

UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

**PODZEMNA VODNA FAVNA KOT INDIKATOR
HIDROGEOLOŠKIH LASTNOSTI KRAŠKEGA
VODONOSNIKA**

DIPLOMSKO DELO

Maja OPALIČKI

Mentorja: prof. dr. Anton Brancelj in dr. Nataša Mori

Nova Gorica, 2013

IZJAVA

Izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Rezultati, ki so nastali v okviru skupnega raziskovanja z drugimi raziskovalci, ali so jih prispevali drugi raziskovalci (strokovnjaki), so eksplicitno prikazani oziroma navedeni (citirani) v diplomskem delu.

Maja Opalički

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mojima mentorjema dr. Nataši Mori in prof. dr. Antonu Branciju za vso pomoč in strokovne nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se osebju na Nacionalnem inštitutu za biologijo, kjer sem lahko opravljala laboratorijsko delo, še posebej Andreji Jerebic za opravljene kemijske analize, Tini Leskošek in dr. Ireni Bertoncelj za pomoč na terenu ter Allenu Wei Liu za izdelavo zemljevida raziskovanega območja. Zahvaljujem se Marjanu Batu iz Agencije RS za okolje za posredovanje informacij o pretokih reke in temperaturah raziskovanega območja.

Zahvaljujem se mojim domačim in prijateljem, ki so mi stali ob strani ves čas študija in me spodbujali pri nastajanju tega raziskovalnega dela.

POVZETEK

V diplomskem delu smo testirali uporabnost podzemne vodne favne kot bioindikatorja za oceno hidrogeoloških lastnosti Pokljuškega kraškega vodonosnika. Izbrali smo en stalen in dva občasna izvira ter v mesečnih presledkih od decembra 2010 do januarja 2012 vzorčili podzemno vodno favno, ki se z driftom spira iz vodonosnika. Ker je ekologija in razširjenost podzemnih vrst nižjih rakov razmeroma slabo poznana, smo s Hessovim vzorčevalnikom vzorčili tudi bentos potoka Lipnik, in sicer od stalnega izvira do izliva v reko Radovno. Tako smo preverili ali so vrste, ki z driftom prehajajo iz vodonosnika v površinske vode, sposobne vzdrževati vitalne populacije tudi izven vodonosnika ali pa so vezane izključno na podzemlje. Vzporedno z biološkimi analizami smo izvedli tudi fizikalne in kemijske analize vzorcev vode, tako iz stalnega kot enega občasnega izvira. Ob vzorčenju smo ocenili tudi hitrost vodnega toka v izviri in si zabeležili nivo vodostaja. Skupno smo našli 23 vrst ceponožcev in dvoklopnikov, od tega 12 v driftu in 20 v bentosu. Najbolj številčne vrste v driftu so bile *Elaphoidella phreatica*, *Diacyclops zschokkei*, *Bryocamptus dacicus* in *Mixtacandona* sp. B. in v bentosu *Psychrodromus fontinalis*, *Bryocamptus dacicus*, *Bryocamptus zschokkei* in *Atheyella wierzejskii*. Dokazali smo tudi, da se drift v vrstni pestrosti in sestavi razlikuje med stalnim in občasnim izviroma. Biotski indeksi so pokazali, da je združba v stalnem izviru pestrejša, multivariatna analiza pa je pokazala razlike v sestavi med vsemi tremi izviri. Favna bentosa se po sestavi in številu vrst razlikuje od podzemne vodne favne. Določili smo indikatorske vrste v driftu iz stalnega izvira (*Moraria alpina* in *Mixtacandona* sp. C.) in za bentos (*Psychrodromus fontinalis*, *Bryocamptus zschokkei* in *Paracyclops fimbriatus*), za občasna izvira pa indikatorskih vrst iz pridobljenih podatkov nismo mogli določiti.

KLJUČNE BESEDE: kraški vodonosnik, izvir Lipnik, podzemna vodna favna, vzorčenje drifta in bentosa

