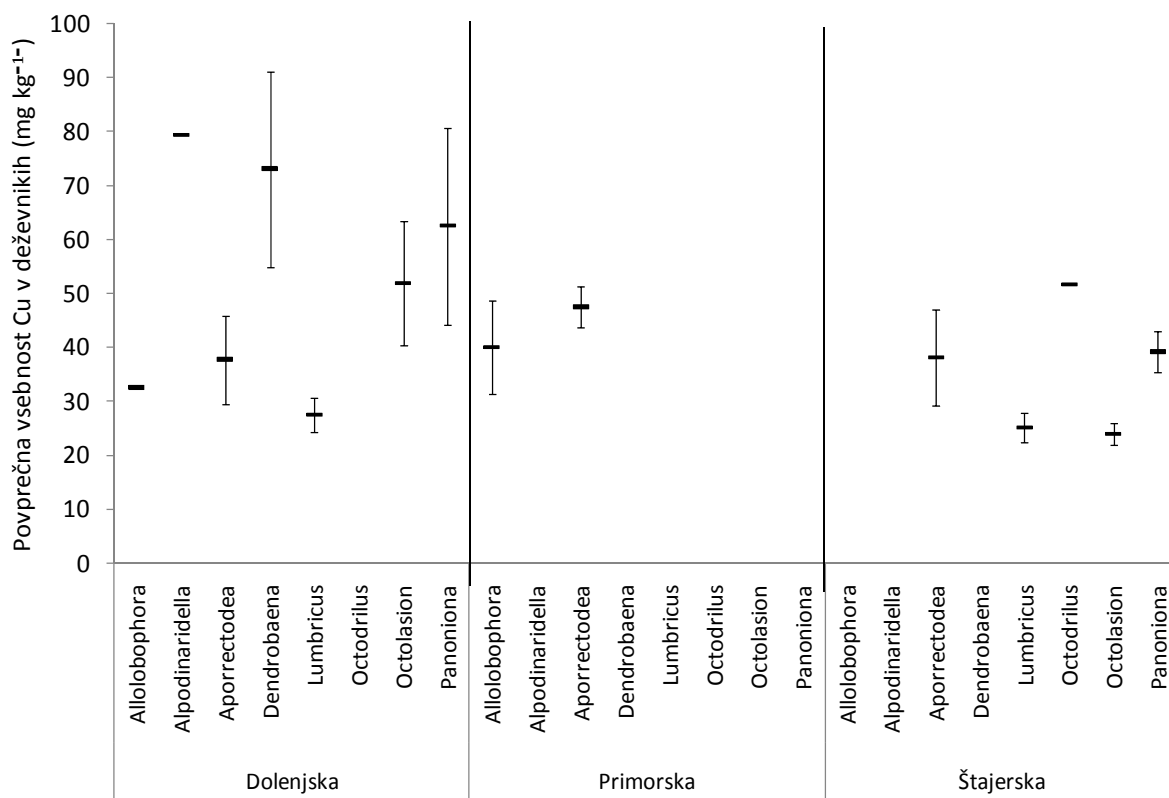


Slika 9: Število vzorčenih odraslih deževnikov po vrstah in regijah

Zaradi lažje preglednosti smo na sliki 10 združili vrste po pripadajočih rodovih. Opazimo, da je bil na Primorskem najpogostejši rod *Aporrectodea*. Vrsta *A. caliginosa* se je pojavila le na Štajerskem in na Dolenjskem, medtem ko se je vrsta *A. trapezoides* na Primorskem pojavila le z enim primerkom in je kljub večjemu skupnemu številu deževnikov na Dolenjskem in Štajerskem nismo zabeležili.



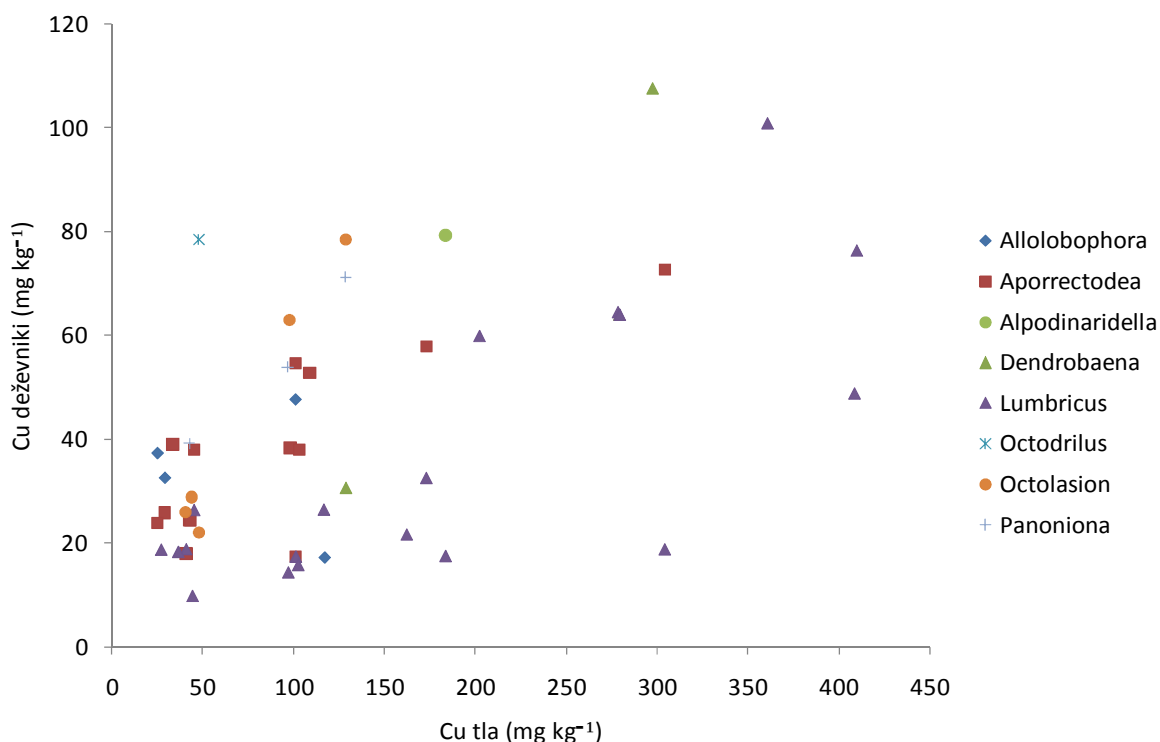
Slika 10: Število deževnikov po rodovih in regijah



