

Zapis o zemlji

In vendar:

nekdo bo moral ostati
na tej zemlji, na teh kamnih.
Nekomu mora zemlja – storoka mati
dati sad prednikov davnih.

Nekdo bo moral ljubiti
ajdo in brajdo, koruzne late,
nekdo bo moral z rokami izbiti
v kamen svoje iniciale.

Nekdo bo moral, moral ostati,
držati na plečih razmajani krov.
Nekdo bo moral predati
zanimcem štafeto rodov.

Tone Pavček

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ŠTUDIJ EKOLOGIJE IN BIODIVERZITETE

Urša REMIC

**VSEBNOST SELENA PRI VODNEM JETIČNIKU IZ
IZBRANIH SLOVENSКИH VODOTOKOV**

MAGISTRSKO DELO
(Magistrski študij – 2. stopnja)

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ŠTUDIJ EKOLOGIJE IN BIODIVERZITETE

Urša REMIC

**VSEBNOST SELENA PRI VODNEM JETIČNIKU IZ IZBRANIH
SLOVENSКИH VODOTOKOV**

MAGISTRSKO DELO

(Magistrski študij – 2. stopnja)

**SELENIUM CONTENT IN *Veronica anagallis-aquatica* GROWING IN
SELECTED SLOVENIAN STREAMS**

M. Sc. Thesis

(Master Study Programmes)

Ljubljana, 2015

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študijskega programa 2. stopnje, Ekologija in biodiverziteta, na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Terensko delo je potekalo na izbranih lokacijah Slovenije, analizni del naloge pa je bil opravljen na Institutu Jožef Stefan, na Odseku za znanosti o okolju.

Komisija za študij 1. in 2. stopnje in Senat Oddelka za biologijo sta dne 8. 3. 2013 odobrila naslov magistrskega dela in za mentorico imenovala prof. dr. Matejo Germ, za somentorico prof. dr. Vekoslavo Stibilj in za recenzenta prof. dr. Ivana Krefta. Za predsednico komisije za oceno in zagovor magistrskega dela je bila imenovana prof. dr. Alenka Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednica: prof. dr. Alenka GABERŠČIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Članica: prof. dr. Mateja GERM
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Članica: prof. dr. Vekoslava STIBILJ
Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, O-2
- Član: prof. dr. Ivan KREFT
Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 12. 6. 2015

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

Urša Remic

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)

- ŠD Du2
- DK UDK 581.5:582.944:546.23:556.53(497.4)=163.6
- KG selen/*Veronica anagallis-aquatica*/vodotok/sediment/ICP-MS
- AV REMIC, Urša, diplomirana biologinja (UN)
- SA GERM, Mateja (mentorica)/STIBILJ, Vekoslava (somentorica)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Študij ekologije in biodiverzitete
- LI 2015
- IN VSEBNOST SELENA PRI VODNEM JETIČNIKU IZ IZBRANIH SLOVENSКИH VODOTOKOV
- TD Magistrsko delo (Magistrski študij - 2. stopnja)
- OP VIII, 60 str., 10 pregl., 10 sl., 16 pril., 80 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Selen je element v sledovih, ki je esencialen za človeka in živali ter obenem za njih strupen v večjih koncentracijah. Zaradi dodajanja selena v krmo živali, se ga del izloči preko iztrebkov v okolje, kar prispeva k onesnaževanju voda in okolja. Rastline imajo različno sposobnost za privzem selena iz okolja. Vodni jetičnik *Veronica anagallis-aquatica* je amfibijska rastlina, ki raste tako v vodi kot na kopnem in je sposobna privzemati večje koncentracije selena. V raziskavi smo želeli ugotoviti, ali se vsebnost selena v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* razlikuje glede na vpliv človeka v zaledju vodotoka ter kakšna je razporeditev selena v rastlinskih organih vrste *Veronica anagallis-aquatica*. V letu 2013 smo v mesecu juliju in septembru vzorčili vodo, sediment in rastlinsko vrsto *Veronica anagallis-aquatica* v izbranih slovenskih vodotokih. Vsebnost selena v vodi, sedimentu in v izbrani rastlinski vrsti smo ugotavljali z masno spektrometrijo z induktivno sklopljeno plazmo (ICP-MS). Koncentracije selena v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* so se med seboj razlikovale glede na vzorčno mesto, habitus in velikost rastline ter na vsebnost selena v sedimentu. Izračunali smo pozitivno korelacijo med vsebnostjo selena v sedimentu in listih vrste *Veronica anagallis-aquatica*. Večje koncentracije selena so prisotne na območjih, kjer je v zaledju vpliv človeka večji. Največje koncentracije selena rastline vrste *Veronica anagallis-aquatica* kopičijo v koreninah in listih, najmanjše v steblo.

KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)

- DN Du2
- DC UDK 581.5:582.944:546.23:556.53(497.4)=163.6
- CX selenium/*Veronica anagallis-aquatica*/stream/sediment/ICP-MS
- AU REMIC, Urša
- AA GERM, Mateja (supervisor)/STIBILJ, Vekoslava (co-advisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Academic Study Programme in Ecology and biodiversity
- PY 2015
- TI SELENIUM CONTENT IN *Veronica anagallis-aquatica* GROWING IN SELECTED SLOVENIAN STREAMS
- DT M. Sc. Thesis, (Master Study Programmes)
- NO VIII, 60 p., 10 tab., 10 fig., 16 ann., 80 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB The trace element, selenium, is an essential nutrient for human and animals and at the same time toxic in higher concentrations. Because selenium is added to feed stuffs, the part of it is released with animal feces into the environment which contribute to water and environmental pollution. Plants have different ability to accumulate selenium from environment. *Veronica anagallis-aquatica* is an amphibious plant that grows in water and on land and it is able to accumulate higher concentrations of selenium. In our research we tried to found out if concentration of selenium in a species *Veronica anagallis-aquatica* varies depending on the human influence in the catchment of the stream and the distribution of selenium in *Veronica anagallis-aquatica*. The sampling of water, sediment and *Veronica anagallis-aquatica* plants was performed in July and September in 2013 on selected Slovenian streams. The selenium content in water, sediment and selected plant was measured with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Concentrations of selenium in a species *Veronica anagallis-aquatica* were differentiated depending on the sampling location, growth form of plants and on selenium concentration in the sediment. We have noticed a positive correlation between selenium concentration in the sediment and leaves of *Veronica anagallis-aquatica*, higher concentrations of selenium are also present in sampling locations where human impact is greater. *Veronica anagallis-aquatica* accumulated higher concentration of selenium in the roots and leaves and the smallest in the stems.

KAZALO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
SEZNAM PRILOG	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 NAMEN NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 SELEN	3
2.1.1 Splošno o selenu	3
2.1.2 Kroženje selena v okolju	4
2.1.3 Selen v prehrani ljudi in živali	5
2.1.4 Selen in rastline	6
2.1.4.1 Privzem selena	7
2.2 MAKROFITI.....	9
2.2.1 Vloga makrofitov v vodnem ekosistemu	9
2.2.2 Vodni jetičnik-<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	10
2.3 VREDNOTENJE KAKOVOSTI VODA	11
3 MATERIALI IN METODE	13
3.1 OPIS VODOTOKOV IN VZORČNIH MEST	13
3.2 VZORČENJE NA TERENU	18
3.2.1 Vzorčenje vode	18
3.2.2 Vzorčenje sedimenta	19
3.2.3 Merjenje fizikalnih in kemijskih parametrov ter širša okoljska ocena vodotokov	19

3.2.4	Vzorčenje rastlin	19
3.3	PRIPRAVA VZORCEV	20
3.3.1	Priprava vzorcev vode	20
3.3.2	Sušenje filtrov in določanje suhe mase suspendiranih snovi	21
3.3.3	Priprava sedimenta	21
3.3.4	Sejanje in mletje sedimenta	22
3.3.5	Priprava rastlinskih vzorcev vrste <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	23
3.4	RAZKROJ VZORCEV IN MERJENJE VSEBNOSTI SELENA	24
3.4.1	Razkroj vzorcev sedimenta	24
3.4.2	Merjenje vsebnosti selena v vzorcih sedimenta	25
3.4.3	Razkroj vzorcev <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	25
3.4.4	Merjenje vsebnosti selena v vzorcih vrste <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	26
3.4.5	Pravilnost in ponovljivost uporabljenih metod	26
3.5	OBDELAVA PODATKOV	26
4	REZULTATI	27
4.1	FIZIKALNI IN KEMIJSKI PARAMETRI	28
4.2	VSEBNOST SELENA V VODI IN SUHA MASA SUSPENDIRANIH SNOVI	29
4.3	VSEBNOST SELENA V SEDIMENTU	31
4.4	VSEBNOST SELENA V VRSTI <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	32
4.5	ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA S POMOČJO RCE VPRAŠALNIKA	37
5	RAZPRAVA	39
5.1	FIZIKALNI IN KEMIJSKI PARAMETRI	39
5.2	VSEBNOST SELENA V VODOTOKIH	41
5.3	VSEBNOST SELENA V SEDIMENTIH	44
5.4	VSEBNOST SELENA V VRSTI <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	45
5.5	ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA PREGLEDANIH VODOTOKOV	48
6	SKLEPI	50
7	POVZETEK	51
8	LITERATURA	53

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vsebnost Se v tleh v nekaterih državah (Kabata-Pendias, 2010 ¹ ; Pirc in Šajn, 1997 ²)	5
Preglednica 2: Vsebnost Se v pšeničnih zrnih v nekaterih državah (Kabata-Pendias, 2010)	6
Preglednica 3: Pregled vodotokov in opis vzorčnih mest.....	16
Preglednica 4: Opis rastline <i>Veronica anagallis-aquatica</i> na posameznih vzorčnih mestih	17
Preglednica 5: Potek vzorčenja v letu 2013	28
Preglednica 6: Izmerjeni fizikalni in kemijski parametri vode ob julijskem in septembrskem vzorčenju	29
Preglednica 7: Izmerjena vsebnost Se [$\mu\text{g/L}$] v vodi in suha masa SPM v vodi [mg/L] ...	30
Preglednica 8: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v sedimentih in delež sedimenta, ki je manjši od 1 mm [%].....	31
Preglednica 9: Ocena stanja vodotoka in uvrstitev vodotoka v ustrezni kakovostni razred	38
Preglednica 10: Literaturni (Mechora in sod., 2014 ¹) in dobljeni podatki za vsebnost Se v vodi	43

KAZALO SLIK

Slika 1: <i>Veronica anagallis-aquatica</i> v reki Krki pri Soteski	20
Slika 2: Sušenje sedimenta v laboratoriju.....	22
Slika 3: Priprava vzorcev <i>Veronica anagallis-aquatica</i> v laboratoriju	23
Slika 4: Vsebnost Se [$\mu\text{g/L}$] v vodi v julijskih in septembrskih vzorcih iz izbranih vodotokov.....	30
Slika 5: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v sedimentu v vzorcih iz meseca septembra iz izbranih vodotokov.....	32
Slika 6: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v vrsti <i>Veronica anagallis-aquatica</i> v mesecu juliju iz izbranih vodotokov.....	33
Slika 7: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v vrsti <i>Veronica anagallis-aquatica</i> v mesecu septembru iz izbranih vodotokov	34
Slika 8: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v posameznih rastlinskih delih, neodvisno od vzorčnega mesta v vzorčenju v mesecu juliju	35
Slika 9: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v sedimentu in listih, neodvisno od vzorčnega mesta v vzorčenju v mesecu septembru.....	36
Slika 10: Pozitivna korelacija med vsebnostjo Se v sedimentu in listih vrste <i>Veronica anagallis-aquatica</i> v vzorčenju v mesecu septembru	37

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Pogoji merjenja na instrumentu ICP-MS (7500 ce Agilent Technologies, Tokio, Japonska), meje detekcije in ujemanje certificiranih vrednosti z izmerjenimi

Priloga B1: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v posameznih rastlinskih delih vrste *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu juliju iz preučevanih vodotokov

Priloga B2: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v posameznih rastlinskih delih vrste *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu septembru iz preučevanih vodotokov

Priloga C: Prilagojen RCE vprašalnik

Priloga D1: Območje vodotoka Pšata v vasi Bišče z označenim vzorčnim mestom

Priloga D2: Območje vodotoka Krka v vasi Soteska z označenim vzorčnim mestom

Priloga D3: Območje vodotoka Radeščica v vasi Podhosta z označenim vzorčnim mestom

Priloga D4: Območje vodotoka Črmošnjičica v vasi Grič z označenim vzorčnim mestom

Priloga D5: Območje vodotoka Temenica v vasi Prečna z označenim vzorčnim mestom

Priloga D6: Območje vodotoka Krka v Krški vasi z označenim vzorčnim mestom

Priloga D7: Območje vodotoka Temenica v vasi Dolenji Podboršt z označenim vzorčnim mestom

Priloga D8: Območje vodotoka Temenica v vasi Grm z označenim vzorčnim mestom

Priloga D9: Območje vodotoka Ložnica v vasi Spodnja Ložnica z označenim vzorčnim mestom

Priloga D10: Območje vodotoka Cerknjščica v Dolenji vasi z označenim vzorčnim mestom

Priloga D11: Območje vodotoka Lipsenjščica v vasi Lipsenj z označenima vzorčnima mestoma: Lipsenj 1 in Lipsenj 2

Priloga D12: Območje vodotoka Žerovniščica v vasi Žerovnica z označenimi vzorčnimi mesti: 1, 2, 3 in 4

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

DL	»detection limit«; meja detekcije
H ₂ O ₂	vodikov peroksid
HCl	klorovodikova kislina
HF	fluorovodikova kislina
HNO ₃	dušikova (V) kislina
ICP-MS	masna spektrometrija z induktivno sklopljeno plazmo
IJS	Institut Jožef Stefan
RCE	»Riparian Channel and Environment Inetory«
Se	selen
Se-cistation	selencistation
Se-homocistein	Selen-homocistein
SeMet	selenometionin
SM	suha masa
SPM	suha masa suspendiranih snovi

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Selen (Se) je naravni element v sledovih, ki je kot element v sledovih esencialen za človeka in živali ter obenem strupen v večjih koncentracijah. Zaradi različne geološke podlage in geokemičnih procesov je Se po zemlji razporejen neenakomerno. Večji del Evrope prekrivajo kislila tla, kar rastlinam otežuje akumulacijo Se (Reilly, 1996). Se preko rastlin vstopa v prehranjevalno verigo. Zaradi pomanjkanja Se v prehrani živali, so se v 50-ih letih prejšnjega stoletja v mnogih evropskih državah začele pojavljati številne bolezni, zato so začeli z ukrepom z dodajanjem Se v krmo živali (Reilly, 1996).

Zaradi nepopolne absorpcije Se v organizem živali, se Se neposredno ali posredno izloča v okolje. Poleg kmetijske dejavnosti, so potencialni viri onesnaževanja okolja s Se lahko tudi komunalna odlagališča, smetišča, industrijski odpadki in odlagališča jalovin rudnikov. Ko je okolje onesnaženo s Se, se v nizu dogodkov Se bioakumulira, kar omeji kasnejše reševanje okoljskega problema.

Količina privzetega Se v rastline je odvisna od koncentracije Se v tleh, njegove kemijske oblike in od zmožnosti rastlinske vrste za privzem Se (Terry in sod., 2000). Nekatere rastlinske vrste, ki lahko privzamejo večje količine Se, so sposobne prerazporejanja Se po rastlini: pozimi ga kopičijo v koreninah, spomladi ga je največ v mladih, razvijajočih se listih, poleti pa v cvetovih oziroma reproduktivnih organih rastline. Prav tako so rastline sposobne Se prerazporediti iz starih listov v mlade, jeseni pa ga kopičijo v semenih (Galeas, 2007).

Makrofiti imajo v vodnem ekosistemu pomembno vlogo, saj vplivajo tako na kemizem vode, hitrost vodnega toka kot na samo kakovost vode. Iz vode in sedimenta lahko v svojo biomaso vežejo različne snovi in hranila. Na ta način prispevajo k samočistilni sposobnosti vodnih teles, obenem pa utrjujejo sediment ter zmanjšujejo erozijo in motnost vode (Madsen in sod., 2001).

Vrstna sestava makrofitov v vodotoku je tudi pokazatelj stanja okolja (Germ, 2013). Sezonska dinamika makrofitske združbe, vrstna pestrost in številčnost populacije posameznih vrst predstavljajo pomembne pokazatelje splošnega ekološkega stanja vodnih

ekosistemov (Pajević in sod., 2008), posamezne vrste makrofitov pa zaradi svoje občutljivosti na onesnaževanje lahko služijo kot bioindikatorji (Germ, 2013).

Dosedanje raziskave so pokazale, da je vrsta vodni jetičnik, *Veronica anagallis-aquatica*, sposobna akumulirati večje koncentracije Se (Gerjevič, 2012; Mechora, 2013). Uvrščamo jo med amfibijske rastline, saj uspeva tako v vodi kot na kopnem. Najdemo jo v mlakah, počasi tekočih vodah, vodnih jarkih in močvirskih travnikih nižinskega pasu (Mala flora Slovenije, 2007). Vrsta je razširjena celi Sloveniji. V nalogi smo se osredotočili na vodotoke v bližini kmetijskih zemljišč, kjer se Se z izcednimi vodami lahko izloča v okolje.

1.2 NAMEN NALOGE

Namen magistrske naloge je bil:

- ugotoviti, ali se vsebnost selena v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* razlikuje med vzorčnimi mesti z manjšim vplivom človeka in mesti, kjer je vpliv človeka večji,
- ugotoviti, ali je vrsta *Veronica anagallis-aquatica* primerna za bioindikacijo selena v slovenskih vodotokih,
- ugotoviti, kakšna je razporeditev selena v rastlinah vrste *Veronica anagallis-aquatica*.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

- Predvidevamo, da se vsebnost Se razlikuje med primerki vrste *Veronica anagallis-aquatica*, ki uspevajo v vodotokih z različno rabo zemljišča v zaledju,
- predvidevamo, da bo vrsta *Veronica anagallis-aquatica* primerna za biomonitoring s selenom obremenjenih vodotokov,
- predvidevamo, da bo vrsta *Veronica anagallis-aquatica* največ selena kopičila v koreninah in v listih, in najmanj v steblih.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SELEN

Selen (Se) je naravni element v sledovih, ki je kot mikroelement esencialen za mnoge organizme in obenem strupen v večjih koncentracijah. Leta 1817 ga je odkril švedski kemik Jöns Jacob Berzelius in ga poimenoval po Seleni, grški boginji Lune. 140 let kasneje pa sta znanstvenika Schwarz in Foltz selen uvrstila med esencialne elemente za živali, ko sta odkrila, da selen pripomore k preprečevanju jetrne nekroze pri podganah. Tako je v 60-ih letih prejšnjega stoletja selen pritegnil pozornost mnogih znanstvenikov in pričele so se raziskave na področju vpliva selena na človekovo zdravje (Brown in Arthur, 2001).

2.1.1 Splošno o selenu

Selen je eden izmed najbolj razširjenih elementov na zemeljski skorji in ga zaradi lastnosti kovin in nekovin uvrščamo med metaloide. Po svoji kemijski sestavi je zelo podoben žveplu (S), vendar pa kot gradnik mnogih spojin in proteinov z njim ni zamenljiv (Stadtman, 1990). V naravi je prisotnih 6 izotopov selena (^{74}Se , ^{76}Se , ^{77}Se , ^{78}Se , ^{80}Se in ^{82}Se) (Brenčič in Lazarini, 1995), v naravi pa se najpogosteje pojavlja v štirih različnih oksidacijskih stanjih: kot selenid (Se^{-2}), elementarni selen (Se^0), selenit (Se^{+4}) in selenat (Se^{+6}) (Patterson in sod., 2010), prav tako pa je vezan v različne organske spojine, kot so npr. selenoproteini (selenocistein-SeCys in selenometionin-SeMet) oziroma v Se amino kisline. Vsaka oblika selena ima zaradi specifičnih kemijskih značilnosti svojo vlogo v naravi. Med seboj se razlikujejo tako po razpoložljivosti, bioakumulaciji, mobilnosti, kot tudi toksičnosti (Fordyce, 2013; Rayman, 2012; Tan in sod., 2002).

Zaradi različne geološke podlage in geokemičnih procesov, je selen po zemlji razporejen neenakomerno. Na nekaterih predelih so tla in mineralna nahajališča naravno bogatejša s selenom kot drugod po svetu. Prekomerno uživanje krme, z visoko vsebnostjo Se, lahko vodi v selenozo. Koncentracija selena v tleh se giblje med 0,01- 2,0 mg/kg, s povprečno vrednostjo v tleh 0,4 mg/kg. Na območjih, bogatih s selenom, pa lahko koncentracije presegajo 10 mg/kg (Zhu in sod., 2009).

Meja med esencialnostjo in toksičnostjo Se je v primerjavi z ostalimi elementi zelo ozka (Fordyce, 2013) znotraj enega velikostnega razreda (0,1 – 1 mg/kg).

2.1.2 Kroženje selena v okolju

Selen se po naravni poti v okolje sprošča iz kamnin v procesu erozije, s spiranjem tal in preko bioloških procesov živih organizmov. Porazdelitev in oblika Se sta odvisni od vrste kamnine, pH in redoks potenciala tal, topnosti, slanosti, ter od prisotnosti drugih organskih in anorganskih spojin v okolju (Combs, 2001). V splošnem je topnost Se v alkalnih okoljih večja kot v kislih. Prav tako večje količine raztopljenega elementa najdemo v vodnih telesih z višjim pH, kjer selenit oksidira v bolj topno obliko, selenat (Lakin, 1973). Selenat v alkalnih okoljih ne tvori stabilnih kompleksnih spojin in je tako bolje dostopen rastlinam, obenem pa je pretvorba selenata v selenit ali elementarni Se zelo dolgotrajen in počasen proces (Saiki in Lowe, 1987).

Koncentracije celotnega Se v okolju se torej med seboj razlikujejo zaradi njegove neenakomerne razporejenosti selena po zemlji. Kljub naravnemu biogeokemičnemu kroženju elementa, pa se v okolje dodatno sproščajo večje količine Se zaradi različnih človeških dejavnosti, tudi zaradi kmetijstva (Zhu in sod., 2009), kar lahko privede do onesnaženosti okolja s selenom.