SUMMARY

In this graduate thesis we tested the potential applicability of groundwater fauna as bioindicator of hydrogeological characteristics of the alpine karstic aquifer in Pokljuka. We sampled drift in one permanent and two temporal outlets of the spring Lipnik over one year period (December 2010 to January 2012) in order to obtain groundwater fauna from the aquifer. Additionally, we tested whether are the species drifting from the aquifer capable of establishing the viable populations also in the surface waters or they are restricted to the groundwater. Hence, we collected benthic samples from the Lipnik brook with the Hess sampler and compared the species composition with the drift. We also carried out physical and chemical analysis of the water from both, the permanent and temporal outlets. Additionally, we measured the flow velocity of the outlets and monitored the water level. We recorded 23 species, 12 of which were in drift samples and 20 in the brook benthos. The most abundant species occurring in the drift were *Elaphoidella phreatica*, *Diacyclops zschokkei*, *Bryocamptus dacicus* and *Mixtacandona* sp. B., and the most abundant species occurring in the benthos were *Psychrodromus fontinalis*, *Bryocamptus dacicus*, *Bryocamptus zschokkei* and *Atheyella wierzejskii*. We have shown that the diversity and species composition are different between the outlets. The biotic indices revealed that the groundwater fauna in the permanent outlet is richer and more diverse than that of the temporal outlet, and multivariate analysis indicated different species composition. Similarly, the fauna in the benthos is different from the groundwater fauna in a number of species and species composition. We defined bioindicators for the permanent outlet (*Moraria alpina* and *Mixtacandona* sp. C.) and for the benthos (*Psychrodromus fontinalis*, *Bryocamptus zschokkei* and *Paracyclops fimbriatus*). However, we were not able to define bioindicators for the temporal outlets.

KEY WORDS: karst aquifer, Lipnik spring, groundwater fauna, drift and benthic sampling

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNE OSNOVE.....	3
2.1	Kras in podzemna vodna favna	3
2.1.1	Kras v Sloveniji	3
2.1.2	Kraški vodonosniki in kraški izviri	4
2.1.3	Ekologija podzemnih voda	7
2.1.4	Podzemna vodna favna Slovenije	7
2.2	Biomonitoring kraške podzemne vodne favne	10
2.2.1	Vzorčenje plitvih kraških vodonosnikov	11
2.2.2	Vzorčenje globljih kraških vodonosnikov	12
2.2.3	Vzorčenje v jamah	12
2.3	Ogroženost kraških vodonosnikov in njihovo upravljanje	12
2.3.1	Študija primera: Izvir Lipnik	14
3	PRAKTIČNI DEL	16
3.1	Opis lokacije vzorčenja	16
3.2	Terensko delo	20
3.2.1	Vzorčenje drifta	21
3.2.2	Vzorčenje bentosa	22
3.3	Laboratorijsko delo.....	24
3.3.1	Kemijske analize	24
3.3.2	Biološke analize	24
3.3.3	Določanje organske snovi	24
3.4	Statistična obdelava podatkov	25
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	27
4.1	Fizikalne in kemijske lastnosti vode	27
4.1.1	Izviri Lipnika	27
4.1.2	Potok Lipnik	37
4.1.3	Primerjava fizikalnih in kemijskih lastnosti vode v izviri Lipnik 1 in 2	37
4.2	Rezultati bioloških analiz	40
4.2.1	Taksonomska sestava driftnih in bentoških vzorcev	40
4.2.2	Vrstna sestava združbe ceponožcev in dvoklopnikov	42
4.2.3	Pojavljanje posameznih vrst v različnih conah	47
4.2.4	Vrstna pestrost ceponožcev in dvoklopnikov	51

4.3	Razprava.....	54
5	ZAKLJUČKI	57
6	VIRI.....	58

SEZNAM PREGLEDNIC

<i>Preglednica 1: Podatki o koncentraciji natrijevih, kalijevih, kalcijevih, magnezijevih in kloridnih ionih</i>	<i>36</i>
<i>Preglednica 2: Podatki o hitrosti vodnega toka, temperaturi vode, specifični električni prevodnosti, koncentraciji in nasičenosti kisika ter organski snovi enkratnega vzorčenja (april 2012) na različnih lokacijah potoka Lipnik.....</i>	<i>37</i>
<i>Preglednica 3: Rezultati Studentovega t-testa</i>	<i>38</i>
<i>Preglednica 4: Deleži posameznih taksonomskih skupin v vzorcih drifta v %</i>	<i>41</i>
<i>Preglednica 5: Deleži posameznih taksonomskih skupin v vzorcih bentosa v %.....</i>	<i>42</i>
<i>Preglednica 6: Število osebkov posameznih vrst rakov ceponožcev in dvoklopnikov v stalnem izviru</i>	<i>43</i>
<i>Preglednica 7: Število osebkov posameznih vrst rakov ceponožcev in dvoklopnikov v občasnih izviri</i>	<i>44</i>
<i>Preglednica 8: Število osebkov posameznih vrst rakov ceponožcev in dvoklopnikov v vzorcih bentosa (preračunano na kvadratni meter)</i>	<i>45</i>
<i>Preglednica 9: Značilni habitati najdenih vrst nižjih rakov povzeti po literaturi.....</i>	<i>46</i>
<i>Preglednica 10: Shannonovi in Simpsonovi indeksi ter Buzas-Gibsonovo ravnovesje stalnega izvira</i>	<i>51</i>
<i>Preglednica 11: Shannonovi in Simpsonovi indeksi ter Buzas-Gibsonovo ravnovesje občasnih izvirov</i>	<i>52</i>
<i>Preglednica 12: Shannonovi in Simpsonovi indeksi ter Buzas-Gibsonovo ravnovesje bentosa</i>	<i>52</i>