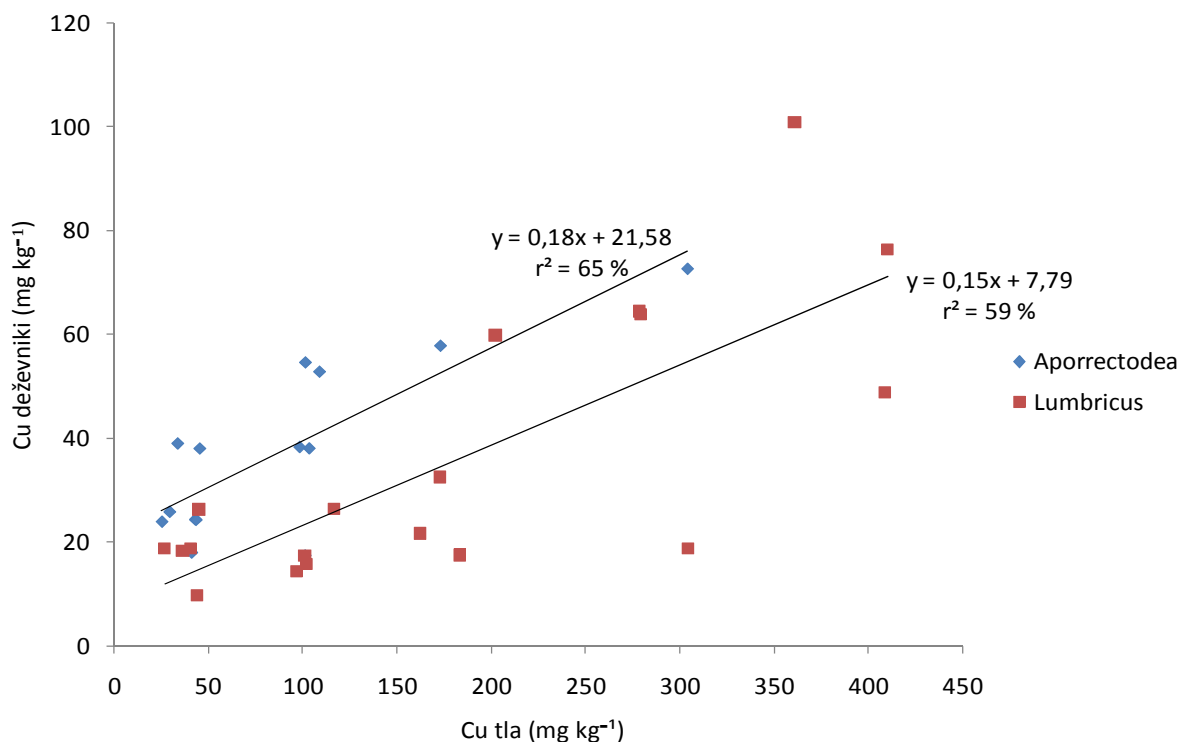
Slika 11: Povprečna vsebnost Cu v rodovih deževnikov v posameznih regijah. Prikazano je povprečje $\pm$ standardna napaka.

Vsebnost Cu se je med posameznimi rodovi razlikovala (slika 11). Razpon izmerjenih koncentracij je pri nekaterih rodovih bil večji kot pri ostalih, vendar so opazne tudi razlike znotraj istih rodov med posameznimi regijami. Na Dolenjskem smo največje razlike zabeležili pri rodovih *Octolasion*, *Panoniona*, *Aporrectodea* in *Dendrobaena*, medtem ko so bile razlike znotraj rodu npr. *Panoniona* na Štajerskem bistveno manjše. Največje vsebnosti Cu v deževnikih smo zabeležili ravno na Dolenjskem. Zanimivo je, da je bila vsebnost Cu v predstavnikih rodu *Lumbricus* bodisi na Dolenjskem kot na Štajerskem relativno majhna in v majhnem koncentracijskem razponu, kar nakazuje na možnost, da so predstavniki rodu *Lumbricus*, za razliko od npr. predstavnikov rodu *Dendrobaena*, sposobni aktivnega omejevanja privzema Cu v telo.