Od leta 1980 povzroča Se raziskovalcem kar nekaj skrbi, saj predstavlja enega glavnih onesnaževalcev vodnih ekosistemov, takoj za živim srebrom (Hg) (Hu in sod., 2009; May in sod., 2008; Patterson in sod., 2010). V splošnem so koncentracije Se v vodi izredno nizke ($<0,2\mu\text{g/L}$), zato sama voda organizmom ne predstavlja nevarnosti za izpostavljenost Se (Fordyce, 2013). Izpostavljenost prostoživečih živali in človeka selenu je povezana z njegovo bioakumulacijo, saj lahko preko prehranjevalne verige organizmi dosežejo strupene koncentracije omenjenega elementa (Lemly, 2004). V vodnih ekosistemih sta prisotni predvsem dve topni obliki Se: selenat, ki predstavlja kar 65% celotnega Se v vodnem okolju, in selenit, 15% (Zhang in sod., 2014). Bistveno manjšo zastopanost selenita lahko pripišemo močnejši in hitrejši adsorpciji ter vezavi s koloidnimi delci na površino sedimenta in peska, zaradi česar selenit postane bistveno manj mobilan (Zhang in Sparks, 1990). Prav tako je selenit nekaterim organizmom (predvsem algam) bolj razpoložljiva oblika Se kot selenat (Wang in sod., 1994). V splošnem onesnaženost vodnih sistemov s Se, ne glede na njegovo obliko, zelo hitro pusti posledice v vodnih habitatih in tamkajšnjih življenjskih združbah. Pojavijo se lahko nepovratne ekosistemske motnje in upad reprodukcije celotne nektonske združbe (Lemly, 2007).

Pri kroženju Se v vodnih ekosistemih ima pomembno vlogo sediment, saj v večini vsebuje Se iz antropogenih virov (Inagaki in sod., 2006). Kovine (svinec, kadmij, cink, baker in drugi) ter druga onesnaževala preidejo v okolje kot odpadki človekove dejavnosti, kot so industrija, komunalna odlagališča, rudarjenje, gnojenje, izcedne industrijske in kmetijske vode. Le ti se v procesu sedimentacije kopičijo v sedimentu, zadržujejo pa se tudi v podtalnih in površinskih vodah. Porazdelitev kovin v sedimentih, ki se nahajajo v bližini naselij, nam lahko poda oceno o antropogenem vplivu na ekosistem in pomaga pri presoji o stopnji tveganja, povezani z odvajanjem človeških odpadkov v okolje (Tang in sod., 2009).

2.1.3 Selen v prehrani ljudi in živali

Se vstopi v prehranjevalno verigo preko rastlin, ki ga privzamejo iz tal. Koncentracije Se v tleh se razlikujejo glede na sestavo tal, zato ga v določenih regijah primanjkuje, spet druge je Se v presežku. Večji del Evrope prekrivajo kislila tla, ponekod bogata z železom ali aluminijem, kar rastlinam otežuje akumulacijo Se (Reilly, 1996). V 50-ih letih prejšnjega stoletja so se v mnogih evropskih državah, vključno z Anglijo, začele pojavljati bolezni živine, ki so povezane s pomanjkanjem Se. Prvi znaki, kot so manjša rast, oslabela reprodukcija, miopatija skeletnih mišic in srca, so se najprej pojavili pri ovcah in teletih. Bolezni so pustile resne ekonomske posledice, zato so začeli z ukrepom: dodajanje Se v prehrano živali. S Se obogatenimi gnojili so začeli dognojevati pašne travnike (Reilly, 1996).

Preglednica 1: Vsebnost Se v tleh v nekaterih državah (Kabata-Pendias, 2010¹; Pirc in Šajn, 1997²)

Država	Vsebnost Se [mg/kg] v zemlji	Država	Vsebnost Se [mg/kg] v zemlji
Finska ¹	0,21	ZDA ¹	0,50
Švedska ¹	0,23	Slovaška ¹	0,10
Litva ¹	0,14	Poljska ¹	0,14
Rusija ¹	0,18	Slovenija ²	<0,1-0,7
Japonska ¹	<0,2->3		

Raziskave so pokazale, da je Se esencialen element tudi za uspešno razmnoževanje tako živali kot človeka. Veterinarji so dokazali, da so spontani splavi v zgodnji nosečnosti pri ovcah povezani s pomanjkanjem Se (Stuart in Oehme, 1982).

Preglednica 2: Vsebnost Se v pšeničnih zrnih v nekaterih državah (Kabata-Pendias, 2010)

Država	Vsebnost Se [$\mu\text{g}/\text{kg}$] v pšeničnih zrnih	Država	Vsebnost Se [$\mu\text{g}/\text{kg}$] v pšeničnih zrnih
Finska pred dodajanjem Se (pred letom 1984)	10-70	Nekdanja Jugoslavija	<10-25
Finska po dodajanju Se	76-190	ZDA	280-690
Danska	4-87	Kanada	9-38
Francija	30-53	Avstralija	1-117
Češka	11-49	Kitajska	2-198

Preko prehrane se v telo absorbira približno 80% Se (Reilly, 2006). Prav tako so izgube Se na nižjih trofičnih nivojih prehranjevalne verige: le te se začnejo že pri kopičenju Se v rastline. Rastline iz gnojila privzamejo le 5-30% dodanega Se, preostala količina elementa pa se izloči v okolje in lahko preide v vodne ekosisteme (Tveitnes in sod., 1996).

Tako evropska (Council Directive 2004/C 50/01) kot slovenska zakonodaja (Regulations the Sanitary Suitability, UL RS, no. 33/01) dovoljmeta vnos 0,5 mg Se na 1 kg živalske krme. Se se zaradi nepopolne absorpcije v organizem živali izloča v okolje preko iztrebkov, v obliki gnojevke, gnoja ali izcednih vod (Mechora in sod., 2014). Mihelič in sodelavci (2010) poročajo, da ena krava, ki jo na slovenski kmetiji vzrejajo za pridelavo mleka, letno proizvede kar 15 ton gnojevke, ki se izloča v okolje, medtem ko proizvede prašič 4 tone (Mihelič in sod., 2010).

Po podatkih Statističnega urada republike Slovenije, je bilo v letu 2013 na celotnem območju Slovenije 460 576 osebkov goveda, 288 350 prašičev, 108 779 ovac in 21 240 koz (Statistični urad republike Slovenije).

2.1.4 Selen in rastline

S terminom »težke« kovine označujemo elemente (kovine in polkovine), ki so oziroma so lahko strupene tako za rastline kot živali. Nekateri izmed njih, kot so arzen, kadmij, živo srebro, svinec in selen so neesencialni elementi za rastline, saj v njihovem organizmu nimajo oziroma še ne poznamo fiziološke vloge. Druga skupina kovin, kot so kobalt, baker, železo, mangan, nikelj, molibden in cink, pa so nujno potrebne za normalno rast rastlin in njihov metabolizem. Čeprav so omenjeni elementi esencialni, lahko hitro postanejo strupeni, ko njihova koncentracija v okolju prekorači optimalne vrednosti. Njihova strupenost se izrazi na celičnem oziroma molekularnem nivoju: inaktivirajo

encime, blokirajo funkcijske skupine pomembnih presnovnih molekul, premeščajo oziroma zamenjujejo druge esencialne elemente ter motijo membransko integriteto. Precej pogosta posledica zastrupitve s kovinami je tudi oksidativni stres pri rastlinah, ki vodi do ionskega popuščanja ter do razpada celičnih membran in cepitve DNA (Navari-Izzo in sod., 1999; Quartacci in sod., 2001; Pagliano in sod., 2006; Rocca in sod., 2009). Rastline so tako razvile obrambne mehanizme, s katerimi nadzorujejo privzemanje, kopičenje in prenos kovin po rastlini. Nekatere rastline so zmožne preživeti, rasti in se razmnoževati tako na območju z zmernimi koncentracijami kovin kot na območjih, kjer so koncentracije kovin povečane. Take vrste imajo do kovin razvito strpnost in jim pravimo akumulatorji kovin (Rascio in Navari-Izzo, 2010).

Z izrazom »hiperakumulatorji« označujemo rastline, ki aktivno privzemajo izredno visoke koncentracije ene ali več kovin iz tal. Privzete kovine se ne zadržujejo v koreninskem sistemu, ampak se prerazporedijo v rastlinske poganjke oziroma v nadzemne dele rastline, predvsem v liste. V njih najdemo 100-1000 krat višjo koncentracijo kovin kot v listih ne-hiperakumulirajočih rastlin, pri tako visokih koncentracijah pa ne kažejo nobenih znakov fitotoksičnosti (Rascio, 1977; Rascio in Navari-Izzo, 2010).

2.1.4.1 Privzem selena

Dosedanje raziskave pravijo, da Se ni esencionalen element za rastline (Anderson, 1993). Kljub temu pa je bilo dokazanih kar nekaj pozitivnih učinkov Se na rast višjih rastlin: pospešuje antioksidacijsko aktivnost, zavira procese povezane s staranjem in omili stres zaradi visoke svetlobe in suše (Germ in Stibilj, 2007).

Količina privzetega Se v rastline je odvisna od koncentracije Se v tleh, njegove kemijske oblike in od zmožnosti privzema Se rastlinske vrste (Terry in sod., 2000). Glede na akumulacijo Se posameznih rastlinskih vrst, ločimo (Valdez-Barillas in sod., 2011):

- selen neakumulirajoče rastline, ki privzamejo <100 mg Se/kgSM,
- selen akumulirajoče rastline, ki privzamejo 100-1000 mg Se/kgSM,
- selen hiperakumulirajoče rastline, ki privzamejo >1000 mg Se/kgSM.

Pri privzemu kovine v rastlino sta bistveni ekspresija in regulacija genov, ki omogočata oziroma onemogočata hiperakumulacijo (Verbruggen in sod., 2009). Rastline, ki lahko privzamejo večje koncentracije ene ali več kovin, imajo v primerjavi z ne-akumulirajočimi

rastlinami močno izražene gene, ki omogočajo izgradnjo prenašalnih molekul. Prenasalne molekule omogočajo prenos kovin iz korenin preko ksilema v nadzemne dele (liste, stbla in cvetove) za razliko od ne-akumulirajočih rastlin, ki kovine shranjujejo v koreninskem sistemu in jih razgrajujejo s kelatorji v citoplazmi ali pa kovine shranijo v vakuole koreninskih celic (Rascio in Navari-Izzo, 2010).

Se je po kemičnih lastnostih podoben žveplu. V rastlino vstopi kot selenat s pomočjo sulfatnih transporterjev, pravzaprav z žveplovimi ioni tekmuje za privzem v rastlino (Anderson, 1993). Nato se preko ksilema prenese v nadzemne dele- predvsem v liste, kjer poteče proces »razstrupljanja«. Samo razstrupljanje v večini primerov poteka v trihomih, epidermisu in celo v kutikuli na mestih, kjer se povzroči najmanj škode fotosinteznemu aparatu (Rascio in Navari-Izzo, 2010). V procesu razstrupljanja se selenat reducira v selenit in nato v selenid, ki se poveže z O-acetilserinom in tako tvori SeCys. SeCys se lahko po nadaljnji poti pretvori v Se-cistation, Se-homocistein oziroma SeMet (Valdrez-Barillas in sod., 2011).

Med akumulatorje Se spadajo vrste iz družin metuljnic (Fabaceae), nebinovk (Asteraceae), broščevk (Rubiaceae), križnic (Brassicaceae), črnovinovk (Scrophulariaceae) in metlikovk (Chenopodiaceae) (Rascio in Navari-Izzo, 2010). Pri nekaterih vrstah, ki privzemajo večje količine Se, so znanstveniki opazili sezonsko prerazporejanje Se po rastlini: pozimi kopičijo večje koncentracije Se v koreninah, spomladi ga je največ v mladih, razvijajočih se listih, poleti pa v cvetovih oziroma v reproduktivnih organih rastline. Prav tako so rastline sposobne Se prerazporediti iz starih listov v mlade, jeseni pa ga kopičijo v semenih (Galeas in sod., 2007). Prerazporejanje Se po rastlini ima po vsej verjetnosti vlogo pospeševanja rasti, vsekakor pa omenjena zmožnost rastlino ščiti pred herbivori in patogeni, saj spojini dimetil diselenid in dimetil selenid v rastlini oddajata močan neprijeten vonj (Galeas in sod., 2007; Quinn in sod., 2008).

Zakaj so rastline razvile hiperakumulacijo Se, poskušajo znanstveniki razložiti z »elementarno obrambno« hipotezo (Boyd, 2007). Ta hipoteza predvideva, da je visoka koncentracija Se v poganjkih prisotna kot samoobrambna strategija hiperakumulatorjev pred naravnimi sovražniki, kot so herbivori in patogeni (Boyd, 2007).

2.2 MAKROFITI

Makrofiti so vodne rastline, ki rastejo v vodi ali njeni neposredni bližini (Vardanyan in Ingole, 2006). S pojmom makrofiti označujemo vse makroskopske vodne rastline, tako cvetnice kot praproti, mahove in nekatere makroskopske alge (Hutchinson, 1975). Glede na rastno obliko, način pritrditve in položaj v vodnem stolpcu, jih delimo na (Hutchinson, 1975):

- emerzne makrofite ali močvirske rastline (asimilacijske površine in večji del stebela razvijejo nad vodno gladino),
- plavajoče ukoreninjene makrofite,
- plavajoče neukoreninjene makrofite,
- submerzne ali potopljene ukoreninjene makrofite,
- submerzne ali potopljene neukoreninjene makrofite,
- amfifite ali amfibijske rastline.

Amfibijske rastline se na morfološki, anatomski in fiziološki ravni prilagodijo na različne okoljske razmere. Tako lahko uspevajo v vodi in na kopnem: njihova fotosintezna aktivnost poteka v vodi in na zraku, saj razvijejo cel niz različnih listov, od vodnih do kopenskih. Pojav imenujemo heterofilija (Maberly in Spence, 1989). Nekateri predstavniki amfibijskih rastlin so vodna dresen (*Polygonum amphibium*), močvirska spominčica (*Myosotis palustris*), vodna meta (*Mentha aquatica*) in vodni jetičnik (*Veronica anagallis-aquatica*).

2.2.1 Vloga makrofitov v vodnem ekosistemu

Makrofiti so za ohranjanje ravnotežja v vodnih ekosistemih ključni, saj zagotavljajo hrano in nudijo življenjski prostor mnogim ribam in vodnim nevretenčarjem. S svojo prisotnostjo povečujejo biotsko pestrost samega ekosistema, saj nudijo različne ekološke niše: na ali med makrofiti najdemo kar 2/3 favne tamkajšnjega območja, med njihovimi sestoji so drstišča rib in zavetišča žuželk (Fox, 1992). Pomembno vlogo imajo pri kroženju kisika (O₂) in ogljikovega dioksida (CO₂), prav tako pa učinkovito privzemajo kovine (Devlin, 1967; Chung in Jeng, 1974). Prispevajo k utrjevanju dna in bregov vodnih teles, blažijo učinke valovanja v stoječih vodah, zmanjšujejo erozijo in motnost vode ter zadržujejo hranila in strupene snovi. Tako so makrofiti vključeni v proces čiščenja vode, emerzne

rastline in rastline, ki rastejo na rečnem bregu, pa omogočajo gnezdenje mnogim vrstam ptic (Madsen, in sod., 2001).

Makrofiti so biološki filtri, ki imajo pomembno vlogo pri vzdrževanju vodnih ekosistemov. Prav njihova sposobnost privzemanja kovin je v zadnjem času pritegnila pozornost in so tako postali predmet proučevanja kroženja hranil in drugih elementov kot so kovine (Föstner in Whittman, 1979). Po dosedanjih raziskavah mnoge vrste makrofitov veljajo za potencialne »čistilce« kovin iz onesnaženih vodnih površin in njihovih sedimentov, saj rezultati potrjujejo uspešno akumulacijo kovin iz sedimenta v njihov koreninski sistem (Vardanyan in Ingole, 2006).

O tem, kako Se vpliva na makrofite, je zelo malo znanega, saj so se s tovrstnimi raziskavami tako v Sloveniji kot tujini šele začeli ukvarjati (Mechora, 2013). Nina Gerjevič (2012) je v svoji diplomski nalogi ugotovila, da so različni makrofiti sposobni privzeti različne količine Se in da na količino privzetega Se vpliva tudi rastna oblika makrofitov (Gerjevič, 2012). Iz dosedanjih raziskav je znano, da makrofiti učinkovito privzemajo Se iz okolja, njegov vpliv na fiziološke in biokemijske lastnosti rastline ter sam metabolizem Se pa je zelo malo raziskan (Mechora, 2013).

2.2.2 Vodni jetičnik-*Veronica anagallis-aquatica*

Vodni jetičnik (*Veronica anagallis-aquatica*) uvrščamo v družino črnobinovk (Scrophulariaceae), natančneje v rod *Veronica*. Družino predstavljajo enoletnice, dvoletnice in zelnate trajnice. Za rastline, ki pripadajo družini črnobinovk, so značilni nasprotni listi in dvospolni grozdasti cvetovi z nadraslo plodnico. Semena so večinoma nekrlata ali krilata, plod pa je glavica. V rod *Veronica* uvrščamo 33 vrst jetičnikov, ki rastejo v Sloveniji. Predstavniki rodu so razširjeni po celi Sloveniji, prav tako pa naseljujejo različne habitate: od skalovja, grušča, kamnitih travnikov, do močvirskih travnikov in tekočih voda. Vrsto *Veronica anagallis-aquatica* oziroma vodni jetičnik najdemo v mlakah, počasi tekočih vodah, vodnih jarkih in močvirskih travnikih nižinskega pasu. Razširjena je po vsej Sloveniji, a nekoliko redkejša na severozahodu države. Cveti od junija do septembra in zraste do 60 cm. Vodni jetičnik ima značilno votlo steblo, olistano s suličastimi, nasprotno sedečimi listi. Svetlo modri do blede vijoličasti cvetovi s temnejšimi žilami oblikujejo grozdasta socvetja, ki poženejo iz zalistij stebelnih listov (Cvet skrivnosti, 2009; Mala flora Slovenije, 2007).

Dosedanje raziskave so pokazale, da vodni jetičnik sodi v skupino makrofitov, ki privzemajo večje koncentracije Se (Gerjevič, 2012; Mechora, 2013).

2.3 VREDNOTENJE KAKOVOSTI VODA

Onesnaževanje voda je najpogosteje povezano z dotoki odpadnih voda iz kanalizacij, čistilnih naprav, izsuševalnih kanalov in tovarn. Omenjene vire onesnaženja uvrščamo med točkovne vire, kamor so vključeni tudi številni nelegalni izpusti in izpusti, ki so posledica nesreč ali malomarnosti (Wetzel, 1975). Nekoliko težje je nadzorovati razpršene vire onesnaževanja, saj le tega ne moremo natančno določiti. Onesnaževalec namreč v vodno okolje vstopa na več mestih hkrati, kot je na primer ponikanje vode na kmetijskih območjih, kar povzroča vnos hranil in pesticidov v vodotoke in jezera (Wetzel, 1975).

Vrednotenje kakovosti voda predstavlja celoten proces vrednotenja fizikalnih, kemijskih in biotskih značilnosti vode glede na človeške vplive ter predvideno rabo, ne glede na vir onesnaževanja vode. Namen vrednotenja kakovosti voda je definirati njihovo stanje in zagotoviti osnovo za ugotavljanje teženj v spreminjanju kakovosti (Wetzel, 1975).

Merjenje fizikalnih in kemijskih parametrov, kot so pH, temperatura vode, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost vode s kisikom, elektroprevodnost vode itd. je ena najpogostejših metod, vendar so dobljeni rezultati odraz trenutnega stanja vodotoka, saj se ti parametri hitro spreminjajo (Wetzel, 1975).

Sediment in skupne suspendirane snovi imajo pomembno vlogo pri adsorpciji raztopljenih organskih in anorganskih onesnaževalcev, obenem pa so lahko tudi potencialni viri onesnaževanja. Iz sedimenta se v vodno okolje lahko sproščajo onesnaževala in tako vplivajo na samo kakovost vode ter na njene fizikalne in kemijske lastnosti (Onderka in Pekarova, 2008).

Vode, ki vsebujejo večje količine suspendiranih snovi, so neuporabne za kopanje, prav tako je omejena njihova uporaba v živilski industriji. Neraztopljeni anorganski delci negativno vplivajo tudi na organizme v vodi, saj lahko pride do trenja med delci in organizmi, kar privede do poškodb vitalnih delov organizmov. Suspendirane snovi v vodnem okolju povečujejo kalnost vode in tako vplivajo na zmanjšanje primarne produkcije in izrabo hranil. Organski suspendirani delci predstavljajo vir hrane mnogim

vodnim organizmom, kar privede do povečane respiratorne aktivnosti in zniževanja koncentracije raztopljenega kisika. Posledično je kakovost vode slabša (Wetzel, 1975).

Eden izmed pristopov k vrednotenju voda je tudi ekomorfološka ocena vodotoka. S pojmom ekomorfološke značilnosti vodotokov zaobsežemo fizične in biotske lastnosti struge, bregov in zemljišča ob vodotoku. Pri ocenjevanju teh značilnosti jih primerjamo s potencialnim naravnim stanjem konkretnih geografskih značilnosti pokrajine (Wetzel, 1975).

Ena izmed metod vrednotenja vodotokov je RCE popis (*Riparian, Channel and Environment Inventory*). Metoda je bila razvita za oceno fizičnih in bioloških stanj manjših, nižinskih vodotokov na kmetijskih območjih. RCE popis temelji na ovrednotenju 16 značilnosti, ki opisujejo strukturo obrežne vegetacije, morfologijo struge in biološke razmere v obeh habitatih (Petersen, 1992). Širšo okoljsko oceno vodotoka v Sloveniji podajmo na podlagi izpolnjenega vprašalnika, ki temelji na osnovi Petersenovega vprašalnika, Alenka Gaberščik in Mateja Germ pa sta ga s sodelavci prilagodili za razmere v Sloveniji (Germ in sod., 2000).

3 MATERIALI IN METODE

V letu 2013 smo v mesecu juliju in septembru preiskovali vodotoke Pšata, Ložnica, Temenica, Krka, Radeščica, Črmošnjica, Cerknjščica, Lipsenjščica in Žerovniščica. V omenjenih vodotokih smo vzorčili vrsto *Veronica anagallis-aquatica* ter sočasno vodo in sediment iz vodotoka. Nato smo nadaljnje raziskave o vsebnosti selena v vzorcih vrste *Veronica anagallis-aquatica*, vode in sedimenta opravili na Inštitutu Jožefa Stefana, Odseku za znanosti o okolju. S pomočjo RCE vprašalnika smo podali tudi širšo okoljsko oceno vodotoka. Vsi podatki o vzorcih, vzorčnih mestih ter metodah dela so opisani v tem poglavju oziroma so prikazani v ustreznih preglednicah.

Vzorčna mesta smo izbrali na podlagi podatkov o uspevanju vrste *Veronica anagallis-aquatica* v zadnjih petih letih.

3.1 OPIS VODOTOKOV IN VZORČNIH MEST

PŠATA

Pšata je 28,4 km dolg vodotok. Pripada porečju Save in je desni pritok reke Kamniška Bistrica, v katero se izliva severovzhodno od Domžal, natančneje v Preserju pri Radomljah. Pšata izvira na južnem robu Kamniško-Savinjskih Alp, pri istoimenskem naselju Pšata. Njeno porečje zajema 139 km², s številnimi levimi in desnimi pritoki. Struga je na določenih območjih zaradi pogostega poplavljanja umetno regulirana, južno od naselja Suhadole pa je Pšata celo preusmerjena v severni razbremenilni kanal Pšata (Wikipedia, Pšata).