SEZNAM SLIK

<i>Slika 1: Tipi krasa v Sloveniji (Zupan Hajna N., 2004: 4)</i>	<i>3</i>
<i>Slika 2: Kraški vodonosnik (Ravbar N., 2007: 10)</i>	<i>6</i>
<i>Slika 3: Shema kalanoida, ciklopoida in harpaktikoida (Vir: http://sunsite.ualberta.ca/Projects/Aquatic_Invertebrates/?Page=29, avgust 2012)</i>	<i>9</i>
<i>Slika 4: Zgradba dvoklopnika (Sket B., 2003: 195)</i>	<i>10</i>
<i>Slika 5: Vodovarstveno območje Ovčja jama (Agencija RS za okolje, 2007)</i>	<i>14</i>
<i>Slika 6: Triglavski narodni park (Geodetski inštitut Slovenije, 2011)</i>	<i>15</i>
<i>Slika 7: Lokacija izvira Lipnik in merilnih postaj za padavine, zrak in pretok</i>	<i>16</i>
<i>Slika 8: Povprečna temperatura zraka v Lescah, Bohinjski Češnjici in Planini pod Golico</i>	<i>17</i>
<i>Slika 9: Količina mesečnih padavin za Rudno Polje, Zgornjo Radovno in Bled Mlino (obdobje december 2010 – januar 2012)</i>	<i>18</i>
<i>Slika 10: Temperatura reke Save Dolinke na Blejskem mostu v času raziskav</i>	<i>18</i>
<i>Slika 11: Pretoki reke Save Dolinke na Blejskem mostu v času raziskav</i>	<i>19</i>
<i>Slika 12: Lokacije izvirov Lipnik 1, 2 in 3 ter lokacije vzorčenja bentosa 1, 2 in 3</i>	<i>19</i>
<i>Slika 13: Izvir Lipnik 1</i>	<i>20</i>
<i>Slika 14: Izvira Lipnik 2 (levo) in 3 (desno)</i>	<i>20</i>
<i>Slika 15: Driftna mreža na izviru Lipnik 1</i>	<i>21</i>
<i>Slika 16: Uporaba Hessoovega vzorčevalnika</i>	<i>22</i>
<i>Slika 17: Lokacija 1 na potoku Lipnik z vzorčevalnimi mesti S, SB1, SB2 in SB3</i>	<i>23</i>
<i>Slika 18: Lokacija 2 na potoku Lipnik z vzorčevalnimi mesti SB1, SB2, SB3 in SB4</i>	<i>23</i>
<i>Slika 19: Lokacija 3 na potoku Lipnik z vzorčevalnimi mesti SB1, SB2, SB3 in SB4</i>	<i>23</i>
<i>Slika 20: Pretok v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>27</i>
<i>Slika 21: Temperatura vode v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>28</i>
<i>Slika 22: Specifična električna prevodnost vode v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>29</i>
<i>Slika 23: pH vrednost vode v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>30</i>
<i>Slika 24: Alkaliteta vode v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>30</i>
<i>Slika 25: Koncentracija kisika v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>31</i>
<i>Slika 26: Nasičenost kisika v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>32</i>
<i>Slika 27: Koncentracija sulfatov v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>32</i>
<i>Slika 28: Koncentracija nitritov v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>33</i>
<i>Slika 29: Koncentracija nitratov v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>34</i>
<i>Slika 30: Koncentracija skupnega dušika v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>34</i>
<i>Slika 31: Koncentracija kupnega fosforja v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>35</i>
<i>Slika 32: Delež organske snovi v izviroh Lipnik 1 in 2</i>	<i>36</i>
<i>Slika 33: Ordinacijski diagram PCA analize fizikalnih in kemijskih dejavnikov</i>	<i>40</i>
<i>Slika 34: Deleži posameznih vrst ceponožcev in dvoklopnikov v stalnem in občasnih izviroh</i>	<i>47</i>
<i>Slika 35: Deleži posameznih vrst ceponožcev in dvoklopnikov v bentosu</i>	<i>47</i>
<i>Slika 36: Frekvenca pojavljanja ceponožcev in dvoklopnikov v stalnem in občasnih izviroh ter bentosu</i>	<i>48</i>
<i>Slika 37: Ordinacijski diagram DCA analize driftnih vzorcev</i>	<i>49</i>