Preverili smo povezavo med vsebnostjo Cu v deževnikih (združenih po rodovih) in koncentracijo Cu v tleh (slika 12). Iz slike je razvidno, da obstaja povezava med vsebnostjo Cu v deževnikih in vsebnostjo v tleh. Izrazita je predvsem za dva rodova, *Aporrectodea* in *Lumbricus*, ki sta najbolj zastopana v vseh treh regijah. Kot je prikazano na sliki 13, pojasni koncentracija Cu v tleh 65 % variabilnosti vsebnosti Cu v deževnikih v primeru rodu *Aporrectodea* in 59 % v primeru rodu *Lumbricus*.



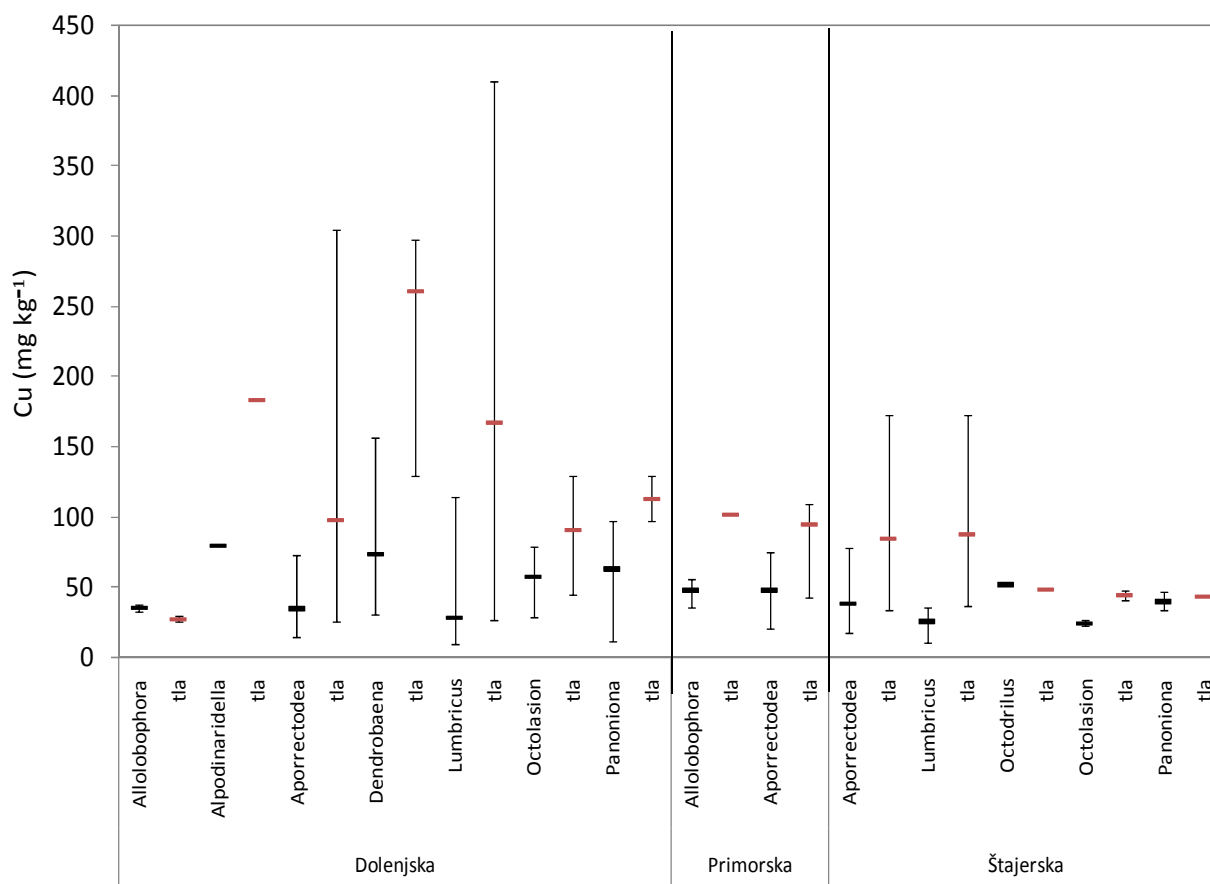
Slika 12: Vsebnost Cu v posameznih rodovih deževnikov v odvisnosti od celokupne koncentracije Cu v tleh



Slika 13: Vsebnost Cu v deževnikih rodu *Aporrectodea* in *Lumbricus* v odvisnosti od koncentracije Cu v tleh

Zanimalo nas je ali je pojavljanje posameznih rodov in vsebnost Cu v tkivih deževnikov po rodovih odvisno od vsebnosti Cu v tleh (slika 14). Kljub veliki variabilnosti je bila povprečna koncentracija akumuliranega Cu v deževnikih vedno manjša od povprečne koncentracije Cu v tleh, bodisi pri nizkih kot pri velikih koncentracijah. Rod *Lumbricus* se npr. pojavlja na Štajerskem in na Dolenjskem, in sicer tudi pri velikih koncentracijah Cu v tleh, vendar ostajajo koncentracije v telesu majhne. Bioakumulacijski faktor (BAF) za rod *Lumbricus* je na Dolenjskem znašal v povprečju 0,17 in na Štajerskem 0,38. Verjetno predstavniki tega rodu sicer privzemajo Cu iz tal, vendar ga učinkoviteje izločajo kot kopičijo. Rod se je sicer pogosto pojavljal tudi pri velikih koncentracijah Cu v tleh.

Rod *Aporrectodea*, ki se je pojavljal v vseh treh regijah in v širokem razponu vsebnosti Cu v tleh, je pokazal višji BAF od rodu *Lumbricus*, in sicer je le-ta znašal 0,57 za Dolenjsko, 0,51 za Primorsko in 0,6 za Štajersko.