LOŽNICA

Ložnica je 26 km dolga reka, njeno porečje pa zajema 141 km². Izvira v Kamniško-Savinjskih Alpah, natančneje v Logarski dolini. Ložnica je levi pritok reke Savinje, v katero se izliva v Celju. Območje reke Ložnice s poplavnim območjem je od leta 1998 zavarovano z odlokom občine Žalec kot naravni spomenik (Wikipedia, Ložnica).

TEMENICA

Temenica je dolenjska reka ponikalnica, ki do izliva kar dvakrat ponikne. Reka izvira na južnih pobočjih Posavskega hribovja. Prvič ponikne pri Dolenjih Ponikvah v

več požiralnikih. Na dan pride v Mirnopoški dolini pod hribom Svete Ane v izviru Zijalo. Po Mirnopoški dolini teče reka do ponorov pri Goriški vasi, kjer drugič izgine pod površje. Tretji, zadnji izvir Temenice je v Luknji pri Prečni. Teče čez Zaloško polje in se kot levi pritok izlije v reko Krko (Wikipedia, Temenica).

Površinski tok reke Temenice je dolg skoraj 28 km, njeno porečje pa je precej nesimetrično. Večji pritoki, ki večinoma prihajajo iz leve strani, so značilni za zgornji del porečja, zaradi številnih podzemeljskih pritokov pa samo porečje Temenice meri okoli 300 km². Reka pogosto poplavlja, zato je mokrotno dno v večini travnato. Po celotnem območju doline reke Temenice prevladujejo apnenci in dolomiti (Wikipedia, Temenica).

Vzdolž reke je čistilna naprava odpadnih vod. Le ta deluje od leta 1982 in je bila v letu 2004 prenovljena in razširjena (Wikipedia, Temenica).

KRKA

Krka je 94 km dolga reka in je najdaljši desni pritok reke Save v Sloveniji, v katero se izliva v Brežicah. Izvira v Suhi krajini, natančneje pod Krško jamo, pri vasi Gradiček. Posebnost reke Krke je odlaganje lehnjaka. Le ta se odlaga na mahovih in na drugem vodnem rastlinju (Wikipedia, Krka).

Pod naseljem Dvor se značaj doline reke Krke povsem spremeni: široka dolina preide v ozko, 5 km dolgo Sotesko. Krka se tu usmeri proti severovzhodu, z desne pa se ji pridružita Radeščica in Sušica (Wikipedia, Krka).

Reka Krka je v zgornjem in srednjem toku prava kraška reka, saj skoraj vso vodo pridobiva iz kraških izvirov, v spodnjem delu struge pa se ob reki razlega široka poplavna ravnica, po kateri se Krka razliva ob vsakem nekoliko višjem vodostaju. Težave s poplavami imajo tudi v Krški vasi, saj tam Krka poplavlja, kadar ji narasla Sava prepreči izlivanje (Wikipedia, Krka).

Reka Krka je kar precej obremenjena reka, saj so jo že od nekdaj izkoriščali za pridobivanje vodne energije, danes pa je neposredno z njo povezan turizem: turistične kmetije ob reki, grad Otočec in velika ribogojnica na Dvoru (Wikipedia, Krka).

RADEŠČICA izvira v Podturnu, kjer se vanj izliva ČRMOŠNJICA.

CERKNIŠČICA

Cerkniščica je edini daljši površinski pritok Cerkniškega jezera. Vanj se steka s severne strani, saj teče skozi naselji Begunje pri Cerknici in Cerknica. Vodotok začenjajo trije povirni kraki: Globošca, Hruškarica in Gradiščica, sicer pa zbira vode Bloške, Otavske in Vidovske planote (Wikipedia, Cerkniščica).

LIPSENJŠČICA

Lipsenjščica se na Cerkniškem polju izliva v Stržen (Wikipedia, Lipsenjščica), v Lipsenjščico pa se podzemno steka Bloščica z Bloške planote. Vodotok Stržen je skupaj z drugimi pritoki južni pritok Cerkniškega jezera (Hravtin, 2010).

ŽEROVNIŠČICA

Tudi Žerovniščica je pritok potoka Stržen, ki teče po Cerkniškem polju in polni Cerkniško jezero. Izvira v Žerovnici, pridružita pa se ji dva večja pritoka: Gragovščica in Martinjščica (Wikipedia, Žerovniščica).

Preglednica 3: Pregled vodotokov in opis vzorčnih mest

Vodotok	Naselje	Vzorčno mesto (koordinate)	Zaledje in opis vzorčnega mesta
PŠATA	Bišče	E 05470446 N 05106129	Nesklenjene urbane in kmetijske površine, travniki in njive. Vzorčno mesto se nahaja približno 6 km od izvira, v bližini se nahaja kmetija.
LOŽNICA	Spodnja Ložnica	E 05550460 N 05132743	Kmetijske površine in travniki. Vzorčno mesto se nahaja približno 10 km od avtoceste, v neposredni bližini večja kmetija.
TEMENICA	Grm	E 05503948 N 05083495	Kmetijske površine in nenamakalne njivske površine. Vzorčno mesto se nahaja približno 2,5 km od izvira; v bližini kmetija.
	Dolenji Podboršt	E 05506779 N 0507842	Kmetijske površine, travniki, mešani gozd in naselje. Vzorčno mesto se nahaja približno 4,5 km od izvira, ob cesti pod mostom. V bližini je naselje s kmetijami.
	Prečna	E 05509768 N 05074308	Kmetijske površine in travniki. Vzorčno mesto se nahaja približno 2 km od izvira, ob glavni cesti. V bližini je letališče in ribogojnica.
KRKA	Soteska	E 05501896 N 05070497	Kmetijske površine in mešani gozd. Na levem bregu vzorčnega mesta je kmetija in travnik, na desnem bregu industrijski obrat, žaga.
	Krška vas	E 05544826 N 05083263	Večje naselje na levem bregu, na desnem kmetijske in njivske površine.
RADEŠČICA	Podhosta	E 05503025 N 05068601	Kmetijske površine, vzorčno mesto v naselju, približno 3 km od izvira. V bližini kmetija, njive in travniki.
ČRMOŠNJICA	Grič	E 05504000 N 05065895	Vzorčno mesto obdajajo kmetijske površine, v bližini naselje, približno 1,2 km od izvira. Na levem bregu je naselje.
CERKNIŠČICA	Dolenja vas	E 05449310 N 05071495	Nesklenjene urbane površine, njive, travniki, tudi mešani gozd v neposredni bližini. Vzorčno mesto približno 15 km od izvira. Struga regulirana.
LIPSENJŠČICA	Lipsenj 1	E 05455693 N 05067758	Naselje, kmetijske površine, travniki in mešani gozd. Levi breg travniki, njive in stanovanjska hiša; desni breg kmetijske površine.
	Lipsenj 2	E 05456787 N 05067199	Odmaknjeno od naselja; vzorčno mesto je blizu izvira in je obdano s travniki ter mešanim gozdom.
ŽEROVNIŠČICA	Žerovnica 1	E 05455717 N 05068605	Naselje, travniki in kmetijske površine. Na levem bregu gasilski dom, na desnem kmetija. Vzorčno mesto se nahaja približno 30 m gorvodno od mostu.
	Žerovnica 2	E 05455663 N 05068533	Vzorčno mesto približno 60 m dolvodno od mostu. Na desnem bregu kmetija.
	Žerovnica 3	E 05455638 N 05068530	Vzorčno mesto se nahaja približno 100 m dolvodno od mostu. Na desnem bregu pašnik s konji, na levem cevi z odpadnimi vodami.
	Žerovnica 4	E 05455465 N 05068563	Približno 400 m dolvodno od mostu. V bližini so travniki in njive, bregove obraščajo grmovja in drevja.

Preglednica 4: Opis rastline *Veronica anagallis-aquatica* na posameznih vzorčnih mestih

Vodotok	Naselje	Opis nabranih vzorcev	Julij, 2013	September, 2013
PŠATA	Bišče	velikost rastline:	10-30 cm	10-40 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	vse rastline v celoti v vodi	rastline do polovice v vodi
		osenčenost rastlin:	rastišče vseh nabranih rastlin na polsenčni strani struge	polsenčna stran struge
		cvetenje rastlin:	necvetoče mlade rastline	nekaj cvetočih rastlin, nekaj jih je odcvetelo
TEMENICA	Prečna	velikost rastline:	40-50 cm	10- 20 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	v vodi le koreninski sistem in manjši del stebila (1/10 rastline)	cela rastlina v vodi
		osenčenost rastlin:	rastline na soncu	na soncu
		cvetenje rastlin:	necvetoče rastline	necvetoče rastline
KRKA	Soteska	velikost rastline:	30-40 cm	20 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	večina rastlin do $\frac{3}{4}$ v vodi	cela rastlina v vodi
		osenčenost rastlin:	rastline na soncu	polsenčna stran struge
		cvetenje rastlin:	necvetoče mlade rastline	necvetoče rastline
	Krška vas	velikost rastline:	ni vodnega jetičnika	20 cm
		potopljenost rastlin v vodi:		v vodi le koreninski sistem
		osenčenost rastlin:		rastline na soncu
		cvetenje rastlin:		necvetoče rastline
RADEŠČICA	Podhosta	velikost rastline:	20-40 cm	30-60 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	vse rastline v celoti v vodi	cela rastlina v vodi
		osenčenost rastlin:	rastline na soncu	polsenčna stran struge
		cvetenje rastlin:	necvetoče mlade rastline	necvetoče rastline
ČRMOŠNJICA	Grič	velikost rastline:	40 cm	potok presahnil; ni vodnega jetičnika
		potopljenost rastlin v vodi:	v vodi le koreninski sistem	
		osenčenost rastlin:	vse rastline v senci	
		cvetenje rastlin:	necvetoče mlade rastline	
CERKNIŠČICA	Dolenja vas	velikost rastline:	50-60 cm	25-30 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	v vodi koreninski sistem in približno 5 cm stebila	polovica rastline v vodi
		osenčenost rastlin:	vse rastline na soncu	polsenčna stran struge
		cvetenje rastlin:	polovica nabranih rastlin cveti, polovica je necvetočih	nekaj jih cveti, nekaj ne

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice 4: Opis rastline *Veronica anagallis-aquatica* na posameznih vzorčnih mestih

LIPSENJŠČICA	Lipsenj 1	velikost rastline:	40-60 cm	50-60 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	vse rastline do polovice v vodi	polovica rastline v vodi
		osenčenost rastlin:	rastline v senci	polsenčna stran struge
		cvetenje rastlin:	necvetoče rastline	vse rastline cvetijo
ŽEROVNIŠČICA	Žerovnica 1	velikost rastline:	50-60 cm	20-30 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	v vodi koreninski sistem in približno 20 cm stebila	cele rastline v vodi
		osenčenost rastlin:	polsenčna stran struge	rastline v senci
		cvetenje rastlin:	vse rastline cvetijo	necvetoče rastline
	Žerovnica 2	velikost rastline:	50-60 cm	10-20 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	v vodi koreninski sistem in približno 20 cm stebila	cele rastline v vodi
		osenčenost rastlin:	vse rastline na soncu	vse rastline na soncu
		cvetenje rastlin:	vse rastline cvetijo	necvetoče rastline
	Žerovnica 3	velikost rastline:	50-60 cm	10-20 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	v vodi koreninski sistem in približno 20 cm stebila	cela rastlina v vodi
		osenčenost rastlin:	polsenčna stran struge	rastline v senci
		cvetenje rastlin:	cvetoče rastline, nekatere že odcvetele	ne cvetijo
	Žerovnica 4	velikost rastline:	50-60 cm	30-40 cm
		potopljenost rastlin v vodi:	v vodi koreninski sistem in približno 20 cm stebila	cela rastlina v vodi
		osenčenost rastlin:	vse rastline rastejo v senci; struga zasenčena s krošnjami dreves	rastline v senci
		cvetenje rastlin:	vse rastline cvetijo	necvetoče rastline

3.2 VZORČENJE NA TERENU

3.2.1 Vzorčenje vode

Na vsakem vzorčnem mestu smo poleg rastlin vzorčili tudi vodo iz vodotoka. Vodo smo zajeli v posebne plastične enolitrske posode. Pred vzorčenjem smo posodo dobro sprali kar v vodotoku, potem pa smo poskušali zajeti vodo čim bolj natančno in previdno: posodo smo obrnili proti toku in jo celo potopili v vodo. Med polnjenjem posode smo pazili, da je nismo izpostavili zraku, zato smo jo vzeli iz vode šele, ko je bila do vrha napolnjena z

vodo in jo takoj zaprli. Posodo smo označili in jo shranili v hladilno torbo, v kateri je bil vzorec shranjen do prihoda na Institut Jožefa Stefana (v nadaljevanju IJS), Odsek za znanosti o okolju. Tam smo vse vodne vzorce takoj nadaljnje obdelali.

3.2.2 Vzorčenje sedimenta

Pri vzorčenju rečnega sedimenta smo si pomagali z lopato. Z njo smo zajeli čim bolj droben sediment in ga spravili v plastično vrečko. Nato smo vzorec v plastični vrečki označili, spravili v hladilno torbo in ga prepeljali na IJS, Odsek za znanosti o okolju, kjer smo ga takoj nadaljnje obdelali. Na terenu smo vzorčili približno 2 kg sedimenta.

3.2.3 Merjenje fizikalnih in kemijskih parametrov ter širša okoljska ocena vodotokov

Na terenu smo merili fizikalne in kemijske parametre vodotoka z multimetrom EUTECH PCD 650. Vseboval je *termometer*, s katerim smo določili temperaturo vode; *oksimeter* za merjenje koncentracije kisika v vodi in nasičenost vode s kisikom; *pH-meter* za merjenje pH vode in *konduktometer*, s katerim smo merili upornost in elektroprevodnost vode.

Prav tako smo opravili širšo okoljsko oceno vodotoka s pomočjo RCE vprašalnika. Pri vrednotenju smo opazovali mesto vzorčenja in upoštevali odsek v dolžini približno 50 m po toku navzgor in 50 m po toku navzdol od samega vzorčnega mesta. Vrednotenje vodotoka je bilo zasnovano na izpolnjevanju RCE obrazca, s katerim smo opisali in ocenili skupaj 12 morfoloških značilnosti struge oziroma habitata, njenega zaledja in obrežne vegetacije. Vsako značilnost smo ovrednotili z ustreznim številom točk. Nato smo podane točke sešteli in vodotok uvrstili v ustrezni kakovostni razred, ki nam poda stopnjo ohranjenosti izbranega vodotoka.

3.2.4 Vzorčenje rastlin

Na vzorčnem mestu smo nabrali cele, ukoreninjene rastline vrste *Veronica anagallis-aquatica* (slika 1). V globljih delih vodotokov smo si pomagali z makrofitolovcem, daljšo teleskopsko palico s kavljji. Vse nabrane rastline smo poskušali čim boljše očistiti kar v samem vodotoku, nato pa smo jih shranili v označene plastične vrečke, v katere smo nalili tudi nekaj vode iz vodotoka. Označene vrečke z vzorci smo shranili v hladilno torbo, kjer smo jih hranili vse do konca vzorčenja. Po končanem vzorčenju smo nabrane rastline

prepeljali na IJS, Odsek za znanosti o okolju, kjer smo jih shranili v hladilnik (za največ 12 ur) do nadaljnje obdelave, ki je sledila naslednji dan.



Slika 1: *Veronica anagallis-aquatica* v reki Krki pri Soteski

3.3 PRIPRAVA VZORCEV

3.3.1 Priprava vzorcev vode

Vodo smo takoj po vzorčenju prefiltrirali skozi Büchnerjev lij. Pri filtraciji julijskih vzorcev smo uporabili celulozno-acetatne filtre (Sartorius Stedim Biotech GmbH), s premerom por $0,45\mu\text{m}$, pri filtraciji septembrskih vzorcev pa smo uporabili nitratno-celulozne filtre (Macherey-Nagel, Porafil NC), prav tako s premerom por $0,45\mu\text{m}$. Prefiltrirali smo 1 liter vzorčne vode in med samim filtriranjem po potrebi menjali filtre. Filtre smo po filtraciji previdno shranili v označene petrijevke in jih čez noč zračno posušili.

Od 1 litra prefiltrirane vzorčne vode smo odmerili 250 mL, jo shranili v posebne plastične posode ter jo nakisali: dodali smo ji 0,4 mL 65 % HNO_3 raztopine, da se kovine ne bi sprijele s steno posode. Tako pripravljene vzorce smo shranili v hladilnik. Kasneje, ko smo

zbrali vse vzorce, obdelane po opisanem postopku, smo določili celotno vsebnost selena z masno spektrometrijo z induktivno sklopljeno plazmo (ICP-MS), s parametri, napisanimi v prilogi A. Vsak vzorec smo določili v duplikatu. Meja detekcije pri uporabljeni metodi je bila 0,008 µg/L.

Med filtriranjem posameznih vzorcev vod smo vse pripomočke, ki smo jih uporabili za filtracijo, dobro očistili s HNO₃ raztopino za čiščenje in nato nadaljevali z delom.

3.3.2 Sušenje filtrov in določanje suhe mase suspendiranih snovi

Filtre, ki smo jih hranili v petrijevkah in so že bili zračno suhi, smo sušili eno uro v sušilniku na 105 °C. Vsak filter se je sušil v svojem steklenem tehtiču. Tehtiče smo pred uporabo očistili in jih dobro osušili v sušilniku: 1 uro na 105 °C. Nato smo tehtiče prestavili v eksikator, da so se ohladili. Pred tem smo silikagel, ki nase veže vlago, prav tako osušili v sušilniku: 1 uro na 160 °C. Tako pripravljene tehtiče smo stekali prazne, nato smo vanje položili zračno suhe filtre, jih ponovno stekali in odprte položili v sušilnik. Po enournem sušenju na 105 °C, smo tehtiče s filtri hitro zaprli in jih prestavili v eksikator ter počakali približno eno uro, da so se ohladili. Ohlajene zaprte tehtiče z osušeni filtri smo ponovno stekali.

Za kontrolo oziroma za določitev mase čistega filtra, smo skozi prefiltrirali 1 L deionizirane Milli Q (Millipore) vode po enakem postopku kot vzorce vode. Po vsakem filtriranju smo shranili 250 mL prefiltrirane Milli Q vode, ki je kasneje služila kot slep vzorec pri določitvi elementov v vzorčni vodi. Prav tako smo filtre sušili po enakem, zgoraj opisanem postopku. Tako smo lahko izračunali suho maso suspendiranih snovi (SPM):

$$\text{SPM [g/L]} = (m_{\text{filtra po sušenju+ostankov}} - m_{\text{Milli Q filtra}}) \text{ g} \quad \dots (1)$$

3.3.3 Priprava sedimenta

Vzorce sedimenta smo takoj po vzorčenju pripravili za nadaljnjo obdelavo. Vzorce smo iz plastičnih vrečk pretresli na plastične pladnje, dno pladnjev pa smo najprej obložili s pivniki, nato pa še s preluknjanim polivinilom (slika 2). Tako so se sedimenti hitreje sušili, saj je voda odtekala skozi preluknjan polivinil. Vzorce smo pred začetkom sušenja dobro premešali in odstranili vse večje delce: kamenje, živali in primesi, kot so na primer koščki

stekla. Nato smo v prostoru pri 28 °C sušili vzorce sedimenta nekaj dni, odvisno od količine vode v vzorcu. Med sušenjem smo sedimente vsak dan dobro premešali in po potrebi zamenjali pivnik na dnu plastičnega pladnja.

Ko so se vzorci sedimenta posušili, smo jih shranili v označene plastične vrečke.



Slika 2: Sušenje sedimenta v laboratoriju

3.3.4 Sejanje in mletje sedimenta

Suh vzorec sedimenta smo najprej stehali, nato pa ga presejali skozi sito, s premerom por 1 mm. Ko smo presejali ves vzorec, smo stehali maso delcev, manjših od 1 mm in maso delcev, večjih od 1 mm ter izračunali njune deleže. Delce, ki so ostali na površini sita, smo shranili v plastično vrečko, presejani del sedimenta, ki je vseboval delce, manjše od 1 mm, pa smo dobro premešali in del vzorca (4 velike žlice, približno 30 g) zmleli v ahatnem planetarnem mikro mlinu (FRITSCH, Pulverisette 7). Vzorec smo mleli 5 minut s hitrostjo 6000-7000 obratov/min. zmlete vzorce smo shranili v primerno označene prahovke, nezmleni del vzorca pa shranili v plastično vrečko.

3.3.5 Priprava rastlinskih vzorcev vrste *Veronica anagallis-aquatica*

Dan po vzorčenju smo nabranim rastlinam namenili posebno pozornost. Vse rastline iz istega vzorčnega mesta smo hitro sprali s tekočo vodo in tako odstranili vse drobne in grobe delce. Pri odstranjevanju delcev in drobnih živalic z rastline smo si pomagali s plastično pinceto. Nato smo odstranili in zavrgli vse poškodovane in propadle dele rastline ter nadzemne dele ločili od koreninskega sistema. Očiščene nadzemne dele rastline smo sprali še z deionizirano vodo Milli Q in s papirnatimi brisačami iz njih popivnali vso odvečno vodo (slika 3). Pri večjih rastlinah smo nato ločili še listje od stebela in vsak del rastline posebej shranili v plastično vrečko, pri manjših primerkih pa smo vse nadzemne dele shranili skupaj. Prav tako smo po enakem postopku očistili in posebej shranili tudi koreninski sistem. Vse očiščene vzorce smo shranili v zamrzovalno skrinjo pri $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 3: Priprava vzorcev *Veronica anagallis-aquatica* v laboratoriju

Ko smo zbrali vse vzorce, smo jih posušili v liofilizatorju. Predhodno smo dobro očistili vse sestavne dele liofilizatorja in jih sprali z destilirano vodo. Liofilizacija ali sušenje z zamrzovanjem je postopek odstranjevanja vode iz zelenega materiala, pri katerem zamrznjena voda neposredno sublimira iz trdega v plinasto agregatno stanje. Vzorci so se po tem postopku sušili 24 ur oziroma do suhega.

Posušene rastline smo nato zmleli v ahatnem planetarnem mikro mlinu (FRITSCH, Pulverisette 7). Posamezne dele rastlin smo mleli 6 minut s hitrostjo 6000-7000 obratov/min. Zmlete vzorce smo shranili v ustrezno označene prahovke.

3.4 RAZKROJ VZORCEV IN MERJENJE VSEBNOSTI SELENA

3.4.1 Razkroj vzorcev sedimenta

Razkroj vzorcev sedimenta smo opravili v laboratorijski mikrovalovni pečici (Ethos One, Milestone, ZDA). Potekal je v 2 delih:

1. del razkroja

V dobro očiščene teflonske posodice smo zatehtali 0,24-0,30 g zmletega vzorca in dodali:

- 4 mL 65 % HNO_3 (suprapur, Merck, Nemčija)
- 2 mL 40 % HF (suprapur, Merck, Nemčija)
- 1 mL 36 % HCl (suprapur, Merck, Nemčija)

Teflonske posodice smo dobro zaprli, jih vstavili v ščite, te pa v mikrovalovko. Program, pod katerim se je izvajal razkroj vzorcev sedimenta, je bil sledeč:

- 30 min segrevanja vzorcev do 210 °C
- 60 min segrevanja vzorcev na 210 °C
- 30 min ohlajanja vzorcev z ventilacijo

Po končanem prvem delu razkroja smo ščite s posodicami previdno prestavili v digestorij, da so se ohladili. Nato smo teflonske posodice odprli in v vzorce dodali 15 mL 4 % raztopine borove kisline H_3BO_3 (99,9 %, suprapur, Nemčija). Teflonke smo po istem postopku kot v prvem delu razkroja postavili nazaj v mikrovalovko in pričeli z drugim delom razkroja.

2. del razkroja

Program:

- 15 min segrevanja vzorcev do 220 °C
- 30 min segrevanja vzorcev na 220 °C
- 30 min ohlajanja vzorcev z ventilacijo

Po končanem programu 2. dela razkroja smo teflonske posodice ponovno ohlajali v digestoriju. Ko so se teflonke ohladile, smo razkrojene vzorce previdno prelili v plastične vijale in jih razredčili z deionizirano Milli Q vodo na 40 mL. Tako pripravljene vzorce smo primerno označili in jih shranili v hladilnik.

3.4.2 Merjenje vsebnosti selena v vzorcih sedimenta

Po razkroju vzorcev smo določili celotno vsebnost selena v vzorcu z ICP-MS metodo, s parametri, napisanimi v prilogi A. Vsak vzorec smo določili v dveh paralelkah. Meja detekcije pri uporabljeni metodi je bila 0,27 µg/g. Vzorce smo pred merjenjem redčili 1:100 (0,1 mL na 10 mL) z Milli Q vodo.

3.4.3 Razkroj vzorcev *Veronica anagallis-aquatica*

Razkroj rastlinskih vzorcev smo opravili v laboratorijski mikrovalovni pečici (Ethos One, Milestone, ZDA).

V dobro očiščene teflonske posodice smo zatehtali 0,29-0,33 g zmlatega vzorca in dodali:

- 6 mL 65 % HNO₃ (suprapur, Merck, Nemčija)
- 2 mL 32 % H₂O₂ (suprapur, Merck, Nemčija)
- 0,1 mL 40 % HF (suprapur, Merck, Nemčija)

Teflonske posodice smo dobro zaprli, jih vstavili v ščite, te pa v mikrovalovko. Program, pod katerim se je izvajal razkroj vzorcev vodnega jetičnika, je bil sledeč:

- 20 min segrevanja vzorcev do 200 °C
- 20 min segrevanja vzorcev na 200 °C
- 20 min ohlajanja vzorcev z ventilacijo

Nato smo ščite s teflonskimi posodicami vzeli iz laboratorijske mikrovalovne pečice in jih pod digestorijem ohlajali na sobno temperaturo še približno 30 min. Ko so se teflonke ohladile, smo vzorec previdno in čim bolj natančno prelili v teflonsko vijalo in ga z deionizirano vodo Milli Q razredčili na 30 mL. Razkrojene vzorce smo primerno označili in jih shranili v hladilnik.

3.4.4 Merjenje vsebnosti selena v vzorcih vrste *Veronica anagallis-aquatica*

Po razkroju vzorcev smo določili celotno vsebnost selena v vzorcu z ICP-MS metodo, s parametri, napisanimi v prilogi A. Vsak vzorec je bil določen v duplikatu. Meja detekcije pri uporabljeni metodi je bila 0,004 µg/g.

3.4.5 Pravilnost in ponovljivost uporabljenih metod

Pravilnost in zanesljivost metode ICP-MS, s katero smo merili vsebnost Se tako v rastlini *Veronica anagallis-aquatica* kot tudi v vodi in sedimentu, smo preverjali z ugotavljanjem koncentracije Se v certificiranih referenčnih materialih: v Trace elements in spinach leaves NIST 1570a, v Trace elements in water NIST 1643e, ter v Trace elements in river sediments BCR- 320R.

Referenčne materiale smo vključili v vsako serijo vzorcev. Tako razkroj kot meritev Se v referenčnih materialih sta potekala po enakih pogojih kot posamezna skupina vzorcev.

V prilogi A so zbrani vsi podatki o pogojih merjenja na ICP-MS instrumentu, meje detekcije za posamezne vzorce ter ujemanje certificiranih vrednosti z dobljenimi. Ujemanja med certificiranimi in dobljenimi vrednostmi za selen so zelo dobra.

3.5 OBDELAVA PODATKOV

Vse podatke smo obdelali v *Microsoft Excel programu*. Prav tako smo uporabili *R program*, v katerem smo narisali graf v obliki »Box-plota«.

4 REZULTATI

V letu 2013 smo meseca julija in septembra opravili raziskave o vsebnosti Se pri vrsti *Veronica anagallis-aquatica* iz izbranih vodotokov. Prav tako smo koncentracije Se določili v vodi in sedimentu. Poleg vzorčenja rastlin, vode in sedimenta, smo določili tudi fizikalne in kemijske parametre v vodi ter podali širšo okoljsko oceno vodotoka s pomočjo RCE vprašalnika. V vzorcih vode smo ugotavljali tudi suho maso suspendiranih snovi. Rezultati so prikazani grafično ali v preglednicah.

V mesecu juliju smo vzorčili vodo in vrsto *Veronica anagallis-aquatica*, merili fizikalne in kemijske parametre v vodi na mestih vzorčenja ter podali širšo okoljsko oceno vodotoka. Vzorčenje je potekalo v naslednjih dneh: 5.7.2013 na vodotoku Pšata, 8.7.2013 v Soteski na vodotoku Krka, Radeščica in Črmošnjica ter v Prečni na vodotoku Temenica. 10.7.2013 smo pregledali vzorčna mesta na Krki v Krški vasi, Temenici v Dolenjem Podborštu in v vasi Grm, vendar vrste *Veronica anagallis-aquatica* nismo našli. 15.7.2013 smo pregledali še vzorčno mesto na vodotoku Ložnica, kjer prav tako ni bilo iskane rastline, ter vzorčili mesta na vodotoku Cerknjščica, Lipsenjščica in Žerovniščica.

V mesecu septembru smo vzorčili vodo, sediment in vrsto *Veronica anagallis-aquatica* ter merili fizikalne in kemijske parametre v vodi na mestih vzorčenja v naslednjih dneh: 4.9.2013 na Pšati, 5.9.2013 na Cerknjščici, Žerovniščici, Lipsenjščici in Ložnici. Na slednjem vodotoku vrste *Veronica anagallis-aquatica* ni bilo; 8.9.2013 smo vzorčili na Krki v Krški vasi in Soteski, vodotoku Radeščica ter pregledali vzorčna mesta na vodotoku Temenica, kjer smo iskano vrsto našli le v Prečni, prav tako pa vrste *Veronica anagallis-aquatica* ni bilo na vzorčnem mestu vodotoka Črmošnjica, ki je presahnil.

Preglednica 5: Potek vzorčenja v letu 2013

Datum vzorčenja	Vodotok	Naselje	Prisotnost vrste <i>Veronica anagallis-aquatica</i>
5.7.2013	Pšata	vas Bišče	da
8.7.2013	Krka	vas Soteska	da
	Radeščica	vas Podhosta	da
	Črmošnjica	vas Grič (Podturn pri Dolenjskih toplicah)	da
	Temenica	vas Prečna	da
10.7.2013	Krka	Krška vas	ne
	Temenica	Dolenji Podboršt (Mirna Peč)	ne
	Temenica	vas Grm (Trebnje)	ne
15.7.2013	Ložnica	Spodnja Ložnica	ne
	Cerkniščica	Dolenja vas	da
	Lipsenjščica	vas Lipsenj	da
	Žerovniščica	vas Žerovnica	da
4.9.2013	Pšata	vas Bišče	da
5.9.2013	Cerkniščica	Dolenja vas	da
	Žerovniščica	vas Žerovnica	da
	Lipsenjščica	vas Lipsenj	da
	Ložnica	Spodnja Ložnica	ne
8.9.2013	Krka	Krška vas	da
	Krka	vas Soteska	da
	Radeščica	vas Podhosta	da
	Črmošnjica	vas Grič (Podturn pri Dolenjskih toplicah)	ne
	Temenica	vas Grm (Trebnje)	ne
	Temenica	vas Prečna	da
	Temenica	Dolenji Podboršt (Mirna Peč)	ne

4.1 FIZIKALNI IN KEMIJSKI PARAMETRI

Na vsakem vzorčnem mestu smo določili temperaturo vode, ki je bila od 12,1 do 22,3 °C v mesecu juliju in od 12,4 do 22,0 °C v mesecu septembru (preglednica 6). V mesecu juliju je pH nihalo med 6,3 in 7,8; nasičenost vode s kisikom je v večini preseгла 100%, le vodotok Črmošnjica v vasi Grič je dosegel le 20,3% vrednost. Koncentracija kisika je nihala od 1,8 (vodotok Črmošnjica) do 13,8 mg/L (Žerovniščica 3 v Žerovnici), elektroprevodnost je dosegla maksimalno vrednost 561,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Temenica v Dolenjem Podborštu), upornost pa maksimalno vrednost 4,102 k Ω (vodotok Ložnica v Spodnji Ložnici)

V mesecu septembru je pH dosegel maksimalno vrednost 8,2 (vodotok Krka v Krški vasi); nasičenost vode s kisikom je nihala med 71,7% (vodotok Cerkniščica v Dolenji vasi) in

161,6% (vodotok Radeščica v Podhosti); koncentracija kisika je bila najvišja v vodotoku Krka v Soteski in je znašala 13,7 mg/L. Vrednosti elektroprevodnosti niso bistveno odstopale od julijskih meritev. Maksimalno vrednost je zopet dosegel vodotok Temenica v Dolenjem Podborštu, 572,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Ložnica v Spodnji Ložnici pa maksimalno upornost, 2,789 k Ω (preglednica 6).

Preglednica 6: Izmerjeni fizikalni in kemijski parametri vode ob julijskem in septembrskem vzorčenju

Vzorčno mesto	T vode [°C]		pH		Nasičenost vode z O ₂ [%]		Konc. O ₂ [mg/L]		Elektro-prevodnost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]		Upornost [k Ω]	
	julij	sept.	julij	sept.	julij	sept.	julij	sept.	julij	sept.	julij	sept.
Pšata	19	17,8	7,6	6,8	93,7	102,3	8,7	9,9	474,9	417,7	1,552	1,908
Ložnica	17,6	18,7	6,3	6,3	80	76,3	7,6	7,1	193,3	269,2	4,102	2,789
Temenica-Grm	21	20	7,2	7,4	105,2	123,5	9,5	11,0	556,9	562,4	1,275	1,345
Temenica-Dol. Podboršt	17,8	17,5	7,1	7,4	72	74,5	6,8	7,0	561,6	572,6	1,44	1,42
Temenica-Prečna	14,7	13,6	7,1	7,4	108,2	106,6	11,0	11,1	485,1	468,5	1,921	2,086
Krka-Soteska	15,7	17,4	7,3	7,6	100,1	142,2	9,8	13,7	429,7	421,9	2,044	1,933
Krka-K. vas	22,3	22	7,8	8,2	109,6	122,9	9,5	10,9	411	399,3	1,533	1,617
Radeščica	12,1	14,7	7,0	7,3	102,8	161,6	11,2	16,4	396	370,8	2,684	2,478
Črmošnjica	20,3	/	6,6	/	20,3	/	1,8	/	153,1	/	4,587	/
Cerkniščica	18,6	18,7	6,8	6,8	64,6	71,7	6,0	6,7	472,7	451,9	1,61	1,659
Lipsenj 1	15,7	19,3	6,9	6,6	98,6	96	9,8	8,9	472,1	481,8	2,015	1,86
Lipsenj 2	/	16,7	/	7,2	/	110,9	/	10,7	/	399,7	/	2,08
Žerovniščica 1	13,6	12,4	7,3	7,0	127,7	108,6	13,5	11,6	510,4	500,3	1,925	2,173
Žerovniščica 2	15,3	14,1	7,4	7,4	134,3	123,9	13,5	12,4	502	489,6	1,889	1,997
Žerovniščica 3	15,5	13,6	7,7	7,7	136,6	119,5	13,8	12,4	504	477,4	1,844	2,061
Žerovniščica 4	16,5	14,5	7,5	7,9	137,4	118,1	13,1	12,1	502,1	499,3	1,819	1,884

4.2 VSEBNOST SELENA V VODI IN SUHA MASA SUSPENDIRANIH SNOVI

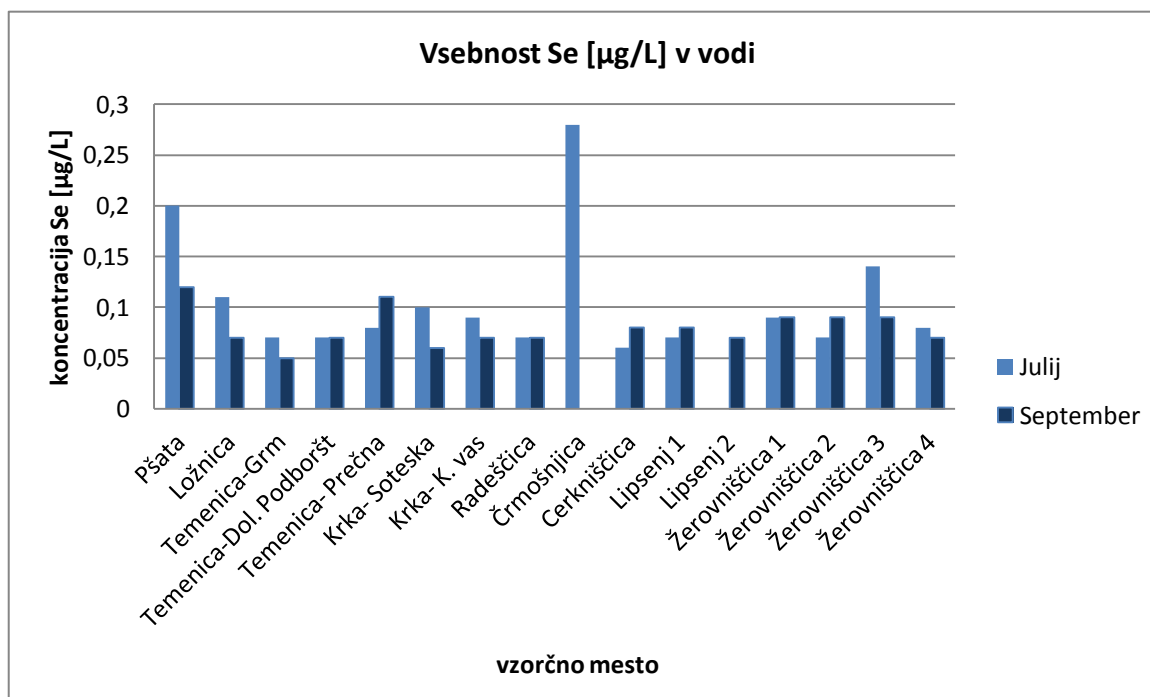
Koncentracije Se v vodi smo določili v vzorcih, ki smo jih vzorčili meseca julija in septembra. V preglednici 7 in na sliki 4 so prikazane povprečne vrednosti meritev, saj smo vsak pripravljen vzorec določili v dveh paralelkah. Prav tako so v preglednici prikazane suhe mase suspendiranih snovi v vodi iz izbranih vodotokov.

Koncentracije Se v vodi so dokaj nizke, med 0,06 $\mu\text{g}/\text{L}$ (vodotok Cerkniščica v Dolenji vasi v mesecu juliju) in 0,12 $\mu\text{g}/\text{L}$ (vodotok Pšata v vasi Bišče v mesecu septembru). Suha

masa suspendiranih snovi (SPM »solid particulate matter«) je največja na vzorčnem mestu Žerovniščica 3 tako meseca julija kot septembra, najmanjšo vrednost pa dosega v mesecu septembru na vodotoku Krka v Soteski, Žerovniščici 2 in vodotoku Temenica v Dolenjem Podborštu. Vrednost SPM je na omenjenih mestih manjša od 0,1 mg/L.

Preglednica 7: Izmerjena vsebnost Se [$\mu\text{g/L}$] v vodi in suha masa SPM v vodi [mg/L]

Vzorčno mesto	Se [$\mu\text{g/L}$] JULIJ	Se [$\mu\text{g/L}$] SEPTEMBER	SPM [mg/L] JULIJ	SPM [mg/L] SEPTEMBER
Pšata	0,2	0,12	51,28	2,47
Ložnica	0,11	0,07	16,46	17,53
Temenica- Grm	0,07	0,05	5,98	6,07
Temenica- Dol. Podboršt	0,07	0,07	7,38	<0,1
Temenica- Prečna	0,08	0,11	3,98	12,17
Krka- Soteska	0,1	0,06	3,08	< 0,1
Krka- K. vas	0,09	0,07	7,28	0,77
Radeščica	0,07	0,07	5,28	6,07
Črmošnjica	0,28	/	49,1	/
Cerkniščica	0,06	0,08	6,36	10,83
Lipsenj 1	0,07	0,08	0,88	4,07
Lipsenj 2	/	0,07	/	6,07
Žerovniščica 1	0,09	0,09	4,49	6,97
Žerovniščica 2	0,07	0,09	4,18	<0,1
Žerovniščica 3	0,14	0,09	126,94	28,23
Žerovniščica 4	0,08	0,07	7,18	3,17



Slika 4: Vsebnost Se [$\mu\text{g/L}$] v vodi v julijskih in septembrskih vzorcih iz izbranih vodotokov

4.3 VSEBNOST SELENA V SEDIMENTU

V mesecu septembru smo vzorčili tudi sediment na vseh vzorčnih mestih, ne glede na prisotnost vrste *Veronica anagallis-aquatica*. V preglednici 8 in sliki 5 so podane povprečne vrednosti vsebnosti Se v sedimentu. Rezultati so podani na suho maso vzorca.

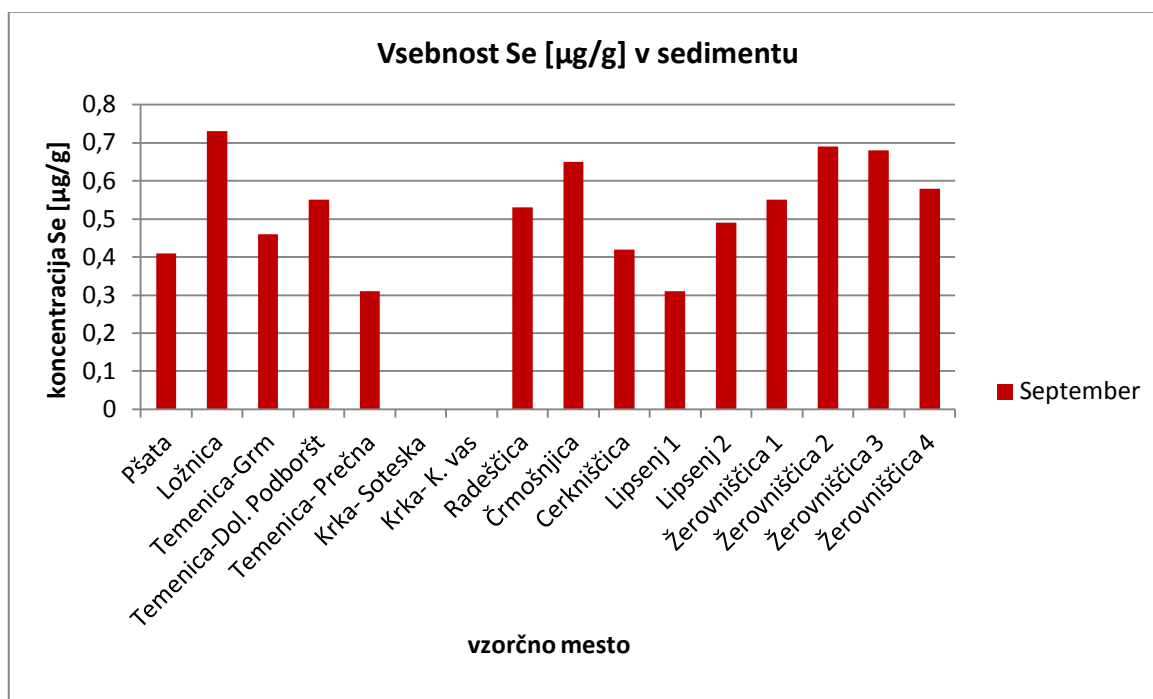
Največjo vsebnost Se smo določili v sedimentu, ki pripada vzorčnemu mestu vodotoka Žerovniščica 2, najnižjo koncentracijo Se pa smo določili v sedimentu vodotoka Krka v Soteski in Krški vasi, kjer je bila vsebnost Se pod mejo detekcije.

Najbolj droben sediment smo našli na referenčnem mestu v vodotoku Lipsenjščica in v vodotoku Radeščica. Na omenjenih mestih je sediment vseboval največji delež delcev sedimenta, ki so manjši od 1 mm: 45,06% v vodotoku Lipsenjščica in 34,0% v vodotoku Radeščica. Najmanjši delež delcev, ki so manjši od 1 mm, je vseboval sediment v vodotoku Črmošnjica in v reki Krki v Soteski.

Povezave med velikostjo delcev sedimenta in vsebnostjo Se iz dobljenih rezultatov ni mogoče zaznati, saj smo največjo vsebnost Se določili v sedimentu vodotoka Žerovniščica 2, kjer je bil izmerjen delež delcev sedimenta, manjših od 1 mm, povprečen glede na ostala vzorčna mesta: 11,95%. Prav tako izmerjene vrednosti Se v sedimentih z najdrobnejšimi oziroma z največjimi delci niso odstopale od ostalih meritev.