Slika 14: Povprečna vsebnost Cu v deževnikih in v tleh ($\pm$ standardna napaka) po rodovih in regijah

5 SKLEPI

Rezultate raziskave lahko strnemo v naslednje sklepe:

- Variabilnost koncentracije Cu v tleh smo zaznali že znotraj enega GERK-a. Koeficient variacije (KV) je nihajal med 2,8 % in 45,9 %. Rezultati meritev o vsebnosti Cu v tleh, opravljenih v tej raziskavi, so rahlo odstopali od podatkov v bazi Kmetijskega Inštituta Slovenije, vendar so bili v 17 od 22 primerov skladni glede na veljavne mejne, opozorilne in kritične vrednosti Cu v tleh (Uredba o mejnih ..., 1996).
- Razmere v tleh, kot so vlažnost, temperatura, delež organske snovi, tekstura, oranje, globina tal in prisotnost skeleta vplivajo na populacije deževnikov. Zbita, težka in sušna tla so se izkazala kot omejujoč dejavnik pri pojavnosti deževnikov in tudi pri uspešnosti njihovega vzorčenja.
- Variabilnost vsebnosti Cu v tleh je v veliki meri odvisna od količine organske snovi. Količina organske snovi je v primorski regiji pojasnila 56 % in v dolenjski regiji 45 % variabilnosti izmerjenih koncentracij Cu v tleh.
- Na Dolenjskem smo izsledili največjo vrstno pestrost deževnikov, in sicer 12 vrst od skupno 15 zabeleženih v celotni raziskavi. Po številčnosti je bila na Dolenjskem najbolj zastopana vrsta *Lumbricus terrestris*. Na Primorskem in Štajerskem je bila najbolj zastopana vrsta *Aporrectodea rosea*, ki je edina vrsta, ki se je pojavila v vseh treh regijah in ki bi jo lahko označili kot kosmopolitsko vrsto. Rod *Aporrectodea* je posledično edini, ki smo ga zasledili v vseh treh regijah.
- Rezultati kažejo na odvisnost med koncentracijo Cu v tleh in akumuliranim Cu v deževnikih, predvsem pri najpogostejše zastopanih rodovih. Vsebnost Cu v tleh pojasni 65 % variabilnosti akumuliranega Cu v deževnikih za rod *Aporrectodea* in 59 % za rod *Lumbricus*.
- Zaradi pogostnosti svojega pojavljanja, so zaključki o vplivu vsebnosti Cu v tleh na privzem Cu v deževnike smiselni le v primeru rodu *Lumbricus*. BAF je za dolenjsko regijo znašal 0,17, za štajersko pa 0,38. Rod se je pojavljal tudi pri visokih koncentracijah Cu v tleh. Rod *Aporrectodea* je pokazal višji BAF od rodu *Lumbricus*, in sicer 0,57 za dolenjsko, 0,51 za primorsko in 0,6 za štajersko regijo. Na Dolenjskem je bil rod prisoten tudi pri kritičnih vrednostih Cu v tleh.

6 POVZETEK

Širok spekter delovanja fitofarmacevtskih sredstev na podlagi Cu je glavni razlog za njihov uporabo v vinogradništvu. Vpliv Cu v tleh na deževnike je bil zaradi izrednega pomena letih za tla predmet številni raziskav.

Cu sicer sodi med esencialne elemente, vendar je že v majhnem presegu lahko toksičen, se akumulira v tkivih in prehaja v višje nivoje prehranjevalne verige. Dosedanje raziskave so pokazale, da vsebnosti Cu v tleh mnogih slovenskih vinogradov dosegajo kritično vrednost 300 mg kg^{-1} , kar bi lahko negativno vplivalo na populacije deževnikov. Za boljše razumevanje tega vpliva je potrebno poznati usodo Cu v tleh. Viri Cu v tleh so lahko geogenega (matična podlaga) in antropogenega izvora (kmetijstvo, atmosferski depozit, uporaba blata čistilnih naprav). Slednji imajo bistveni večji vpliv na prekomerno kopičenje Cu v tleh. Najpomembnejši kemijski proces, ki vpliva na biodostopnost Cu v tleh, je njegovo premeščanje med trdno in tekočo fazo. Do 99 % Cu v talni raztopini se nahaja v obliki koordinacijskih kompleksnih spojin, se pravi vezanega na topne huminske in fulvične kisline ter citronsko in oksalno kislino. Biodostopnost Cu je večinoma odvisna od pH in Eh.

Pri hranjenju zaužije deževnik organsko snov in minerale in s tem posledično tudi Cu, ki je vezan na talne komponente. Deževniki so sposobni kopičenja in izločanja kovin iz telesa. Njihovo črevesje obdajajo specializirane celice (kloragocite), ki tvorijo kloragogeno tkivo, v katerem se kopičijo produkti presnavljanja, med njimi tudi kovine. Kasneje se lahko kovine postopoma odstranijo iz organizma preko nefridijev z izločanjem odmrlih kloragocit ali pa ostanejo v telesu v obliki nodulov v celomskih vrečkah v predelu zadka. Razmerje med koncentracijo tako nakopičene kovine v tkivih deževnika in v tleh izrazimo z (BAF), ki je za Cu vedno manjši od 1. Na preživetje določene vrste deževnika v onesnaženih tleh najbolj vpliva pH tal. Nizek pH pomeni povečano dostopnost Cu za deževnike, zato so vrste z bolj razvitimi kalcijevimi žlezami sposobne preživetja na bolj onesnaženih tleh, saj z izločanjem Ca v črevesno votlino nevtralizirajo pH v prebavilih in posledično omejujejo biodostopnost Cu v zaužitih tleh.

V naši nalogi smo ovrednotili vpliv Cu na populacije deževnikov v slovenskih vinogradih. V njih smo skušali zajeti ves koncentracijski gradient Cu v tleh, in sicer od neonesnaženih tal do prekomerno onesnaženih tal. Vsebnost Cu v vzorčenih vinogradih je segala od $42,7$ do $195,3 \text{ mg kg}^{-1}$ za primorsko, od 25 do $595,8 \text{ mg kg}^{-1}$ za dolensko in od $19,5$ do 173 mg kg^{-1} za štajersko regijo. Rezultati so pokazali, da so tla znotraj enega GERK-a glede na njihovo vsebnost Cu variabilna, in sicer se je koeficient variacije (KV) gibal med $2,8$ in $45,9 \%$. Razlike smo opazili tudi med našimi rezultati in rezultati pridobljenimi s strani Kmetijskega Inštituta Slovenije. Glede na Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih vrednostih (1996), se je vseeno stopnja onesnaženosti vzorčenih tal z Cu ujemala v 17 od 22 primerov.

Številčnost deževnikov je bila najvišja v dolenski regiji (do 51 osebkov na m^2), sledili sta Primorska (do 32,3 osebkov na m^2) in Štajerska (do 13,6 osebkov na m^2). Dolenska regija je izstopala po najvišji biomasi, in sicer je ta znašala $72,9 \text{ g m}^{-2}$. Povprečna masa juvenilnih osebkov v vseh treh regijah je bila $18,4 \text{ g m}^{-2}$, povprečna masa odraslih osebkov pa $29,2 \text{ g m}^{-2}$. Potrebno je omeniti, da je bilo vzorčenje oteženo zaradi specifičnih talnih lastnosti (vsebnost organske snovi, oranje, prekrivka,...) in trenutnih vremenskih razmer (sušno obdobje). Ugotavljali smo odvisnost med vsebnostjo Cu in deležem organke snovi v

zgornjem sloju tal (0-20 cm). V primeru primorske regije lahko 56 % variabilnosti v vsebnosti Cu v tem sloju pojasnimo z deležem organske snovi. V primeru dolenske regije znaša delež 45 %, medtem ko za štajersko regijo nismo pokazali povezave.

Največjo vrstno pestrost smo našli na Dolenjskem in na Štajerskem. V dolenski regiji smo zabeležili 12 vrst na Štajerskem pa 9 vrst. Na Primorskem smo zabeležili prisotnost le treh različnih vrst. Po številu predstavnikov je bila na Dolenjskem najbolj zastopana vrsta *Lumbricus terrestris*. Na Primorskem in Štajerskem je bila najbolj zastopana vrsta *Aporrectodea rosea*, ki je edina vrsta, ki se je pojavila v vseh treh regijah in bi jo lahko označili kot kosmopolitsko vrsto.

Pokazali smo obstoj povezave med vsebnostjo Cu v deževnikih in v tleh. Predvsem je očitna pri rodovih *Aporrectodea* in *Lumbricus*, ki sta bila najbolj pogosta. Koncentracija Cu v tleh pojasni 65 % variabilnosti vsebnosti Cu v deževnikih v primeru rodu *Aporrectodea* in 59 % v primeru rodu *Lumbricus*.

Pojavljanje posameznih rodov in vsebnost Cu v tkivih deževnikov po rodovih, v odvisnosti od vsebnosti Cu v tleh, je očitno predvsem za rodove, ki se pogosteje pojavljajo. Za rod *Lumbricus* znaša BAF 0,17 za dolensko regijo in 0,38 za štajersko regijo, kar pomeni da predstavniki tega rodu privzemajo Cu iz tal, vendar ga učinkoviteje izloča kot kopiči.

Za rod *Apporectodea* znaša BAF 0,57 na Dolenjskem, 0,51 na Primorskem in 0,6 na Štajerskem. Na Dolenjskem se ta rod pojavlja tudi pri kritičnih vrednostih Cu v tleh.