Preglednica 8: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v sedimentih in delež sedimenta, ki je manjši od 1 mm [%]

Vzorčno mesto	Se [$\mu\text{g/g}$] SEPTEMBER	Delež delcev sedimenta < 1 mm [%]
Pšata	0,41	20,69
Ložnica	0,73	15,82
Temenica- Grm	0,46	11,83
Temenica- Dol. Podboršt	0,55	23,07
Temenica- Prečna	0,31	22,43
Krka- Soteska	<DL	5,27
Krka- K. vas	<DL	16,87
Radeščica	0,53	34,00
Črmošnjica	0,65	3,96
Cerkniščica	0,42	15,95
Lipsenj 1	0,31	17,57
Lipsenj 2	0,49	45,06
Žerovniščica 1	0,55	16,46
Žerovniščica 2	0,69	11,95
Žerovniščica 3	0,68	29,84
Žerovniščica 4	0,58	20,74



Slika 5: Vsebnost Se [µg/g] v sedimentu v vzorcih iz meseca septembra iz izbranih vodotokov

4.4 VSEBNOST SELENA V VRSTI *Veronica anagallis-aquatica*

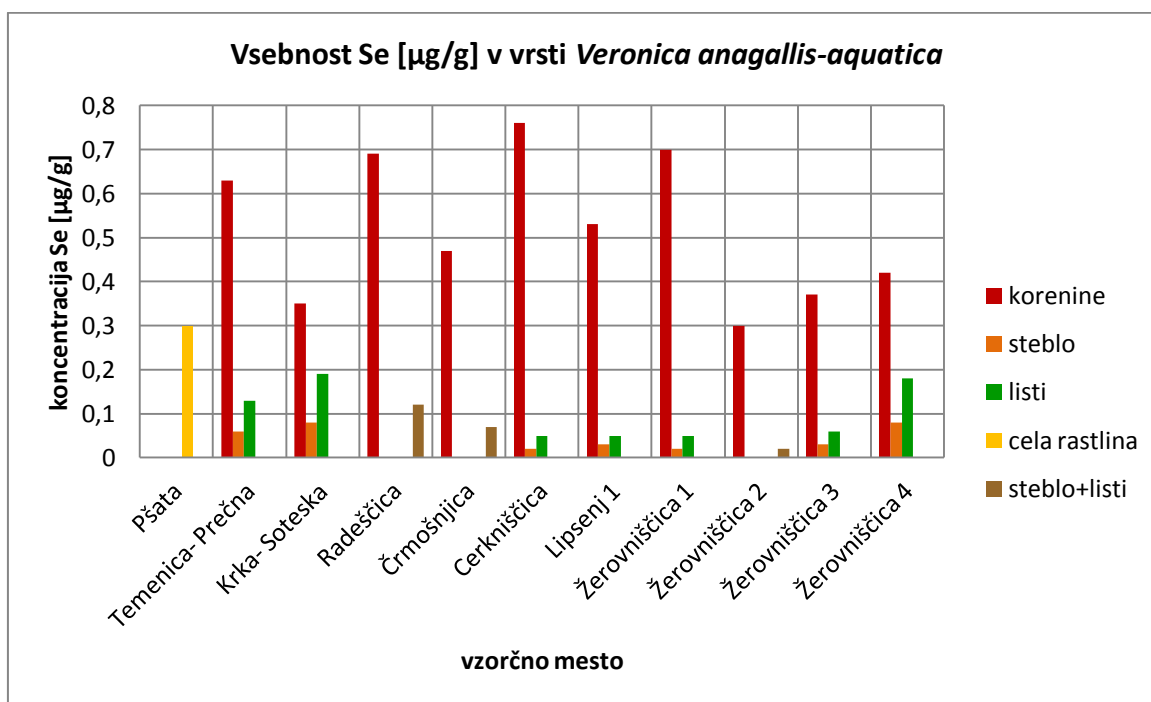
Vsebnost Se smo v večini vzorcev merili v posameznih rastlinskih delih: v korenini, stebelu in listih. Pri nekaterih vzorcih smo zaradi majhnosti rastline že med samo pripravo vzorcev združili posamezne rastlinske dele, saj ni bilo mogoče natančno ločiti nadzemnih in podzemnih delov rastline, zato smo tudi nadaljnje meritve o vsebnosti Se izvedli v združenih rastlinskih delih.

Sliki 6 in 7 prikazujeta izmerjene povprečne vrednosti koncentracije Se v posameznih delih rastline *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu juliju in mesecu septembru. Vsebnost Se v raztopinah po kislinškem razkroju v mikrovalovni pečici smo določili z ICP-MS metodo. Izbrali smo si 16 vzorčnih mest, vendar pa vrste *Veronica anagallis-aquatica* nismo našli na vseh izbranih vzorčnih mestih. Rezultati so podani na suho maso vzorca.

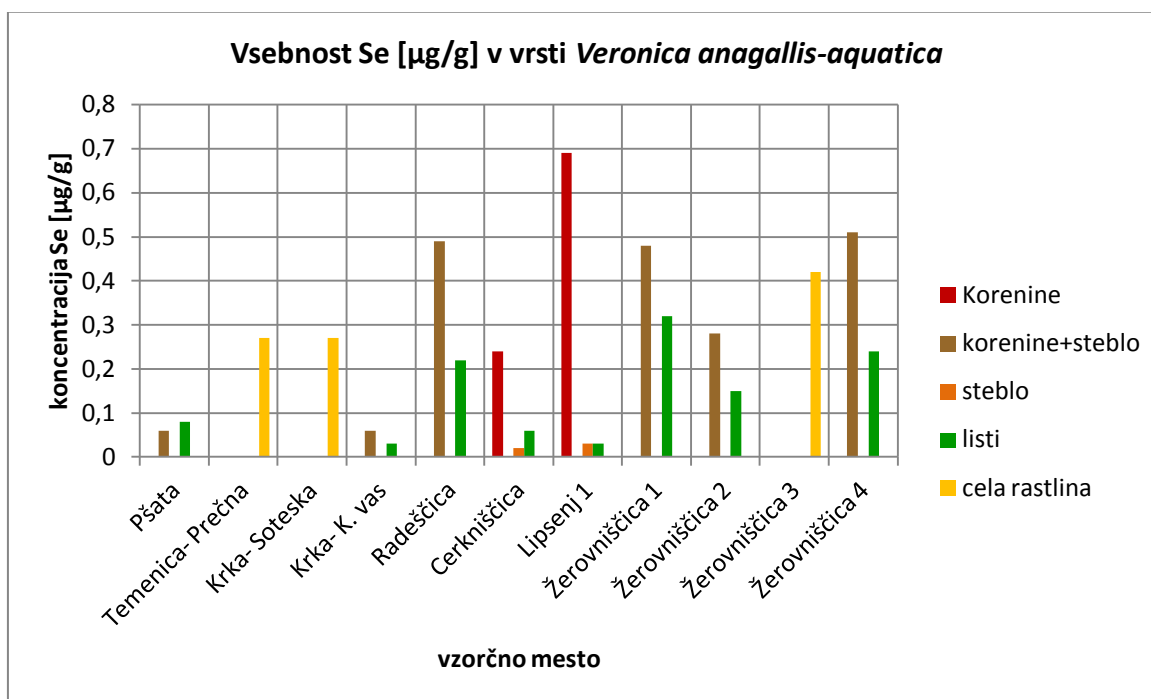
Koncentracija Se v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* se razlikuje glede na vzorčno mesto: največ Se najdemo v koreninah rastline iz vzorčnih mest vodotoka Cerkniščica v Dolenji vasi, Radeščica v Podhosti, Žerovniščica 1 v Žerovnici, pa tudi Temenica v Prečni in Lipsenjščica v vasi Lipsenj (slika 6).

Največje koncentracije Se se v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* kopičijo v koreninah. V koreninah so koncentracije Se tudi do 15-krat večje kot v listih (primerjava med rastlinskimi deli vzorcev iz vodotoka Cerkniščica). Najnižje koncentracije Se smo določili v steblih rastlin (slika 6).

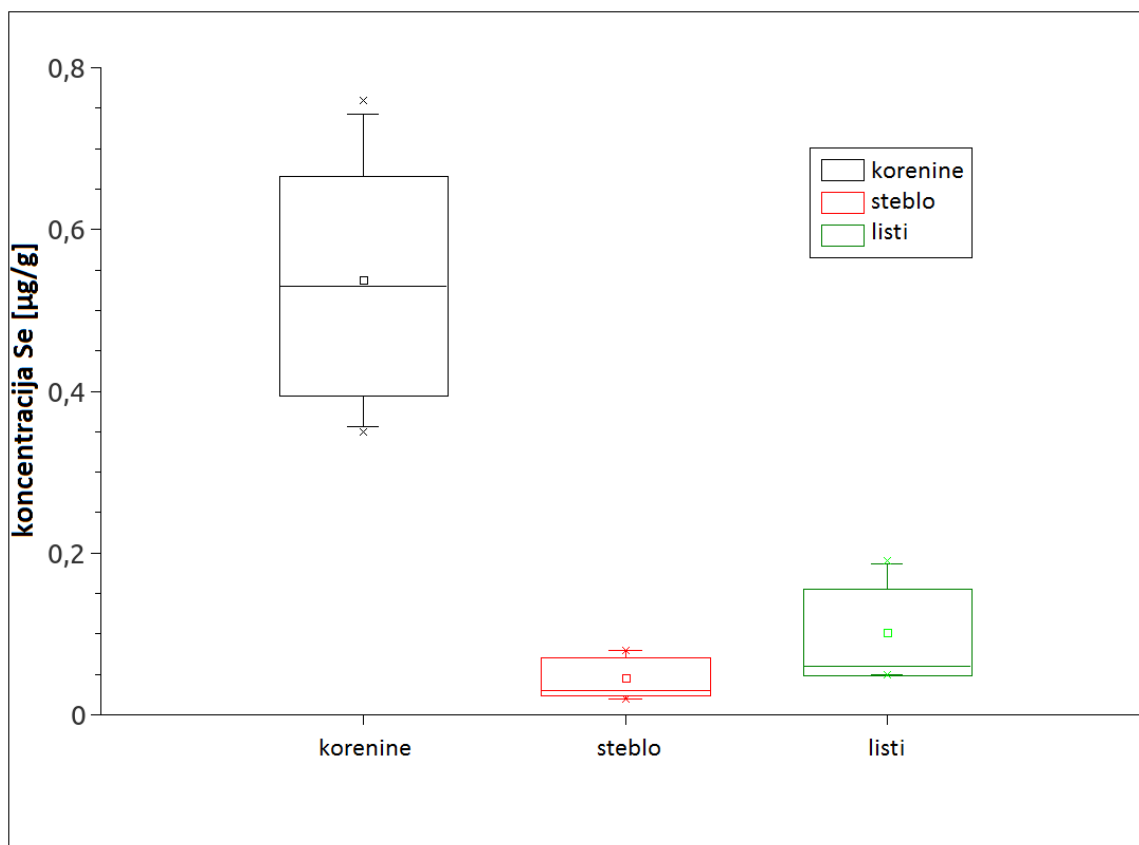
Zaradi različnih velikosti rastlin oziroma različnih razvojnih faz rastlin v mesecu juliju in septembru, smo v jesenskem vzorčenju rastline nekoliko težje ločili na posamezne dele. Rastline so bile v mesecu septembru v večini precej manjše rasti kot v mesecu juliju, zato smo vzorce pripravili tako, da smo stebila in korenine združili. Kljub temu pa je iz rezultatov videti, da tudi v mesecu septembru največ Se vsebujejo korenine, če predpostavljamo, da je delež Se v stebilu glede na dobljene rezultate v mesecu juliju, minimalen. Koncentracija Se je v listih, ki smo jih nabrali v mesecu septembru nekoliko višja kot v listih, ki smo jih nabrali v mesecu juliju (sliki 6 in 7).



Slika 6: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu juliju iz izbranih vodotokov

Slika 7: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu septembru iz izbranih vodotokov

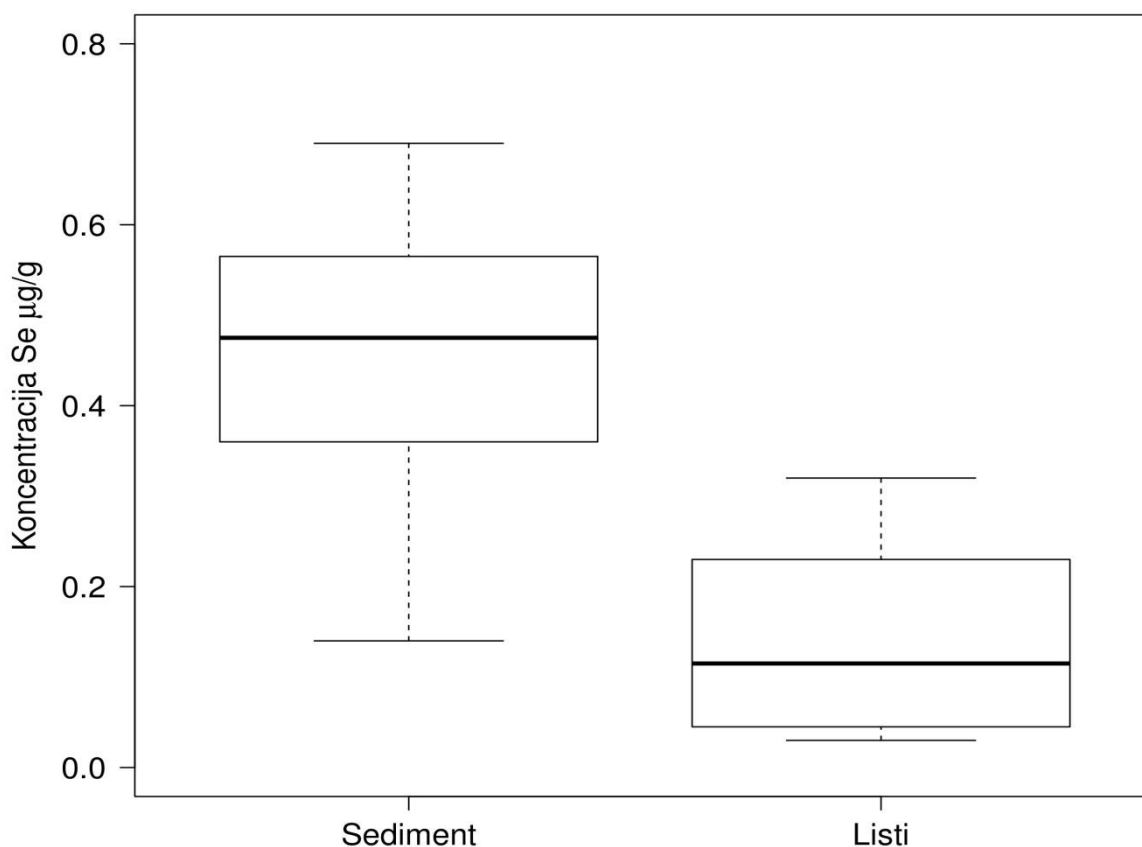
Na sliki 8 je prikazana vsebnost Se v posameznih rastlinskih delih vrste *Veronica anagallis-aquatica* iz vseh izbranih vodotokov, ki smo jih proučevali v mesecu juliju. Iz rezultatov je razvidno, da največje koncentracije Se najdemo v koreninah in najmanj v steblih.



Slika 8: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v posameznih rastlinskih delih, neodvisno od vzorčnega mesta v vzorčenju v mesecu juliju

Na sliki 9 je prikazana primerjava med koncentracijo Se v sedimentu in koncentracijo Se v listih vrste *Veronica anagallis-aquatica* iz vseh izbranih vodotokov, ki smo jih proučevali v mesecu septembru. Iz rezultatov je razvidno, da so koncentracije Se v sedimentu večje kot v listih.

Primerjave med koncentracijo Se v vodi in listih vrste *Veronica anagallis-aquatica* nismo naredili, saj so koncentracije Se v vodi zelo nizke.

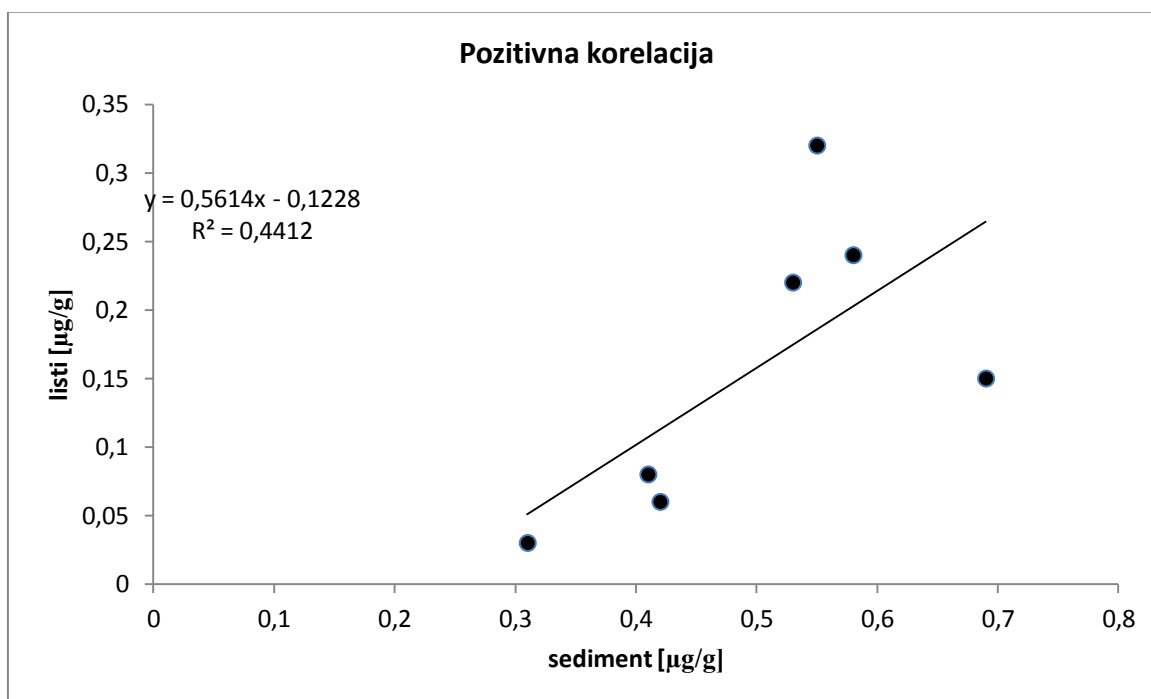


Slika 9: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v sedimentu in listih, neodvisno od vzorčnega mesta v vzorčenju v mesecu septembru

Iz slike 10 lahko razberemo pozitivno korelacijo med vsebnostjo Se v sedimentu in v listih vrste *Veronica anagallis-aquatica*. Primerjavo smo naredili med septembrskimi vzorci, saj smo le v tem mesecu vzorčili sediment.

Na vzorčnih mestih, kjer smo v sedimentu določili večje koncentracije Se, smo večjo koncentracijo omenjenega elementa določili tudi v listih vrste *Veronica anagallis-aquatica*. Tako smo najnižjo koncentracijo Se določili v sedimentu vodotoka Krka v Soteski in Krški vasi. Prav tako smo v listih rastlin iz omenjenih vzorčnih mest določili najnižjo vsebnost Se: listi rastlin, ki smo jih nabrali v vodotoku Krka v Krški vasi, vsebujejo $0,03 \mu\text{g/g}$ Se.

Visoko vsebnost Se smo določili v sedimentu iz vzorčnega mesta Žerovniščica 1 v vasi Žerovnica ($0,69 \mu\text{g/g}$), prav tako pa smo največjo vsebnost Se zasledili tudi v listih rastlin iz istega vzorčnega mesta ($0,32 \mu\text{g/g}$).



Slika 10: Pozitivna korelacija med vsebnostjo Se v sedimentu in listih vrste *Veronica anagallis-aquatica* v vzorčenju v mesecu septembru

4.5 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA S POMOČJO RCE VPRAŠALNIKA

V preglednici 9 so podani rezultati širše okoljske ocene izbranih vodotokov: število točk, ki jih je dosegel vodotok in ustreza uvrstitev v kakovostni razred. Širšo okoljsko oceno s pomočjo RCE vprašalnika smo zaradi kratkega intervala med prvim in drugim vzorčenjem izpolnjevali samo v mesecu juliju.

Največje število točk, ki jih lahko vodotok doseže, je 280. Na podlagi doseženih točk, je vodotok uvrščen v ustrezen kakovostni razred: 227-280 točk predstavlja I. kakovostni razred; 173-226 točk II. kakovostni razred; 119-172 točk III. kakovostni razred; 65-118 točk IV. kakovostni razred in 12-64 točk V. kakovostni razred. Vodotoki, ki jih uvrščamo v I. kakovostni razred, predstavljajo referenčno lokacijo vodotoka, ljudje pa se trudimo ohraniti njihovo obstoječe stanje, medtem ko je za vodotoke, ki jih uvrščamo v V. kakovostni razred priporočena reorganizacija struge in blaženje učinkov zaledja.

Izbrane vodotoke glede na podano širšo okoljsko oceno uvrščamo v III., IV. in V. kakovostni razred.

Preglednica 9: Ocena stanja vodotoka in uvrstitev vodotoka v ustreznih kakovostnih razredih

Vodotok	Naselje	RCE št. točk	RCE kakovostni razred
PŠATA	Bišče	151	III. razred
LOŽNICA	Spodnja Ložnica	72	IV. razred
TEMENICA	Grm	97	IV. razred
	Dolenji Podboršt	77	IV. razred
	Prečna	135	III. razred
KRKA	Soteska	80	IV. razred
	Krška vas	71	IV. razred
RADEŠČICA	Podhosta	126	III. razred
ČRMOŠNJICA	Grič	79	IV. razred
CERKNIŠČICA	Dolenja vas	29	V. razred
LIPSENJŠČICA	Lipsenj	67	IV. razred
ŽEROVNIŠČICA	Žerovnica	33	V. razred

V V. kakovostni razred smo uvrstili Cerknjščico in Žerovniščico, v IV. kakovostni razred smo uvrstili vodotok Ložnica, Krka, Lipsenjščica, Črmošnjica in vodotok Temenica v vasi Grm in v Dolenjem Podborštu. V III. kakovostni razred pa smo uvrstili Pšato, Radeščico in Temenico v Prečni.

5 RAZPRAVA

V zadnjem času se po svetu širi zanimanje o elementih, ki so esencialni za življenje mnogih vrst, po drugi strani pa so ob večjih koncentracijah lahko strupeni in jih zato uvrščamo tudi med onesnaževala. Eden izmed takih elementov je tudi selen, ki je po zemlji razporejen neenakomerno.

Večji del Evrope pokrivajo s selenom revna območja in kislila tla, kar rastlinam še dodatno otežuje privzem Se, zato so Se zaradi njegovega pomanjkanja v krmi začeli dodajati v prehrano živali (Reilly, 1996). Absorpcija Se v organizem ni popolna, zato se v okolje izloča preko iztrebkov (Mechora in sod., 2014).

Ker ima Se zelo ozko mejo med esencialnostjo in strupenostjo (Fordyce, 2013) in ker se Se preko iztrebkov izloča v okolje, smo se v nalogi osredotočili na vpliv kmetijskih dejavnosti na koncentracijo Se v okolici kmetijskih zemljišč. Iz dosedanjih raziskav je znano, da vrsta *Veronica anagallis-aquatica* v primerjavi z drugimi makrofiti privzema visoke koncentracije Se (Gerjevič, 2012; Mechora in sod., 2014).

V nalogi smo se osredotočili predvsem na vsebnost Se v vrsti *Veronica anagallis-aquatica*, saj smo želeli ugotoviti, ali je vrsta primerna za bioindikacijo Se v slovenskih vodotokih. Opravili smo tudi analize o vsebnosti Se v sedimentu in vodi iz izbranih vzorčnih mest.

Izbrali smo 16 vzorčnih mest po Sloveniji, na katerih je bila v zadnjih petih letih prisotna vrsta *Veronica anagallis-aquatica*, vendar pa na vseh mestih nismo našli omenjene rastline. Kljub temu smo opravili analizo vsebnosti Se v vodi in sedimentu.