7 VIRI

- Alloway B.J. 1990. Soil processes and the behaviour of metals. V: Heavy metals in soils. Alloway B.J. (ed.). London, Blackie, John Wiley&Sons: 7-27
- Arias M. Paradelo M., Lopez E., Simal-Gandara J. 2006. Influence of pH and soil copper on adsorption of metalaxyl and penconazole by the surface layer of vineyard soils. *Agricultural and Food Chemistry*, 54:8155-8262
- Baker D.E 1990. Copper.V: Heavy metals in soils. Alloway B.J. (ed.). London, Blackie, John Wiley&Sons.: 151-174
- Brun L. A., Maillet J., Richarte J., Hermmann P., Remy J.C. 1998. Relationships between extractable copper, soil properties and copper uptake by wild plants in vineyard soils. *Environmental Pollution*, 102, 2-3: 151-161
- Buchauer M.J. 1973. Contamination of soil and vegetation near a zinc smelter by Zn, Cd, Cu and Pb. *Environmental Science and Technology*, 7, 4:131-135
- Chang F.H., Broadbent F.E. 1982. Influence of Trace Metals on Some Soil Nitrogen Transformations. *Journal of Environmental Quality*, 11, 1: 1-4
- Chrástný V., Komárek M., Jrovcová E., Štíchova J. 2008. A critical evaluation of the 0.05 M EDTA extraction of Pb from forest soils. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 88, 6: 385-396
- Cinkarna Celje. Bakrovi fungicidi.
<http://www.cinkarna.si/si/izdelki/bakrovi-fungicidi> (13. maj. 2013).
- Edwards C.A., Lofty J.R. 1969. The influence of agricultural practice on soil microarthropod populations. V: The soil ecosystem. Sheals J.G. (ed.). London, Systematics Association: 234-247
- Hopkin S. P. 1989. *Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates*. London, Elsevier: 366 str.
- Hunter B.A., Johnson M.S., Thompson D.J. 1987. Ecotoxicology of copper and cadmium in a contaminated grassland ecosystem. II. Invertebrates. *Journal of Applied Ecology*, 24, 2: 587-599
- ISO 10390. Soil quality – determination of pH. 1994: 5 str.
- ISO 11277. Soil quality – determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation. 1998: 30 str.
- Karlsson T., Persson P., Skjellberg U. 2006. Complexation of copper(II) in organic soils and in dissolved organic matter evidence for chelate ring structures. *Environmental Science and Technology*, 40, 8: 2623–2628

- Komarek M., Čenkova E., Chrastny V., Bordas F., Bollinger J.C. 2009. Contamination of vineyard soils with fungicides. *Environment International*, 36: 138-151
- Leštan D. 2002. Ekopedologija. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 268 str.
- Ma W. 1984. Sublethal toxic effect of copper on growth, reproduction and litter break down activity in the earthworm *Lumbricus rubellus*, with observations on the influence of temperature and soil pH. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 33, 3: 207-219
- Mathur S. P., Sanderson R. B. 1980. The partial inactivation of degradative soil enzymes by residual fertilizer copper in histosols. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 4, 750-755
- Mršić N. 1997. Živali naših tal. 1. izdaja. Ljubljana, tehniška založba Slovenije: 416 str.
- Nelson D.W., Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. V: *Methods of soil analysis*. Bartels J.M., Bigham J.M. (eds.). Wisconsin, Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy: 961-1011
- Pedološke analize vrednosti bakra. Ljubljana, Kmetijski inštitut (osebni vir, interno gradivo, maj, 2013)
- Pušnar M. Vpliv bakrovih spojin na kakovost vinske trte. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 30 str.
- Rieuwerts J.S., Thornton I., Farago M.E., Ashmore M. 1998. Faktors influencing bioavailability in soils: Preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 10, 2: 61- 75
- Singh M. 1971. Retention of added copper by two soils as affected by organic matter, CaCO_3 , and exchangeable ions. *Geoderma*, 5, 3: 219-227
- SIST ISO 11047. Kakovost tal – določanje Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn – metoda plamenske in elektrotermične atomske absorpcijske spektrometrije, 1996: 5str.
- SIST ISO 11466. Kakovost tal – ekstrakcija elementov v sledovih, topnih v zlatotopki. 1996: 6 str.
- SIST ISO 10693. Kakovost tal - ugotavljanje vsebnosti karbonatov – volumetrijska metoda. 1996: 7 str.
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih emisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. Ur.l. RS št.68/96
- Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu. Ur.l. RS št. 62/08
- Vercesi A., Pantrioi R., Rizzott R. 2001. *Viticulturebiologico e difesa*. Vignevini, 28, 5: 55-62

ZAHVALA

Na koncu bi se rad zahvalil somentorici izr. prof. dr. Heleni Grčman in mentorici doc. dr. Metki Udovič za vodenje in vso pomoč pri nastajanju diplomskega dela.

Za pomoč se zahvaljujem tudi dipl. ing. Rozaliji Ilc in org. dela-inf. Ireni Tič iz katedre za pedologijo. Hvala mag. Karmen Stopar, prof. dr. Franci Aco Celarju in članici komisije izr. prof. dr. Marijani Jakše za podroben pregled in koristne popravke diplomske naloge.

Prav tako se zahvaljujem vsem svojim domačim in znancem za dolga leta podpore pri mojem študiju.

PRILOGA A

Orto-foto posnetek kot del terenske dokumentacije z označnimi točkami vzorčenja.



PRILOGA B

Vsebnost Cu v odraslih deževnikih in v tleh na posameznih vzorčnih mestih v vinogradih na Dolenjskem.

Vinograd	Vzorčno mesto	Vrsta	Cu deževniki (mg kg ⁻¹)	Cu tla (mg kg ⁻¹)
2002	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	14,52	162,13
2002	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	13,55	162,13
2002	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	15,72	162,13
2002	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	52,61	162,13
2002	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	16,73	162,13
2002	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	16,63	162,13
2002	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	12,13	183,55
2002	3	<i>Alpodinaridella gestroi</i>	79,31	183,55
2002	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	20,26	183,55
2002	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	12,65	183,55
2002	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	15,51	183,55
2002	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	26,01	183,55
2002	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	17,93	183,55
2002	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	15,81	183,55
2002	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	19,47	183,55
865	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	100,89	360,97
865	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	114,53	410,17
865	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	38,18	410,17
699	1	<i>Panoniona leoni</i>	96,57	96,91
699	1	<i>Panoniona leoni</i>	11,25	96,91
699	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	10,59	96,91
699	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	10,58	96,91
699	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	13,89	96,91
699	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	16,74	96,91
699	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	18,84	96,91
699	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	15,16	96,91
565	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	65,61	278,61
565	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	86,32	278,61
565	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	74,58	278,61
565	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	50	278,61
565	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	52,81	278,61
565	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	57,58	278,61
565	1	<i>Lumbricus rubellus</i>	48,79	408,85
165	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	59,88	202,26
810	2	<i>Dendrobaena byblica</i>	156,7	297,83
165	1	<i>Dendrobaena octaedra</i>	30,73	128,74
165	1	<i>Panoniona leoni</i>	75,91	128,74
165	1	<i>Panoniona leoni</i>	66,45	128,74
165	1	<i>Octolasion tyrtaeum</i>	78,47	128,74
810	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	20,24	304,31
810	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	17,29	304,31
810	3	<i>Aporrectodea rosea</i>	72,63	304,31