5.1 FIZIKALNI IN KEMIJSKI PARAMETRI

Meritve fizikalnih in kemijskih parametrov nam podajajo oceno trenutnega stanja vodotoka, vendar pa vseeno pripomorejo k širši oceni kakovosti vode. Iz preglednice 6 je razvidno, da je bila temperatura voda tako v mesecu juliju kot mesecu septembru med 12 in 22 °C. Na posameznih vodotokih se temperatura ob drugi meritvi ni bistveno spremenila. V večini je bila za stopinjo ali dve nižja kot v mesecu juliju. Temperatura vode neposredno vpliva na biotske procese v vodnem okolju, saj je od nje odvisno raztapljanje plinov v vodi, izhlapevanje vode, rast in razvoj vodnih organizmov itd (Allan in Castillo, 2007).

Koncentracija kisika v vodi je v večini izbranih vodotokov presegla mejo 5 mg/L. Izjemno nizko koncentracijo smo določili v vodotoku Črmošnjica meseca julija. Dosegla je vrednost 1,8 mg/L, v mesecu septembru pa je potok presahnil. Koncentracija kisika v vodi pod 5 mg/L negativno vpliva na delovanje in preživetje mnogih organizmov, vrednost pod 2 mg/L pa povzroči smrt rib in nekaterih drugih organizmov (Wetzel, 1975). Nekoliko nizko vrednost raztopljenega kisika smo določili tudi v Temenici v Dolenjem Podborštu (julij: 6,8 mg/L; september: 7,0 mg/L) in Cerknjščici v Dolenji vasi (julij: 6,0 mg/L; september: 6,7 mg/L). Meritve so bile opravljene v dopoldanskem času, zato so vrednosti čez dan naraščale, lahko pa je nizka koncentracija kisika v omenjenih vodotokih posledica organske razgradnje ali manjšega števila primarnih producentov.

Če nasičenost vode s kisikom presega vrednost 100%, potem govorimo o biogenem prezračevanju, saj je stopnja fotosinteze višja od stopnje respiracije. Vodotoki, v katerih najdemo vrednosti nasičenosti vode s kisikom pod 80%, imajo lahko slab vonj, pitna voda pa tudi slab okus (Wetzel, 1975). Manj kot 80% nasičenost s kisikom smo določili tako v mesecu juliju kot septembru v Ložnici v Spodnji Ložnici, Temenici v Dolenjem Podborštu, Cerknjščici v Dolenji vasi in vodotoku Črmošnjica v vasi Grič (samo v mesecu juliju). Vzorčno mesto na reki Cerknjščici je močno zaudarjalo, po vodotoku pa je bilo moč opaziti tudi nekaj poginulih rib. Cerknjščica je že na prvi pogled precej obremenjena, saj je struga ob nizkem vodostaju deljena v preplete, vodotok je kanaliziran in umetno pregrajen z betonom. Prav tako nizka koncentracija raztopljenega kisika in nizka nasičenost s kisikom sovpada z na pogled maloštevilnimi primarnimi proizvajalci v Temenici v Dolenjem Podborštu, vodotok Črmošnjica pa je imel ob meritvah izredno nizek vodostaj.

Elektroprevodnost vode je odvisna predvsem od količine nabitih delcev v vodi ter nekoliko manj od ionske sestave in temperature vode (Allan in Castillo, 2007). Če je vodotok obremenjen, je v njem večja količina nabitih delcev, kar vodi v večjo elektroprevodnost. Obremenjenost vodotoka povzroča dotok hranil. V večini celinskih voda je prevodnost med 10 in 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Wetzel, 1975). Najvišje vrednosti smo določili v reki Temenici v Dolenjem Podborštu in v vasi Grm ter v Žerovniščici v vasi Žerovnica. Tako v juliju kot septembru vrednosti presegajo 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Izmerjeni pH v vseh vodotokih je bil med 6,3 in 8,2, kar je znotraj intervala pH-ja naravnih voda: 5-9 (Allan in Castillo, 2007). pH, višji od 8,5 je značilen za evtrofne sisteme

(Wetzel, 1975), medtem ko lahko pH, nižji od 5, močno vpliva na zmanjšanje biotske pestrosti v ekosistemu (Allan in Castillo, 2007).

Suha masa suspendiranih snovi (SPM) je bila v intervalu $<0,1-126,94$ mg/L. Suspendirani delci v vodi vplivajo na motnost vode: večja kot je masa suspendiranih snovi, večja je motnost vode. Iz naših rezultatov o masi suspendiranih snovi je razvidno, da so bili vzorci vode v večini precej bistri. Odstopal je le vzorec vode iz vzorčnega mesta Žerovniščica 3, kjer smo v mesecu juliju določili kar 126,94 mg/L suspendiranih snovi.

5.2 VSEBNOST SELENA V VODOTOKIH

Uradni list republike Slovenije v Pravilniku o pitni vodi (2004) podaja mejno vrednost za Se 10 $\mu\text{gSe/L}$. Prav tako je omenjena koncentracija glede na ameriško okoljsko agencijo USEPA mejna vrednost za globalne naravne vode (Fordyce, 2013), medtem ko je koncentracija 5 $\mu\text{gSe/L}$ po USEPA mejna vrednost za zaščito prostoživečih kopenskih in vodnih organizmov (Vinceti in sod., 2000). Mnogo znanstvenikov meni, da bi morala biti dovoljena meja vsebnosti Se v vodnih okoljih zaradi njegove bioakumulacije v prehranjevalno verigo mnogih rib in ptic nižja, 2 $\mu\text{gSe/L}$ (Vinceti in sod., 2000).

V naši raziskavi smo v mesecu juliju določili koncentracije Se med 0,06 in 0,28 $\mu\text{gSe/L}$, v mesecu septembru pa med 0,05 in 0,12 $\mu\text{gSe/L}$, kar je razvidno iz slike 4. Uradni list RS podaja mejne vrednosti razredov ekološkega stanja za posebna onesnaževala (2010), med katera sodi tudi Se. Po njihovih podatkih naj bi bili vodotoki, ki vsebujejo manj kot 0,6 $\mu\text{gSe/L}$, v zelo dobrem ekološkem stanju, tisti ki vsebujejo manj kot 6 $\mu\text{gSe/L}$ v dobrem ekološkem stanju in če vodotok vsebuje več kot 6 $\mu\text{gSe/L}$, sodi v razred z zmernim ekološkim stanjem.

Naše izmerjene povprečne vrednosti Se so zelo nizke in prav noben vodotok ne presega vrednosti 0,6 $\mu\text{gSe/L}$, kar pomeni, da bi jih glede na obremenjenost s Se uvrstili v razred z zelo dobrim ekološkim stanjem. Izmerjene vsebnosti Se nam podajo le trenutno stanje koncentracij Se v vodah, kljub temu pa nam rezultati kažejo, da je najmanj Se v vodi v mesecu juliju vsebovala Cerknjščica (0,06 $\mu\text{gSe/L}$). Sledijo ji Temenica v Dolenjem Podborštu in vasi Grm, vodotok Radeščica v Podhosti, Lipsenjščica v vasi Lipsenj in Žerovniščica 2 v Žerovnici z vrednostjo 0,07 $\mu\text{gSe/L}$. Nad 0,1 $\mu\text{gSe/L}$ so vsebovala vzorčna mesta Ložnica v Spodnji Ložnici, Krka v Soteski, Žerovniščica 3 in Pšata v vasi

Bišče, vodotok Črmošnjica pa je dosegel najvišjo povprečno vrednost, 0,28 $\mu\text{gSe/L}$ (preglednica 7).

V rezultatih raziskav, ki so bile izvedene v različnih obremenjenih vodotokih po svetu, lahko zasledimo, da so koncentracije Se bistveno višje. V reki Wanshan na Kitajskem, ki zaradi rudarstva sodi med obremenjene vodotoke, so določili povprečno koncentracijo Se 3,82 $\mu\text{gSe/L}$; v nekaterih predelih je namreč vrednost dosegla kar 30 $\mu\text{gSe/L}$. V reki Enshi, kjer je v zaledju velik vpliv ljudi, pa povprečna vrednost Se dosega koncentracijo kar 32,6 $\mu\text{gSe/L}$ (Zhang in sod., 2014).

Glede na širšo okoljsko oceno, pridobljeno s pomočjo RCE vprašalnika, izmerjene fizikalne in kemijske parametre ter glede na rezultate prejšnjih meritev, smo pričakovali nekoliko večjo vsebnost Se na vzorčnem mestu Žerovniščica 3. Po podatkih, ki jih Nina Gerjevič navaja v svojem diplomskem delu (2012), je bila koncentracija Se v mesecu juliju 2009 na istem odvzemnem mestu kar precej višja, in sicer 0,49 $\mu\text{gSe/L}$. Višjo koncentracijo Se smo pričakovali tudi zaradi kmetijskega zaledja in paše živali v neposredni bližini vodotoka, ob vzorčenju vrste *Veronica anagallis-aquatica* pa je bil sediment vidno pomešan z gnojem, spremljal ga je tudi značilen vonj.

Zaradi obremenjenosti struge na vzorčnem mestu Cerknishčice, smo pričakovali višjo koncentracijo Se, vendar pa je vzorec presenetljivo vseboval najnižjo izmerjeno koncentracijo Se v mesecu juliju. Možno je, da se Se v vodotoku kopiči v sedimentu, od koder ga črpajo makrofiti, saj smo namreč ravno na tem vzorčnem mestu določili najvišjo koncentracijo Se v koreninskem sistemu vrste *Veronica anagallis-aquatica*.

Najvišjo povprečno izmerjeno koncentracijo Se je imel vodotok Črmošnjica v vasi Grič (0,28 $\mu\text{gSe/L}$). Nekoliko višjo koncentracijo Se v vodi lahko pripišemo izredno nizkemu vodostaju, saj se posledično snovi v vodnem telesu bolj skoncentrirajo. Zanimivo bi bilo izmeriti vsebnost Se iz omenjenega vodotoka tudi v mesecu septembru, vendar je vodotok popolnoma presahnil.

Suha masa suspendiranih snovi je bila v mesecu juliju med 0,88-7,38 mg/L (preglednica 7). Nekoliko višjo vsebnost suspendiranih snovi vsebujeta Ložnica (16,46 mg/L) in Pšata (51,28 mg/L), Žerovniščica 3 pa dosega najvišjo vrednost, 126,94 mg/L. Tudi v mesecu septembru Ložnica (17,53 mg/L) in Žerovniščica 3 (28,23 mg/L) dosejata najvišje vrednosti vsebnosti suspendiranih snovi. Vzorčno mesto Žerovniščica 3 se nahaja v

neposredni bližini izcednih cevi v vodotok. V bližini so kmetije in pašniki, ki so vir izcednih voda v reko Žerovniščico, čemur lahko pripišemo večje koncentracije suspendiranih snovi v vodi. Prav tako sta v neposredni bližini vzorčnega mesta na Ložnici in Pšati večji kmetiji.

V mesecu septembru do večjih odstopanj v vsebnosti Se v vodi v primerjavi z mesecem julijem ni prišlo, čeprav smo julija pričakovali nekoliko višje koncentracije Se v vodotokih zaradi nizkih vodostajev, ki so posledica poletne suše. Po podatkih Agencije RS za okolje, je bil mesec julij v letu 2013 eden izmed petih najtoplejših mesecev od sredine minulega stoletja, količine padavin so bile nižje od dolgoletnega povprečja, prav tako pa je bilo prisotno močno izhlapevanje ter primanjkovanje vode po vsej državi. V primerjavi z jesenskim vzorčenjem je poleti bolj intenzivno tudi pašništvo in živinoreja na prostem.

Da bi opazili večje razlike v vsebnosti Se v vodi med poletnim in jesenskim vzorčenjem, bi morali jeseni vzorčiti nekoliko kasneje, konec septembra ali v mesecu oktobru, ko bi se vpliv poletne suše že nekoliko omilil.

Raziskave, ki so bile opravljene leta 2011 na vzorcih iz izbranih slovenskih vodotokov kažejo, da se koncentracija Se v vodi bistveno ne razlikuje med posameznimi vzorčnimi mesti, kar je razvidno iz preglednice 10 (Mechora in sod., 2014): v mesecu juliju je koncentracija Se dosegala vrednost 0,10 $\mu\text{gSe/L}$ v vzorcu Lipsenjščice, leta 2013 pa smo na istem vzorčnem mestu določili koncentracijo 0,07 $\mu\text{gSe/L}$. Vrednosti Se na vzorčnih mestih Žerovniščice so v primerjavi z analizami v letu 2011 nekoliko višje, vendar še vedno pod mejo 2 $\mu\text{gSe/L}$. Razlika med meritvama leta 2011 in 2013 je bila na vzorčnem mestu Žerovniščica 3, kjer so leta 2011 določili vsebnost Se 0,08 $\mu\text{gSe/L}$, leta 2013 pa smo določili 0,14 $\mu\text{gSe/L}$ (Mechora in sod., 2014).

Preglednica 10: Literaturni (Mechora in sod., 2014¹) in dobljeni podatki za vsebnost Se v vodi

Vzorčno mesto/ vsebnost Se [$\mu\text{g/L}$]	Julij, 2009 ¹	Julij, 2010 ¹	Julij, 2011 ¹	Julij, 2013
Lipsenjščica	0,15	0,06	0,10	0,07
Žerovniščica 1	ni podatka	0,08	0,06	0,09
Žerovniščica 2	0,10	0,10	0,06	0,07
Žerovniščica 3	0,14	0,04	0,08	0,14
Žerovniščica 4	ni podatka	0,10	0,07	0,08

5.3 VSEBNOST SELENA V SEDIMENTIH

Selen se v okolje sprošča po naravni poti, iz kamnin v procesu erozije ali s spiranjem tal. Porazdelitev Se je odvisna od vrste kamnine in drugih fizikalnih in kemijskih dejavnikov (Combs, 2001), v splošnem pa je topnost Se večja v alkalnih okoljih (Lakin, 1973). Sediment predstavlja glavni rezervoar Se v vodnem okolju (Mechora in sod., 2014), saj se v procesu sedimentacije kopiči v sedimentu, zaznamo pa ga tudi v podtalnih in površinskih vodah (Tang in sod., 2009).

Mejna vrednost koncentracije Se v sedimentu je bila določena na podlagi mnogih raziskav na območjih, kontaminiranih s Se. Po podatkih USDO (United States Department of the Interior, 1998), je EC_{10} za sediment $2,5 \mu\text{gSe/gSM}$ (EC = effect concentration; koncentracija, ki toksično vpliva na 10% osebkov v testirani populaciji). Mejna vrednost $2,5 \mu\text{gSe/gSM}$ v sedimentu velja za mnoge vrste rib in ptic, ki živijo v vodnih ekosistemih, medtem ko mejna vrednost $>4,0 \mu\text{gSe/gSM}$ predstavlja vrednost, ki strupeno vpliva na prav vse testirane osebkove v populaciji ($EC_{100} = 4,0 \mu\text{gSe/gSM}$) (Conley, 2012).

Raziskave, ki so bile narejene za določitev mejnih koncentracij vsebnosti Se v vodnem ekosistemu, so se usmerile predvsem v zaščito zdravja ribjih in ptičjih populacij v reki Blackfoot (Conley, 2012).

Raziskave na reki Blackfoot so pokazale, da so koncentracije Se bistveno večje na obremenjenih predelih reke z rudarstvom kot na neobremenjenih, tako v sedimentu, vodi, makrofitih, ribjih populacijah in preostalih združbah.

Kar 67% vzorcev vode iz obremenjenih območij je vsebovalo okoli $2 \mu\text{gSe/L}$; 30% vzorcev sedimenta iz obremenjenih območij reke Blackfoot je doseglo mejo $2 \mu\text{gSe/gSM}$ in kar 89% vzorcev makrofitov iz istega okolja je doseglo mejo $1 \mu\text{gSe/gSM}$. Le 6% vzorcev vode iz neobremenjenih območij reke Blackfoot je doseglo mejo $2 \mu\text{gSe/L}$; 50% vzorcev makrofitov je doseglo mejo $1 \mu\text{gSe/gSM}$ in noben vzorec sedimenta ni dosegel meje $2 \mu\text{gSe/gSM}$ (Conley, 2012).

V mesecu septembru smo določili tudi Se v sedimentu. Iz slike 5 je razvidno, da nobeno vzorčno mesto ni preseglo mejne vrednosti $2,5 \mu\text{gSe/gSM}$. Sediment smo vzorčili v neposredni bližini rasti vrste *Veronica anagallis-aquatica*. Iz slike 10 je razvidna pozitivna korelacija med vsebnostjo Se v sedimentu in v listih rastline *Veronica anagallis-aquatica*,

kar pomeni, da na območjih, kjer je v sedimentu veliko Se, ga je več tudi v listih omenjene rastline. Sediment je v vodotoku glavni rezervoar Se in drugih kovin, saj se kovine v njem kopičijo in se ne izpirajo z vodnim tokom.

Največ Se smo določili v sedimentu iz vzorčnih mest na Žerovniščici v vasi Žerovnica: Žerovniščica 1 0,55 $\mu\text{gSe/gSM}$; Žerovniščica 2 0,69 $\mu\text{gSe/gSM}$; Žerovniščica 3 0,68 $\mu\text{gSe/gSM}$ ter Žerovniščica 4 0,58 $\mu\text{gSe/gSM}$ (preglednica 8 in slika 5). Rezultati z najvišjo vsebnostjo Se na Žerovniščici so bili pričakovani, saj vodotok teče skozi urbano naselje, obdajajo ga kmetijske površine in kmetije, iz katerih se Se lahko skupaj z odpadnimi vodami in živalskimi iztrebki izliva v vodotok.

Prav tako smo več Se glede na zaledje pričakovali tako v sedimentu kot v rastlini na vzorčnem mestu Cerknjščica. Tudi glede na širšo okoljsko oceno smo mesto uvrstili v V. kakovostni razred.

Najmanj Se v sedimentu najdemo na vzorčnem mestu Krka-Krška vas in Krka-Soteska, kjer je bila koncentracija Se pod mejo detekcije ($<0,27 \mu\text{g/g}$). Nizke koncentracije Se smo pričakovali tudi na območju Lipsenj 2, saj v bližini ni naselja in kmetijskih površin, pač pa zaledje obdaja mešani gozd in naravni travniki.

5.4 VSEBNOST SELENA V VRSTI *Veronica anagallis-aquatica*

Za koncentracije Se v perifitonu in makrofitih, ki bi negativno vplivale na druge vrste, ki se z njimi hranijo, ni predpisanih nobenih smernic. Kljub temu, da imajo tako makrofiti kot perifiton pomembno vlogo v ekosistemu in prehranjevalni verigi, saj je po dosedanjih raziskavah znano, da absorbirajo, biotrasformirajo in prenašajo Se na višje trofične ravni. Da bi ocenili mejni vrednosti koncentracije Se za omenjeni komponenti v ekosistemu, so mejne koncentracije preračunali na podlagi splošnega transfernega faktorja za prerazporejanje Se od primarnih producentov do vodnih nevretenčarjev. Tako je predlagana mejna vrednost za koncentracijo Se v makrofitih in perifitonu 1,1 $\mu\text{gSe/gSM}$ oziroma maksimalna, nekoliko manj »konservativna« vrednost 2,5 $\mu\text{gSe/gSM}$ (Conley, 2012).

Vsa vzorčna mesta so v neposredni bližini kmetijskih površin ali urbanih naselij, kar je razvidno iz preglednice 1 in zemljevidov vzorčnih mest, ki so zbrani v prilogi. Vsem vzorčnim mestom skupna značilnost zaledja je torej kmetijstvo, vpliv človeka. V mesecu

juliju je bil delež nabranih rastlin, ki so bile večje od 30 cm, kar 80%, zato smo Se določili v posameznih delih rastlin in tako dobili podatke o razporejenosti Se po rastlini. Iz slike 6 je razvidno, da največ Se vsebujejo korenine, sledijo listi, najmanj Se pa vsebuje steblo. V koreninah je koncentracija Se tudi do 15-krat večja kot v listih.

Največjo vsebnost Se v mesecu juliju smo določili v koreninah vrste *Veronica anagallis-aquatica* na vzorčnem mestu Cerknjščica (0,76 $\mu\text{gSe/gSM}$). Visoko vsebnost Se v koreninah so imele tudi rastline iz vzorčnih mest Temenica-Prečna (0,63 $\mu\text{gSe/gSM}$), Radeščica (0,69 $\mu\text{gSe/gSM}$), Lipsenj 1 (0,53 $\mu\text{gSe/gSM}$) in Žerovniščica 1 (0,7 $\mu\text{gSe/gSM}$).

V listih rastline koncentracija Se močno upade. Giblje se med 0,19 $\mu\text{gSe/gSM}$ in 0,05 $\mu\text{gSe/gSM}$. Največ Se v listih so vsebovale rastline iz vzorčnega mesta Krka-Soteska. Te rastline so bile visoke okoli 40 cm, rastle so na sončni strani in skoraj v celoti so bile potopljene v vodi. Nasprotno so najmanj Se v listih vsebovale rastline iz vzorčnega mesta Cerknjščica, Lipsenj in Žerovniščica 1 (0,05 $\mu\text{gSe/gSM}$), njihova velikost je bila do 60 cm. Na vzorčnih mestih Cerknjščica in Žerovniščica 1 so imele rastline v vodi le koreninski sistem in malo stebela, rastline na vzorčnem mestu Lipsenj 1, pa so bile v vodi potopljene približno do polovice. Iz dobljenih podatkov lahko predvidevamo, da bi vrsta *Veronica anagallis-aquatica* lahko Se privzemala tudi iz vode, preko listne površine. To dejstvo lahko potrdi tudi vsebnost Se v sedimentu: vzorčno mesto Krka-Soteska vsebuje najmanjšo vsebnost Se v sedimentu, medtem ko vsebuje vzorčno mesto Žerovniščica 1 najvišjo vsebnost Se v sedimentu.

Najmanj Se smo določili v samem stebelu rastlin. Vrednosti so bile med 0,02 $\mu\text{gSe/gSM}$ (Žerovniščica 1) in 0,08 $\mu\text{gSe/gSM}$ (Krka-Soteska in Žerovniščica 4). Iz dobljenih rezultatov sklepamo, da se Se po stebelu le prenaša iz koreninskega sistema do listov, in se v njem ne shranjuje.

V mesecu septembru je bil delež nabranih rastlin, večjih od 30 cm, le 20%, zato smo rastline nekoliko težje ločili na posamezne dele. Največ Se smo določili v koreninah rastlin iz vzorčnega mesta Lipsenj 1 (0,69 $\mu\text{gSe/gSM}$), sledile pa so mu koncentracije Se v koreninah in stebelu iz vzorčnih mest Radeščica (0,49 $\mu\text{gSe/gSM}$), Žerovniščica 1 (0,48 $\mu\text{gSe/gSM}$) in Žerovniščica 4 (0,51 $\mu\text{gSe/gSM}$). Koncentracije Se so bile v primerjavi z

mesečem julijem nekoliko nižje, vendar moramo upoštevati, da so bile tudi rastline v mesecu septembru v večini bistveno manjše in lahko tudi mlajše.