Se nadaljuje

nadaljevanje

Vinograd	Vzorčno mesto	Vrsta	Cu deževniki (mg kg ⁻¹)	Cu tla (mg kg ⁻¹)
810	1	<i>Dendrobaena</i> sp.	80,63	279,51
810	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	63,96	279,51
810	1	<i>Dendrobaena byblica</i>	46,14	279,51
810	1	<i>Dendrobaena byblica</i>	65,64	279,51
810	2	<i>Dendrobaena byblica</i>	58,78	297,83
885	1	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	27,89	98,04
885	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	48,75	98,04
885	1	<i>Octolasion tyrtaeum</i>	63,03	98,04
938	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	9,92	44,11
938	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	9,64	44,11
938	3	<i>Octolasion tyrtaeum</i>	28,81	44,11
938	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	33,98	24,98
938	2	<i>Octolasion tyrtaeum</i>	37,34	24,98
938	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	18,7	24,98
938	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	18,7	26,84
375	2	<i>Allolobophora chlorotica</i>	32,58	29,08
375	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	25,85	29,08
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	13,85	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	21,17	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	20,35	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	19,1	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	18,49	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	14,32	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	16,08	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	19	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	15,93	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	15,47	101,03
699	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	17,06	101,03
699	2	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	17,45	101,03
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	13,46	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	23,35	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	18,63	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	12,04	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	19,13	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	12,67	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	14,67	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	12,73	102,32
699	3	<i>Lumbricus terrestris</i>	14,83	102,32

PRILOGA C

Vsebnost Cu v odraslih deževnikih in v tleh na posameznih vzorčnih mestih v vinogradih na Primorskem.

Vinograd	Vzorčno mesto	Vrsta	Cu deževniki (mg kg ⁻¹)	Cu tla (mg kg ⁻¹)
035	3	<i>Allolobophora chlorotica</i>	17,27	117,26
422	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	24,37	42,68
422	2	<i>Aporrectodea trapezoides</i>	27,96	43,05
422	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	20,66	43,05
369	1	<i>Allolobophora chlorotica</i>	55,53	101,15
369	1	<i>Allolobophora chlorotica</i>	35,89	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	61,59	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	37,26	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	55,81	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	32	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	45,92	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	70,6	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	58,46	101,15
369	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	75,19	101,15
369	1	<i>Allolobophora chlorotica</i>	51,49	101,15
369	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	48,47	108,68
369	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	51,21	108,68
369	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	42	108,68
369	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	67,86	108,68
369	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	66,97	108,68
369	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	40,42	108,68
369	3	<i>Aporrectodea rosea</i>	38,08	103,18
369	3	<i>Aporrectodea rosea</i>	38,04	103,18

PRILOGA D

Vsebnost Cu v odraslih deževnikih in v tleh na posameznih vzorčnih mestih v vinogradih v štajerski regiji.

Vinograd	Vzorčno mesto	Vrsta	Cu deževniki (mg kg ⁻¹)	Cu tla (mg kg ⁻¹)
062	1	<i>Octolasion tyrtaeum</i>	25,96	40,68
062	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	17,5	40,68
062	1	<i>Lumbricus castaneus</i>	10,45	40,68
062	1	<i>Lumbricus rubellus</i>	27,13	40,68
062	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	18,48	40,68
062	2	<i>Aporrectodea rosea</i>	39,01	33,26
062	3	<i>Octolasion tyrtaeum</i>	21,99	47,93
062	3	<i>Octodrilus</i> sp.	51,66	47,93
882	2	<i>Lumbricus poluphemus</i>	18,25	36,3
882	1	<i>Panoniona leoni</i>	33,49	42,64
882	1	<i>Panoniona leoni</i>	46,32	42,64
882	1	<i>Panoniona leoni</i>	37,95	42,64
135	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	26,52	44,98
135	3	<i>Aporrectodea rosea</i>	38,03	44,98
135	3	<i>Lumbricus rubellus</i>	26,13	44,98
515	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	16,94	116,47
515	2	<i>Lumbricus terrestris</i>	35,89	116,47
515	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	77,55	172,95
515	1	<i>Aporrectodea rosea</i>	38,09	172,95
515	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	29,92	172,95
515	1	<i>Lumbricus terrestris</i>	35,1	172,95

PRILOGA E

Zbrani podatki za posamezne vzorčene vinograde.