Koncentracija Se v listih septembrskih vzorcev je bila med 0,32 $\mu\text{gSe/gSM}$ (Žerovniščica 1) in 0,03 $\mu\text{gSe/gSM}$ (Krka-Krška vas in Lipsenj 1). Rastline iz vzorčnih mest Žerovniščica 1, Žerovniščica 2, Žerovniščica 4 in Radeščica, ki vsebujejo v listih največ Se, so bile v celoti potopljene, prav tako pa na omenjenih vzorčnih mestih najdemo visoke koncentracije Se tudi v sedimentu.

Na treh vzorčnih mestih (Temenica-Prečna, Krka-Soteska in Žerovniščica 3) so bile rastline premajhne, da bi jih lahko ločili na posamezne rastlinske dele, zato smo določili Se v celotni rastlini. Največ Se je vseboval vzorec iz Žerovniščice 3 (0,42 $\mu\text{gSe/gSM}$), nekoliko manj pa sta ga vsebovala vzorca iz Prečne in Soteske (0,27 $\mu\text{gSe/gSM}$). Da rastline iz Žerovniščice 3 vsebujejo več Se kot rastline iz Prečne in Soteske je bilo pričakovano, saj je vzorčno mesto Žerovniščica 3 bolj obremenjeno kot preostali vzorčni mesti. Na desnem bregu vzorčnega mesta se namreč nahaja pašnik s konji, iz levega brega pa se v vodotok izcejajo komunalne vode iz cevi.

Zaledje ima pri privzemanju Se v rastlino pomembno vlogo, saj predstavlja različne vire onesnaževanja, kot so kmetijski objekti, pašniki ali pa vodotok obdajajo le gnojeni travniki.

Vzorčna mesta Lipsenj, Žerovniščica in Cerknjščica pripadajo trem različnim vodotokom, vendar so vsi trije vodotoki med seboj le nekoliko oddaljeni, imajo podobno globino in širino. Predvidevamo tudi, da imajo podobno matično podlago in so pritoki Cerknjškega jezera. Če primerjamo izmerjene vrednosti Se v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* iz omenjenih vodotokov, lahko vidimo, da v mesecu juliju največ Se vsebujejo rastline iz vzorčnega mesta Cerknjščica, sledijo mu rastline in vzorčnega mesta Žerovniščica 1 in nato vzorčno mesto Lipsenj. Glede na zaledje, so bili dobljeni rezultati nekoliko pričakovani: struga Cerknjščice je močno regulirana in v neposredni bližini se nahajajo kmetije, medtem ko je v neposredni bližini vzorčnega mesta Lipsenj le stanovanjska hiša, levi in desni breg struge pa obdajajo namakalni travniki.

Rezultate o vsebnosti Se v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu septembru iz izbranih vzorčnih mest med seboj težje primerjamo, saj se rastline med seboj razlikujejo po velikosti, kar je vplivalo tudi na drugačno pripravo vzorcev za merjenje vsebnosti Se.

Dosedanje raziskave, opravljene v Sloveniji, so pokazale, da *Veronica anagallis-aquatica* privzema največ Se v primerjavi z ostalimi makrofiti, ki uspevajo v istem okolju. V vrsti *Veronica anagallis-aquatica* je Nina Gerjevič leta 2009 izmerila 1,05 $\mu\text{gSe/gSM}$ (Gerjevič, 2012), leta 2011 pa so Mechora in sod. določili največjo vsebnost Se na vzorčnih mestih reke Žerovniščice, kjer je vrednost Se v omenjeni rastlini dosegla 1,51 $\mu\text{gSe/gSM}$ (Mechora in sod., 2014).

V obeh raziskavah so merili vsebnost Se v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* v celi rastlini, zato lahko podatke primerjamo le z rezultati meritev Se, ki smo ga prav tako določili v celi rastlini. Na vzorčnem mestu Žerovniščica 3 smo v mesecu septembru določili 0,42 $\mu\text{gSe/gSM}$ v celi rastlini, kar je v primerjavi z meritvami leta 2009, ko so na istem vzorčnem mestu določili 0,13 $\mu\text{gSe/gSM}$, kar 3-krat večja koncentracija (Gerjevič, 2012). Višje koncentracije Se leta 2013 lahko pripišemo drugačnemu razvojnemu stanju rastlin in njihovi velikosti, različnim klimatskim razmeram ali pa je vodotok bolj obremenjen s Se kot leta 2009.

Večjih primerjav med julijskim in septembrskim vzorčenjem ni moč narediti, saj so se rastline med seboj preveč razlikovale. Julijski in septembrski vzorci so bili v različnih razvojnih fazah in različnih velikosti. Prav tako lahko na privzem Se vplivajo klimatske razmere, hitrost vodnega toka, osvetljenost itd. Iz dobljenih rezultatov lahko le delno potrdimo, da bi bila vrsta *Veronica anagallis-aquatica* primerna za biomonitoring s selenom obremenjenih vodotokov. Da bi lahko z gotovostjo trdili, da je vrsta *Veronica anagallis-aquatica* primerna za biomonitoring s selenom obremenjenih vodotokov, bi bilo potrebno narediti več analiz rastlin, vode in sedimenta, tudi z območij, kjer je vpliv človeka manjši.

5.5 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA PREGLEDANIH VODOTOKOV

Izmerjeni fizikalni in kemijski parametri ter vsebnost suspendiranih snovi v vodi sovpadajo z okoljsko RCE oceno. Cerknjščica in Žerovniščica sta bili po naši oceni uvrščeni v V., najslabši RCE kakovostni razred. Zaledje obeh vzorčnih mest predstavljajo obdelovalne kmetijske površine, bregovi struge so umetno utrjeni, vodotok Žerovniščica je kanaliziran, medtem ko se na vzorčnem mestu Cerknjščice pojavljajo umetni posegi v samo strugo. Tudi obrežna vegetacija je tako ob Cerknjščici kot Žerovniščici dokaj neskljenjena, s posameznimi grmi in drugimi lesnatimi rastlinami. Na nizko koncentracijo kisika v

Cerkniščici so opozarjale tudi poginule ribe v vodotoku, visoka elektroprevodnost v Žerovniščici pa opozarja na povečan dotok hranil.

Vodotok Črmošnjica smo uvrstili v IV. RCE kakovostni razred. Izmerjeni fizikalni in kemijski parametri kažejo na izjemno slabo kakovostno stanje vodotoka (izredno nizka nasičenost z O₂, le 20,3%; nizka koncentracija O₂, le 1,8 mg/L ter najvišja izmerjena upornost, 4,587 kΩ), vendar lahko tako slabe rezultate pripišemo izjemno nizkemu vodostaju v mesecu juliju, meseca septembra pa je vodotok celo popolnoma presahnil. Obdajajo ga obdelovalne površine, v neposredni bližini se nahaja naselje, vzdolž struge so pogoste prekinitve obrežne vegetacije, pogosto pa je tudi spodjedanje brega. V tem vodotoku smo določili tudi najvišjo vsebnost Se v vodi, kar sovпада z okoljsko oceno vodotoka in izmerjenimi fizikalnimi in kemijskimi parametri.

V III. RCE kakovostni razred smo uvrstili Pšato, Temenico v Prečni in vodotok Radeščica. Suha masa suspendiranih snovi ter izmerjeni fizikalni in kemijski parametri bistveno ne odstopajo od vrednosti vodotokov, ki smo jih uvrstili v IV. RCE kakovostni razred, vendar pa je sama struktura rečnega brega bolj utrjena, strugo spremlja sklenjena obrežna vegetacija, spodjedanje brega pa ni vidno.

6 SKLEPI

1. hipoteza: Vsebnost Se se razlikuje med primerki vrste *Veronica anagallis-aquatica*, ki uspevajo v vodotokih z različno uporabo zemljišča v zaledju.

Vrsta *Veronica anagallis-aquatica* je v različnih vodotokih privzemala različne koncentracije Se. Eden izmed možnih razlogov je matična podlaga, po kateri teče vodotok, različne razvojne faze rastline ter vpliv človeka v zaledju. Če med seboj primerjamo vsebnost Se v rastlinah iz vzorčnih mest Cerkniščice, Žerovniščice in Lipsenjščice, ki predvidevamo, da imajo podobno matično podlago in so pritoki Cerkniškega jezera, lahko potrdimo našo hipotezo, da se vsebnost Se razlikuje med primerki vrste *Veronica anagallis-aquatica*, ki uspevajo v vodotokih z različno uporabo zemljišča v zaledju. Največ Se vsebujejo primerki iz Cerkniščice, kjer je vpliv človeka nekoliko večji kot v bližini vzorčnega mesta Lipsenjščice v vasi Lipsenj, ki od vseh treh vzorcev vsebujejo najmanj Se. Območje vzorčnega mesta Cerkniščice v Dolenji vasi obdaja kmetija, struga vodotoka je močno regulirana, medtem ko zaledje Lipsenjščice obdajajo le namakalni travniki in stanovanjska hiša. Zaledje vzorčnih mest ob vodotoku Žerovniščica obdaja naselje, pašnik s konji ter travniki. Med seboj smo primerjali le julijske vzorce, saj so bile nabrane rastline v mesecu septembru v različnih razvojnih fazah in jih je zato med seboj težje primerjati.

2. hipoteza: Predvidevamo, da bo vrsta *Veronica anagallis-aquatica* primerna za biomonitoring s selenom obremenjenih vodotokov.

Na podlagi dobljenih rezultatov lahko našo hipotezo le delno potrdimo, saj je za potrditev hipoteze v prihodnosti potrebno opraviti več določitev Se v rastlinah, vodi in sedimentu.

3. hipoteza: Vrsta *Veronica anagallis-aquatica* največ Se kopiči v koreninah in v listih, najmanj v steblih.

Iz dobljenih rezultatov lahko potrdimo našo hipotezo, da vrsta *Veronica anagallis-aquatica* največ Se kopiči v koreninah in v listih, najmanj pa v steblih.

Iz rezultatov je razvidna pozitivna korelacija med vsebnostjo Se v sedimentu in v listih vrste *Veronica anagallis-aquatica*. Na območjih, kjer je koncentracija Se v sedimentu večja, je večja koncentracija omenjenega elementa izmerjena tudi v listih rastline.

7 POVZETEK

Selen (Se) je naravni element v sledovih, ki je kot mikroelement esencialen za mnoge organizme in obenem strupen v večjih koncentracijah. Se se po naravni poti v okolje sprošča iz kamnin v procesu erozije, s spiranjem tal in preko bioloških procesov živih organizmov. Po zemlji je razporejen neenakomerno; večji del Evrope je v njegovem pomanjkanju. Se preko rastlin vstopa v prehranjevalno verigo. Ker krmne rastline vsebujejo malo Se, le ta pa vpliva na rast in reprodukcijo živali, so ga v osemdesetih letih prejšnjega stoletja začeli dodajati v krmo.

Zaradi nepopolne absorpcije Se v organizem živali, se Se neposredno ali posredno izloča v okolje. Onesnaženje vod, ki se stekajo iz kmetijstva, rudarstva in druge industrije lahko predstavlja velik okoljski problem.

Dosedanje raziskave so pokazale, da je vrsta vodni jetičnik, *Veronica anagallis-aquatica*, sposobna kopičiti večje koncentracije Se. Uvrščamo jo med amfibijske rastline, saj uspeva tako v vodi kot na kopnem.

V letu 2013 smo v mesecu juliju in septembru preiskovali 16 vzorčnih mest: Pšata-Bišče, Ložnica v Spodnji Ložnici, Temenica v vasi Grm, v Dolenjem Podborštu in v Prečni, Krka v Soteski in Dolenji vasi, Radeščica v Podhosti, Črmošnjica v vasi Grič, Cerknjščica v Dolenji vasi, 2 vzorčni mesti na vodotoku Lipsenjščica v vasi Lipsenj in 4 vzorčna mesta na vodotoku Žerovniščica v Žerovnici, vendar vrste *Veronica anagallis-aquatica* na vseh mestih nismo našli. V omenjenih vodotokih smo vzorčili vrsto *Veronica anagallis-aquatica* ter vodo in sediment iz vodotoka. S pomočjo RCE vprašalnika smo podali tudi širšo okoljsko oceno vodotoka. S pomočjo multimetra smo določili določene fizikalne in kemijske parametre vodotoka.

Vodo smo prefiltrirali skozi Büchnerjev lij. Uporabili smo celulozno-acetatne (Sartorius Stedim Biotech GmbH) oziroma nitratno-celulozne (Macherey-Nagel, Porafil NC) filtre s premerom por 0,45 μ m. Prefiltrirali smo 1 liter vzorčne vode, odmerili 250 mL, ji dodali 0,4 mL HNO₃ raztopine in shranili v hladilnik. Filtre smo po filtraciji shranili v petrijevke in jih čez noč zračno posušili. Nato smo jih sušili še v sušilniku in določili suho maso suspendiranih snovi s pomočjo tehtanja filtrov.

Vzorci sedimenta smo sušili v prostoru pri 28 °C nekaj dni. Pred sušenjem smo iz sedimenta odstranili vse primesi. Ko so bili vzorci suhi, smo jih presejali skozi sito, s premerom por 1 mm ter del vzorca zmleli v ahatnem planetarnem mikro mlinu (FRITSCH, Pulverisette 7).

Vzorci rastlin smo dobro očistili, posušili v liofilizatorju, in jih zmleli v ahatnem planetarnem mikro mlinu (FRITSCH, Pulverisette 7).

Pred merjenjem Se v vzorcih sedimenta in vzorcih rastlinske vrste *Veronica anagallis-aquatica*, smo opravili razkroj vzorcev v laboratorijski mikrovalovni pečici (ETHOS, Milestone). Vsebnost Se v vzorcih vode, sedimenta in rastlin smo določili z ICP-MS metodo.

Koncentracije Se v vodi so nihale med 0,05 µgSe/L in 0,28 µgSe/L. V sedimentu smo določili do 0,69 µSe/g, v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* pa smo največ Se določili v koreninah (0,24-0,76 µSe/g), nato v listih (0,03-0,32 µSe/g) in najmanj v steblih (0,02-0,08 µSe/g). Opazili smo tudi pozitivno korelacijo med vsebnostjo Se v sedimentu in listih vrste *Veronica anagallis-aquatica*.

Glede na širšo okoljsko oceno, smo vodotoke uvrstili v III., IV. in V. kakovostni razred. Vsa vzorčna mesta so v neposredni bližini kmetijskih površin ali urbanih naselij. Iz rezultatov je razvidno, da se vsebnost Se razlikuje med primerki vrste *Veronica anagallis-aquatica*, ki uspevajo v vodotokih z različno uporabo zemljišča v zaledju.

Želeli smo ugotoviti, ali se vsebnost selena v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* razlikuje med vzorčnimi mesti z manjšim vplivom človeka in mesti, kjer je vpliv človeka večji; ali je vrsta *Veronica anagallis-aquatica* primerna za bioindikacijo selena v slovenskih vodotokih ter kakšna je razporeditev selena v omenjeni vrsti.

Iz dobljenih rezultatov vidimo, da se vsebnost Se v vrsti *Veronica anagallis-aquatica* razlikuje med vzorčnimi mesti z različno uporabo zemljišč v zaledju: več Se vsebujejo rastline iz vodotokov, kjer je v okolici vpliv človeka večji. Vrsta *Veronica anagallis-aquatica* največ Se kopiči v koreninah in v listih ter najmanj v steblih; delno pa lahko potrdimo tudi našo hipotezo, ki pravi, da je vrsta *Veronica anagallis-aquatica* primerna za biomonitoring s Se obremenjenih vodotokov. Za potrditev omenjene hipoteze bi bilo potrebno večletno spremljanje vsebnosti Se v rastlinah, vodi in sedimentu.

8 LITERATURA

- Agencija Republike Slovenije za okolje. 2013. Naše okolje: Bilten Agencije RS za okolje, julij, 2013. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje: 72 str.
- Allan, J.D., Castillo, M.M. 2007. Stream Ecology: Structure and Function of running waters. 2nd ed. Dordrecht, Springer: 74 str.
- Anderson, J.W. 1993. Selenium interactions in sulfur metabolism. V: De Kok LJ, ed. Sulfur nutrition and assimilation in higher plants-regulatory, agricultural and environmental aspects. Amsterdam: SPB Academic Publishing: 49-60
- Boyd, R.S. 2007. The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions. *Plant Doil*, 293: 153-176
- Brenčič, J., Lazarini, F. 1995. Splošna in anorganska kemija. Ljubljana, DZS: 220 str.
- Brown, K.M., Arthur, J.R. 2001. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutrition*, 4: 593-599
- Chung, I.H., Jeng, S.S. 1974. Heavy metal pollution of Ta-Tu River. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 13: 69-73
- Combs, Jr. G.F. 2001. Selenium in global food System. *British Journal of Nutrition*, 85: 517-547
- Conley, J.M. 2012. Evaluation of selenium in biotic and abiotic ecosystem components of the upper Blackfoot River Watershed. Greater Yellowstone Coalition, Idaho, North Carolina State University, Department of Environmental and Molecular Toxicology: 36 str.
- Council Directive 2004/C 50/01 (70/524/EEC). List of the authorised additives in feedingstuffs published in application of Article 9t (b) of Council Directive 70/524/EEC concerning additives in feedingstuffs
http://faolex.fao.org/cgi-bin/faolex.exe?rec_id=032840&database=faolex&search_type=link&table=result&lang=eng&format_name=@ERALL (30. 9. 2014)
- Devlin, R.M. 1967. *Plant Physiology*. New York, Reinhold: 564 str.

Fordyce, F.M. 2013. Selenium deficiency and toxicity in the environment. V: Selenius, Olle, (ed.). *Essentials of Medical Geology*. Revised ed.: 375-416

Föstner, U., Whittman, G.T.W. 1979. *Metal pollution in the aquatic environment*. Berlin, Springer: 486 str.

Fox, A.M. 1992. *Macrophytes*. V: Calow P. and Geoffrey E. P. (Eds.). *The Rivers Handbook*, Volume 1, Blackwell Scientific: 216–346

Galeas, M.L., Zhang, L.H., Freeman, J.L., Wegner, M., Pilon-Smits, E.A.H. 2007. Seasonal fluctuations of selenium and sulfur accumulation in selenium hyperaccumulators and related non-accumulators. *New Phytologist*, 173: 517-525

Gerjevič, N. 2012. Vsebnost selena pri makrofitih na Dolenjskem in Notranjskem. *Diplomsko delo*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 58 str.

Germ, M. 2013. *Biologija vodnih rastlin: učbenik*. Ljubljana, samozaložba: 58 str.

Germ, M., Gaberščik, A., Urbanc-Berčič, O. 2000. The wider environmental assessment of river ecosystems (Širša okoljska ocena rečnega ekosistema). *Acta biologica slovenica*, 43: 13-19

Germ, M., Stibilj, V. 2007. Selenium and plants. *Acta agriculturae Slovenica*, 89: 65-71

Hutchinson, G.E. 1975. *A Treatise on Limnology*. Volume III. *Limnological Botany*. New York, John Wiley & Sons Inc.: 660 str.

Hravtin, M. 2010. Ljubljana. DEDI - digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem

<http://www.dedi.si/dediscina/383-ljubljana> (3. 9. 2014)

Hu, X., Wang, F., Hanson, M.L. 2009. Selenium concentration, speciation and behavior in surface waters of the Canadian prairies. *Science of the Total Environment*, 407: 5869-5876

Inagaki, K., Takatsu, A., Nakama, A., Eyama, S., Yarita, T., Okamoto, K., Chiba, K. 2006. Determination of selenium in sediment by isotope-dilution inductively coupled plasma mass spectrometry with an octapole reaction cell. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 385: 67-75

Kabata-Pendias, A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. Taylor & Francis Group, LLC: 367 str.

La Rocca, N., Andreoli C., Giacometti, G.M., Rascio, N., Moro, I. 2009. Responses of the Antarctic microalga *Koliella antartica* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) to cadmium contamination. *Photosynthetica*, 47: 471-479

Lakin, H.W. 1973. Selenium in Our Environment. V: E.L. Kothny (ed.). American Chemical Society, Washington, Advances in Chemistry Series 123: 96-111

Lemly, A.D. 2004. Aquatic selenium pollution is a global environmental safety issue. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59: 44-56

Lemly, A.D. 2007. A Procedure for NEPA Assessment of Selenium Hazards Associated With Mining. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125: 361-375

Maberly, S.C., Spence, D.H.N. 1989. Photosynthesis and photorespiration in freshwater organisms: amphibious plants. *Aquatic Botany*, 34: 267-286

Madsen, J.D., Chambers, P.A., James, W.F., Koch, E.W., Westlake, D.F. 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*, 444: 71-84

Martinčič, A., Wraber, T., Jogan, N., Podobnik, A., Turk, B., Vreš, B., Ravnik, V., Frajman, B., Strgulc Krajšek, S., Trčak, B., Bačič, T., Fischer, M.A., Eler, K., Surina, B. 2007. Mala flora Slovenije: ključ za določanje praprotnic in semenk. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 562 str.

May, T.W., Fairchild, J.F., Petty, J.D., Walther, M.J, Lucero, J., Delvaux, M., Manring, J., Armbruster, M. 2008. An evaluation of selenium concentrations in water, sediment, invertebrates, and fish from the Solomon River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 137: 213-232

Mechora, Š. 2013. Vpliv selena na izbrane kmetijske in vodne rastline. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 118 str.

Mechora, Š., Germ, M., Stibilj, V. 2014. Monitoring of selenium in macrophytes-the case of Slovenia. *Chemosphere*, 111: 464-470

Mihelič, R., Čop, J., Jakše, M., Štampar, F., Majer, D., Tojnko, S., Vršič, S. 2010. Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano

http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/publikacije/Program_razvoja_podezelja/smernice09_skupaj_april_2011.pdf (2. 10. 2014)

Navari-Izzo, F., Pinzino, C., Quartacci, M.F., Sgherri, C. 1999. Superoxide and hydroxyl radical generation, and superoxide dismutase in PSII membrane fragments from wheat. *Free Radical Research*, 31: S3-9

Navari-Izzo, F., Quartacci, M.F., Pinzino, C., Dalla Vecchia, F., Sgherri, C. 1998. Thylakoid-bound and stromal antioxidative enzymes in wheat treated with excess of copper. *Physiologia Plantarum*, 104: 630-638

Onderka, M., Pekarova, P. 2008. Retrieval of suspended particulate matter concentrations in the Danube River from Landsat ETM data. *Science of the Total Environment*, 397: 238-243

Pagliano, C., Raviolo, M., Dalla Vecchia, F., Gabrielli, R., Gonnelli, C., Rascio, N., Barbato, R., La Rocca, N. 2006. Evidence for PSII-donor-side damage and photoinhibition induced by cadmium treatment on rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Photochemistry and Photobiology B, Biology*, 84: 70-78

Pajević, S., Borišev, M., Rončević S., Vukov, D., Igić, R. 2008. Heavy metal accumulation of Danube river aquatic plants-indication of chemical contamination. *Central European Journal of Biology*, 3: 285-294

Patterson, M.M., Paige, G.B., Reddy, K.J. 2010. Selenium in surface and irrigation water in the Kendrick irrigation district, Wyoming. *Environmental monitoring and assessment*, 171: 267-280

Petersen, R.C. 1992. The RCE: a Riparian, Channel, and Environmental for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*, 27: 295-306

Pirc, S., Šajn, R. 1997. Vloga geologije v ugotavljanju kemične obremenitve okolja. Projekt Evropskega leta varstva narave 1995: Kemizacija okolja in življenja – do katere meje. Ljubljana, Slovensko ekološko društvo: 165–185

Pravilnik o pitni vodi, Uradni list RS, št. 19/2004. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (Uradni list RS, št. 52/00 in 42/02) http://www.uradni-list.si/files/RS_-2004-019-00865-OB~P001-0000.PDF#!/pdf (22. 10. 2014)

Quartacci, M.F., Cosi, E., Navari-Izzo, F. 2001. Lipids and NADPH-dependent superoxide production in plasma membrane vesicles from roots of wheat grown under copper deficiency and excess. *Journal of Experimental Botany*, 152: 67-75

Quinn, C.F., Freeman, J.L., Galeas, M.L., Klamper, E.M., Pilon-Smits, E.A.H. 2008. The role of selenium in protecting plants against prairie dog herbivory: implications for the evolution of selenium hyperaccumulation. *Oecologia*, 155: 267-275

Rascio, N. 1977. Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos*, 29: 250-253

Rascio, N., Navari-Izzo, F. 2010. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?. *Plant Science*, 180: 169-181

Rayman, M.P. 2000. The Importance of Selenium to Human Health. Centre for Nutrition and Food Safety. *Lancet*, 356: 233-241

Rayman, M.P. 2012. Selenium and human health. *Lancet*, 379: 1256-1268

Reilly, C. 1996. *Selenium in Food and Health*. 1st ed. London, Blackie Academic and Professional: 338 str.

Reilly, C. 2006. *Selenium in Food and Health*. 2nd ed. New York, Springer: 206 str.

Saiki, M.K., Lowe, T.P. 1987. Selenium in aquatic organisms from subsurface agricultural drainage water, San Joaquin Valley, California. *Archives of environmental contamination and toxicology* 16: 657-670

Slovenian Regulations the Sanitary Suitability, UL RS no. 33/01. 2002. Uradni list 65

Stadtman, T.C. 1990. Selenium biochemistry. *Annual Reviews in Biochemistry*, 59: 111-127

Statistični urad republike Slovenije

<http://www.stat.si/StatWeb/pregled-podrocja?id=120&headerbar=9> (2. 10. 2014)

Stergaršek, J., Vasilevska, T., Drobnič, S., Vončina Gnezda, M., Schein, V., Likar, I. 2009. Cvet skrivnosti: vodnik po rastlinskem svetu Cerkniškega jezera in okolice. Cerknica, Abakos d.o.o.: 152 str.

Stuart, L.D., Oehme, F.W. 1982. Environmental factors in bovine and porcine abortion. *Veterinary and human toxicology*, 24: 435-441

Tan, J.A., Zhu, W.Y., Wang, W.Y., Li, R.B., Hou, S.F., Wang, D.C., Yang, L.S. 2002. Selenium in soil and endemic diseases in China. *Science of the Total Environment*, 284: 227-235

Tang, W., Shan, B., Zhang, H., Mao, Z. 2009. Heavy metal sources and associated risk in response to agricultural intensification in the estuarine sediments of Chaohu Lake Valley, East China. *Journal of Hazardous Materials*, 176: 945-951

Terry, N., Zayed, A.M., de Souza, M.P., Tarun, A.S. 2000. Selenium in higher plants. *Annual Review on Plant Physiology and Molecular Biology*, 51: 401-432

Tveitnes, S., Singh, B.R., Ruud, L. 1996. Selenium concentration in spring wheat as influenced by basal application and top dressing of selenium-enriched fertilizers. *Fertilizer Research*, 45: 163-167

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o stanju površinskih voda, Uradni List RS, št. 98/2010. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08 in 108/09)

http://www.uradni-list.si/files/RS_-2010-098-05091-OB~P003-0000.PDF#!/pdf

(16. 5. 2014)

USDO. 1998. Guidelines for interpretation of the biological effects of selected constituents in biota, water, and sediment. National Irrigation Water Quality Program Information Report No. 3. Denver, United States department of the interior: 198 str.

Valdez-Barillas, J.R., Quinn, C.F., Pilon-Smits, E.A.H. 2011. Selenium accumulation in plants-phytotechnological applications and ecological implications. *International Journal of Phytoremediation*, 13: 1-13

Vardanyan L.G., Ingole, B.S. 2006. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake system. *Environment International* 32: 208-218

Verbruggen, N., Hermans, C., Schat, H. 2009. MOlecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytologist*, 181: 759-776

Vinceti, M., Cann, C.I., Calzolari, E., Vivoli, R., Garavelli, L., Bergomi, M. 2000. Reproductive outcomes in a population exposed long-term to inorganic selenium via drinking water. *Science of the Total Environment*, 250: 1-7

Wang, D., Alfthan, G., Aro, A., Lahermo, P., Väänänen, P. 1994. The impact of selenium fertilisation on the distribution of selenium in rivers in Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 50: 133-149

Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. Philadelphia, W.B. Saunders, Co.: 734 str.

Wikipedia, Cerknjščica

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Cerkni%C5%A1%C4%8Dica> (3. 9. 2014)

Wikipedia, Krka

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Krka> (2. 9. 2014)

Wikipedia, Lipsenjščica

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Lipsenj%C5%A1%C4%8Dica> (3. 9. 2014)

Wikipedia, Ložnica

http://sl.wikipedia.org/wiki/Lo%C5%BEnica_%28Savinja%29 (2. 9. 2014)

Wikipedia, Pšata

<http://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1ata> (2. 9. 2014)

Wikipedia, Temenica

http://sl.wikipedia.org/wiki/Temenica_%28reka%29 (2. 9. 2014)

Wikipedia, Žerovniščica

<http://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%BDerovni%C5%A1%C4%8Dica> (3. 9. 2014)

Zhang, H., Feng, X., Larssen, T. 2014. Selenium Speciation, Distribution, and Transport in a River Catchment Affected by Mercury Mining and Smelting in Wanshan, China. *Applied Geochemistry*, 40: 1-10

Zhang, P., Sparks, D.L. 1990. Kinetics of selenate and selenite adsorption/desorption at the goethite/water interface. *Environmental Science & Tehnology*, 24: 1848-1856

Zhu, Y.G., Elizabeth, A.H., Pilon-Smits, Zhao, F.J., Williams, P.N., Meharg, A.A. 2009. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. *Trends in Plant Science*: 436-442

ZAHVALA

Preprosto HVALA vsem, ki ste me spremljali na mojem popotovanju skozi študij biologije:

Mentorici prof. dr. Mateji Germ se iskreno zahvaljujem za priložnost opravljanja magistrske naloge, za vso pomoč in nasvete pri pisanju ter za vse spodbudne besede, ki so me spremljale vse do konca magisterija.

Somentorici prof. dr. Vekoslavi Stibilj sem hvaležna za vso pomoč in izkušnje, ki sem jih med opravljanjem naloge pridobila na Institutu Jožefa Stefana. Iskrena hvala za neprecenljivo priložnost opravljanja magisterija na Institutu Jožefa Stefana, za ves čas, trud, potrpežljivost in ne nazadnje za vsa pridobljena znanja.

Hvala Ani Kroflič za vso pomoč v laboratoriju, za nasvete in dobro voljo; po večurnih razkrojih vzorcev je tako čas hitreje mineval.

Hvala Draganu Abramcu za pomoč pri obdelavi podatkov, prof. dr. Ivanu Kreftu in prof. dr. Alenki Gaberščik za vse nasvete in spodbudo pri opravljanju magistrskega dela.

Iskreno se zahvaljujem tudi moji družini, ki mi je ves čas študija stala ob strani. Še posebno sem hvaležna očetu Martinu za vso pomoč na terenu. Iskrena HVALA za ves njegov čas, ki ga je posvetil moji nalogi.

Na koncu se zahvaljujem tudi vsem sošolcem in prijateljem, ki so skupaj z mano tekom študija pisali nepozabne zgodbe ter odkrivali nove teorije življenja, ki jih pozna samo generacija ekologov 2012!

PRILOGE

Priloga A: Pogoji merjenja na instrumentu ICP-MS (7500 ce Agilent Technologies, Tokio, Japonska), meje detekcije in ujemanje certificiranih vrednosti z izmerjenimi

parameter	vrednost		
	voda	sediment	makrofit
razpršilec	Micro Mist	Babington	Babington
plazma			
RF moč (W)	1500	1500	1500
zunANJI pretok argona (L min ⁻¹)	15	15	15
nosilni pretok argona (L min ⁻¹)	0.82	0.9	0.9
maskirni pretok argona (L min ⁻¹)	0.18	0.1	0.1
oktopolska reakcijska celica			
pretok H ₂ (mL min ⁻¹)	4	4	4
parametri merjenja			
m/z	⁷⁸ Se	⁷⁷ Se	⁷⁸ Se
integracijski čas (s)	0.3	0.2	0.2
meja detekcije	0,008 µg/L	0,27 µg/g	0,004 µg/g
referenčni material	NIST 1643e	BCR-320R	NIST 1570a
dobljene vrednosti	10,74 ± 0.44	0,99 ± 0.23	0,13 ± 0.02
certificirane vrednosti	11.68 ± 0.13	0.96 ± 0.18	0.12 ± 0.01
št. določitev (referenc)	4	4	13

Priloga B1: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v posameznih rastlinskih delih vrste *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu juliju iz preučevanih vodotokov

Vzorčno mesto	Korenina	Steblo	Listi	Steblo in listi	Cela rastlina
Pšata	/	/	/	/	0,3
Temenica- Prečna	0,63	0,06	0,13	/	/
Krka- Soteska	0,35	0,08	0,19	/	/
Radeščica	0,69	/	/	0,12	/
Črmošnjica	0,47	/	/	0,07	/
Cerkniščica	0,76	0,02	0,05	/	/
Lipsenj- vzor.mesto	0,53	0,03	0,05	/	/
Žerovniščica 1	0,7	0,02	0,05	/	/
Žerovniščica 2	0,3	/	/	0,02	/
Žerovniščica 3	0,37	0,03	0,06	/	/
Žerovniščica 4	0,42	0,08	0,18	/	/

Priloga B2: Vsebnost Se [$\mu\text{g/g}$] v posameznih rastlinskih delih vrste *Veronica anagallis-aquatica* v mesecu septembru iz preučevanih vodotokov

Vzorčno mesto	Korenina	Steblo in korenina	Steblo	Listi	Cela rastlina
Pšata	/	0,06	/	0,08	/
Temenica- Prečna	/	/	/	/	0,27
Krka- Soteska	/	/	/	/	0,27
Krka- K. vas	/	0,06	/	0,03	/
Radeščica	/	0,49	/	0,22	/
Cerkniščica	0,24	/	0,02	0,06	/
Lipsenj- vzor.mesto	0,69	/	0,03	0,03	/
Žerovniščica 1	/	0,48	/	0,32	/
Žerovniščica 2	/	0,28	/	0,15	/
Žerovniščica 3	/	/	/	/	0,42
Žerovniščica 4	/	0,51	/	0,24	/

Priloga C: Prilagojen RCE vprašalnik

1. Izraba tal za obrežnim pasom (v zaledju struge)

Zaledje poraslo z gozdom in/ali močvirji.	30
Mozaik košenih travnikov/pašnikov, gozdov/močvirij ter malo obdelovalnih površin.	20
Obdelovalne površine, košeni travniki/pašniki, posamezne hiše.	10
Prevladujejo obdelovalne površine ali strnjeno urbano območje (hiše, tovarne).	1

2. Širina obrežnega (blažilnega) pasu (od roba vodotoka do kmetijskih površin ali naselja)

Močviren ali z lesnatimi rastlinami porasel pas širok več kot 30 m.	30
Močviren ali z lesnatimi rastlinami porasel pas širok od 5 do 30 m	20
Močviren ali z lesnatimi rastlinami porasel pas širok 1 do 5 m.	5
Močvirskih ali lesnatih rastlin ni.	1

3. Sklenjenost vegetacije v obrežnem pasu

Vegetacija obrežnega pasu brez prekinitev.	30
Prekinitve vegetacije se pojavljajo v intervalih, večjih od 50 m.	20
Prekinitve vegetacije se pojavljajo vsakih 50 m.	5
Prekinitve pogoste, vzdolž celotne struge/obrežnega pasu ni.	1

4. Vegetacija pasu 0-10 m od struge

Več kot 90% poraščeno z nepionirskimi lesnatimi vrstami ali močvirskimi rastlinami.	25
Vegetacijo sestavljajo pionirske vrste dreves in grmov.	15
Vegetacijo sestavljajo trave in posamezna drevesa ali grmi.	5
Večinoma trave, posamezni grmi/tujerodne vrste/urbane površine/vodotok kanaliziran.	1

5. Zadrževalne strukture v strugi

Skale in stara debla, trdno zasidrani v dno, ni usedlin.	15
Skale in debla, za katerimi se odlagajo usedline.	10
Zadrževalne strukture rahlo zasidrane; ob poplavih se premikajo.	5
Peščene naplavine, zadrževalnih struktur malo.	1

6. Oblika struge

Zadošča za najvišje letne pretoke, razmerje širina/globina manj kot 7.	15
Redko preplavljeni bregovi, razmerje širina/globina 8 do 15.	10
Poplave ob zmerni količini vode, razmerje širina/globina 15 do 25.	5
Poplave pogoste, razmerje širina/globina več kot 25/vodotok kanaliziran.	1

7. Usedline v strugi

Odlaganje usedlin majhno, na povečanje struge nima vpliva.	15
Nekaj ovir iz robotih skal in prodnikov ter malo mulja.	10
Ovire iz skal, peska ali muljastih naplavin pogoste.	5
Struga deljena v preplete/vodotok kanaliziran.	1

8. Struktura rečnega brega

Breg stabilen, kamnit ali čvrsto utrjen s koreninami trav, grmovja in dreves.	25
Breg trden, korenine trav, grmovja in dreves ga le delno utrjujejo.	15
Breg iz rahle prsti, nekoliko utrjen z redkim slojem rastlin.	5
Breg nestabilen, iz rahle prsti ali peska, tok ga spodjeda/breg je umetno utrjen.	1

9. Spodjedanje brega

Ni vidno ali pa je omejeno na območja, kjer so korenine dreves.	20
Samo na rečnih zavojih in zožitvah.	15
Spodjedanje brega pogosto.	5
Močno spodjedanje vzdolž struge, breg se ruši/breg je umetno utrjen.	1

10. Dno vodotoka

Kamnito dno, sestavljeno iz delcev različnih velikosti z očitnimi intersticielnimi prostori	25
Lahko gibljivo kamnito dno z malo mulja.	15
Dno iz mulja, peska in gramoza; stabilno na nekaterih mestih.	5
Dno iz rahlo sprijetega peska in mulja, kamnitega substrata ni.	1

11. Pojavljanje brzic, tolmunov in meandrov

Jasno vidni, prisotni na razdaljah od 5-7kratne širine vodotoka.	25
Nepravilno razporejeni.	20
Dolge tolmane ločujejo kratke brzice, meandrov ni.	10
Brzic, tolmunov in meandrov ni/vodotok kanaliziran.	1

12. Detrit

Prevladujeta listje in les, sedimenta ni.	25
Nekaj listja in lesa ter nekaj drobnega organskega materiala, sedimenta ni.	10
Listja in lesa ni, prisotni grobi in fini organski delci, pomešani s sedimentom.	5
Fin, anaeroben sediment, brez grobih delcev.	1

Vrednotenje rezultatov:

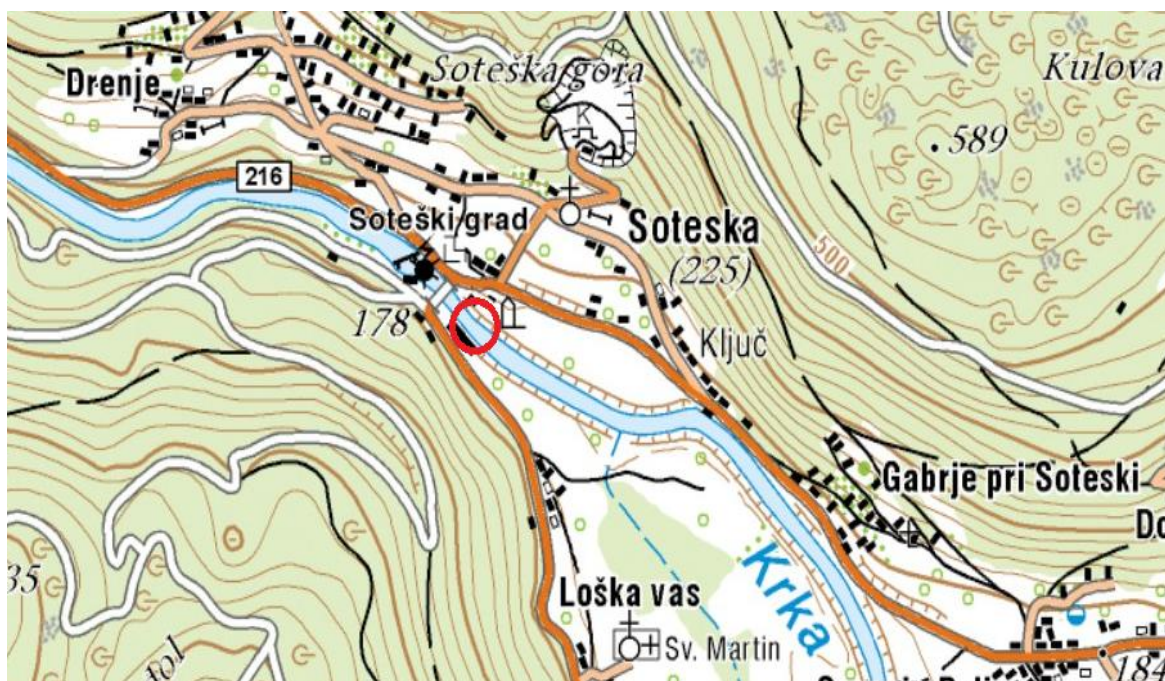
Razred	Št. točk	Ocena	Barva	Priporočena dejavnost
I	227-280	odlično	modra	biomonitoring in zaščita obstoječega stanja – referenčna lokacija
II	173-226	zelo dobro	zelena	potrebne so spremembe na posameznih odsekih
III	119-172	dobro	rumena	potrebne so manjše spremembe vzdolž večjega dela struge
IV	65-118	slabo	rjava	potrebne so večje spremembe struge in blaženje učinkov iz zaledja
V	12-64	zelo slabo	rdeča	potrebna je reorganizacija struge in blaženje učinkov iz zaledja

Priloga D1: Območje vodotoka Pšata v vasi Bišče z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x470382_y106204_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D2: Območje vodotoka Krka v vasi Soteska z označenim vzorčnim mestom



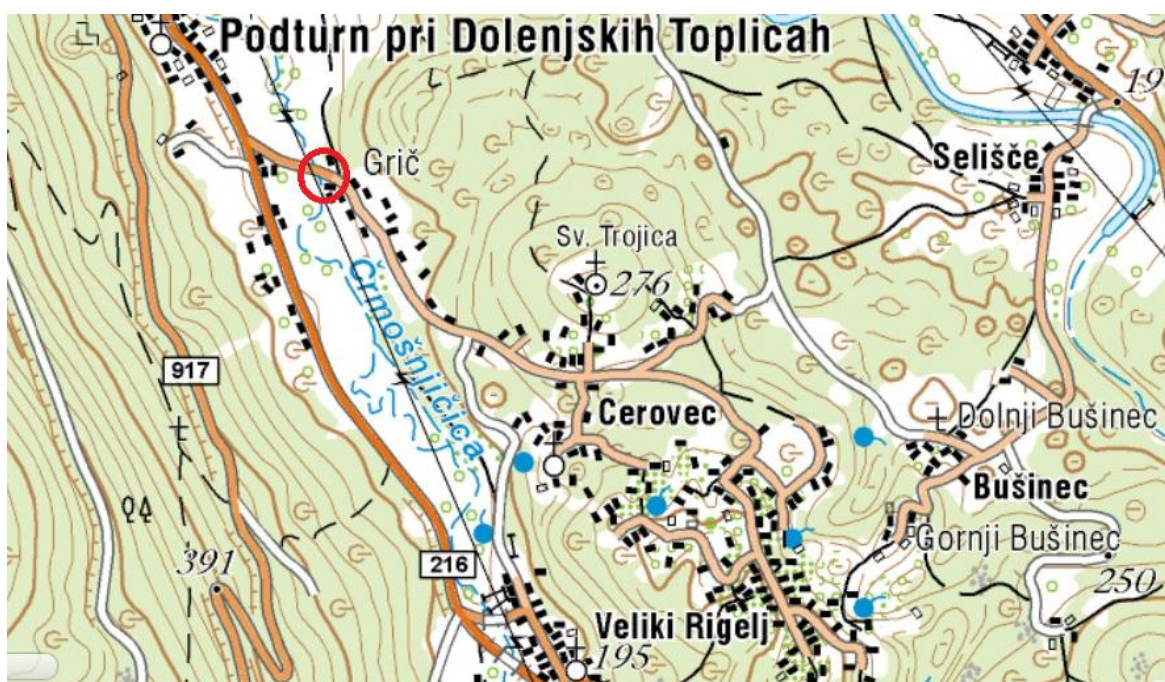
Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x502122.123_y70401.679_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D3: Območje vodotoka Radeščica v vasi Podhosta z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x503573.436_y68054.49_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D4: Območje vodotoka Črmošnjčica v vasi Grič z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x504672.024_y65306.003_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D5: Območje vodotoka Temenica v vasi Prečna z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x509878.628_y74206.596_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D6: Območje vodotoka Krka v Krški vasi z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x544439.5_y82987.609_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D7: Območje vodotoka Temenica v vasi Dolenji Podboršt z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x506912.118_y78094.172_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D8: Območje vodotoka Temenica v vasi Grm z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x504249.359_y83324.574_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D9: Območje vodotoka Ložnica v vasi Spodnja Ložnica z označenim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x550314.901_y132588.6_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D10: Območje vodotoka Cerknjščica v Dolenji vasi z označnim vzorčnim mestom



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x449585.25_y71230.144_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D11: Območje vodotoka Lipsenjščica v vasi Lipsenj z označenima vzorčnima mestoma: Lipsenj 1 in Lipsenj 2



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x456346.594_y67287.352_s15_b4 (3.4.2015)

Priloga D12: Območje vodotoka Žerovniščica v vasi Žerovnica z označenimi vzorčnimi mesti: 1, 2, 3 in 4



Vir: http://www.geopedia.si/#T105_x455874.594_y68661.352_s15_b4 (3.4.2015)