Vzorčeni vinogradi (GERK)	Vzorčno mesto	Cu v tleh (0-20 cm) (mg kg ⁻¹)	Cu v tleh (20-40 cm) (mg kg ⁻¹)	Org. snov (%)	pH	Št. odraslih dež.	Biomasa (odrasli dež.)	Biomasa (juvenilni dež.)
Primorska								
169369	1	101,2	56	3,4	7,1	11	7,77	2,59
169369	2	108,7	62,2	3,6	7,2	6	12,60	7,69
169369	3	103,2	57,7	3,9	7,2	2	4,52	1,42
3597630	1	75,3	66,3	4,3	7,3	0	-	0,35
3597630	2	57	55,5	3,8	7,3	mrtvi	-	-
3597630	3	59,4	52,8	2,6	7,4	mrtvi	0,36	-
761460	1	195,3	136,4	5,8	7,4	mrtvi	24,92	5,18
761460	2	108,1	106,3	4	7,3	0	-	0,01
761460	3	163	118,7	5	7,1	mrtvi	11,82	1,85
807035	1	76,3	99,6	3,8	7,2	0	-	1,21
807035	2	97,1	83	5,4	7,1	mrtvi	3,17	1,48
807035	3	117,3	133,5	5,8	7,2	1	0,30	2,29
1956422	1	42,7	45,8	2,4	6,9	1	0,29	2,14
1956422	2	43,1	44,4	2,1	6,6	2	0,46	0,13
1956422	3	46,2	45,2	2,3	6,7	0	-	1,06
4419914	1	84,6	84,9	2,4	7,4	0	-	0,42
4419914	2	81,2	78,2	2	7,3	0	-	-
4419914	3	73,5	73,6	2,3	7,4	0	-	-
Dolenjska								
545375	1	35	28,4	3,1	5,5	0	5 rovov	5,70
545375	2	29,1	21,8	2,5	5,2	2	1,96	7,97
545375	3	29,1	19,9	4,3	4,9	0	6 rovov	4,30
461938	1	26,8	20,2	2	5,9	1	3,37	10,12
461938	2	25	26	3	5,3	3	6,72	8,37
461938	3	44,1	47,3	2,1	4,5	3	7,30	9,28
3515165	1	128,4	107,9	4,2	6,8	4	13,46	13,10
3515165	2	282,4	168,5	4	6,4	0	-	2,08
3515165	3	202,3	192,6	3,4	6,0	1	0,67	2,20
1382810	1	279,5	321,7	5,1	7,0	4	7,75	0,65
1382810	2	297,8	315,5	4,8	7,2	2	6,30	7,68
1382810	3	304,3	337,3	4,5	7,1	3	6,75	1,72
3103155	1	119,1	95	3,8	7,0	0	-	18,97
3103155	2	122,6	114,3	4,2	7,1	0	-	4,82
3103155	3	206,6	288,9	4,5	7,1	0	-	9,32
1659865	1	503,5	668,1	8,2	6,8	0	-	0,17
1659865	2	361	370,4	4,6	6,7	1	3,10	1,56
1659865	3	410,2	693,9	5,8	6,9	2	4,28	-
1834565	1	408,9	155,6	5,4	7,1	1	0,34	6,17
1834565	2	595,8	364,1	6,2	7,1	0	-	0,80
1834565	3	278,6	513,6	1,7	7,2	6	3,00	1,26
412001	1	229,6	151,5	4	7,3	0	-	4,10
412001	2	94,5	114,7	2,4	7,3	0	-	1,82

Se nadaljuje

nadaljevanje

Vzorčeni vinogradi (GERK)	Vzorčn o mesto	Cu v tleh (0-20 cm) (mg kg⁻¹)	Cu v tleh (20-40 cm) (mg kg⁻¹)	Org. snov (%)	pH	Št. odraslih dež.	Biomasa (odrasli dež.)	Biomasa (juvenilni dež.)
412001	3	131,4	140,6	2,9	7,3	0	-	-
412002	1	162,1	116,8	5,4	7,1	6	32,02	7,43
412002	2	156,4	144,4	4,2	7,1	1	6,46	9,06
412002	3	183,6	182,4	5,2	7,0	8	32,19	6,73
3521699	1	96,9	58,1	4,2	6,9	8	22,06	4,66
3521699	2	101	80,4	5,2	6,9	12	44,77	18,13
3521699	3	102,3	90,1	5	6,6	9	37,79	16,79
Štajerska								
576515	1	173	119,9	3,6	7,0	4	10,45	3,85
576515	2	116,5	78,2	3,5	7,0	2	5,30	16,48
576515	3	106,1	126,6	3,6	7,0	0	-	5,83
2291062	1	40,7	35,7	2,4	6,2	5	5,41	5,45
2291062	2	33,3	27	3,6	5,6	1	0,99	1,43
2291062	3	47,9	42,1	3,3	7,1	2	5,48	0,93
3409135	1	34,7	48,6	3,7	5,4	0	-	-
3409135	2	52,6	42,2	2,7	6,5	0	-	1,71
3409135	3	45	78,3	2,3	6,8	3	0,84	2,82
677885	1	98	87	4,8	6,8	3	1,55	0,81
677885	2	106,7	128,3	3,6	7,1	0	-	1,74
677885	3	135	37,5	3,8	7,1	0	-	-
677882	1	42,6	49,1	3,7	7,1	3	5,00	9,26
677882	2	36,3	11	2,7	7,1	1	4,77	3,45
677882	3	19,5	96,6	1,5	7,2	0	-	-
3497613	1	99,2	139,2	1,7	7,2	0	-	-
3497613	2	132,4	118,2	2,1	7,2	0	-	-
3497613	3	123,1	32,4	1,8	7,3	0	-	-