<i>Slika 38: Ordinacijski diagram DCA analize bentoških vzorcev</i>	<i>50</i>
<i>Slika 39: Krivulja vrstne akumulacije v stalnem in občasnih izviri.....</i>	<i>53</i>
<i>Slika 40: Krivulja vrstne akumulacije v bentosu</i>	<i>53</i>

1 UVOD

Podzemne vode zajemajo največji delež razpoložljivih celinskih voda (97 %), če izvajamo ledenike. Poleg tega, da je podzemna voda vir pitne vode za 75 % Evropejcev, so vodonosniki podzemni ekosistemi z raznovrstno zgradbo in raznolikim živalstvom ter mikrobnimi združbami. Kljub temu, da je preučevanje biotske raznovrstnosti, ekoloških procesov in ekosistemskih funkcij zelo pomembno za varovanje kvalitete podzemne vode, se je ekologija podzemnih voda razvila šele v zadnjih desetletjih. Razlog za to je predvsem težja dostopnost teh ekosistemov in hkraten počasen razvoj ideje o podzemni vodi kot življenjskemu okolju za mikrobnе in živalske združbe (Gibert J., 2001).

Raziskave podzemne vodne favne so nujne tako z vidika poznavanja vrstne pestrosti, razumevanja ekosistemskih procesov kot tudi njihove potencialne uporabnosti kot indikatorjev kakovosti in količine podzemne vode. Zaradi vedno večje rabe vodnih virov in podnebnih sprememb je nujno pravočasno opaziti in omiliti spremembe kakovosti in količine pitne vode v vodonosnikih. Veliki vodni nevretenčarji so se že pokazali kot zelo dober indikator kakovosti voda in se v Sloveniji zakonsko uporabljajo za monitoring ekološkega stanja površinskih voda (Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda 2009, 2011). Ekološkega stanja podzemnih voda se po zakonu ne ugotavlja, saj je razvoj biotskih indikatorjev v podzemnih vodah še v povojih (Pravilnik o monitoringu podzemnih voda, 2009).

Podzemna voda je uskladiščena v sedimentih in kamninah z zmerno do visoko prepustnostjo, ki jih imenujemo vodonosniki. Vodonosnik je lahko plast prod, peska, konglomerata, peščenjaka ali plast razpokanega apnenca ter dolomita. V sedimentih in kamninah nastopajo različno velike praznine in to lastnost imenujemo poroznost. V Sloveniji ločimo vodonosnike z medzrnsko, kraško in razpoklinsko poroznostjo (Agencija RS za okolje, 2008).

Vodonosniki s kraško in razpoklinsko poroznostjo so karbonatne kamnine, večinoma apnenca in dolomiti mezozojske in paleozojske starosti. Največ jih najdemo v severnem, severozahodnem, zahodnem in južnem delu Slovenije. Predstavljajo predvsem kraške predele Julijskih Alp, Karavank, Kamniško-Savinjskih Alp ter območij Notranjskega, Dolenjskega in Primorskega Krasa (Agencija RS za okolje, 2008). Vodonosniki s kraško poroznostjo so izjemno heterogeni in na splošno prepoznamo tri podenote: epikras, nezasičena cona, zasičena cona (Gunn J., 2004).

V Sloveniji kraški vodonosniki predstavljajo pomemben vodni vir, saj trenutno kraška voda pokriva polovico državnih potreb po pitni vodi (Brečko Grubar V. in Plut D., 2001). Ker pa so kraški sistemi zelo ranljivi glede onesnaženja in je čiščenje onesnaženja na krasu skoraj nemogoče, je veliko pomembnejša in cenejša preventiva. Ta bi morala vključevati primerno in skrbno upravljanje s kraškimi vodonosniki ter dosledno uveljavljanje omejitev. Izjemnega pomena je tudi izobraževanje ljudi o pomenu trajnostnega upravljanja kraških vodnih virov in nadzor nad izvajanjem predpisov na vodovarstvenih območjih (Ravbar N., 2007).

Glavni namen tega diplomskega dela je bil raziskati uporabnost podzemne vodne favne kot indikatorja za hidrogeološko karakterizacijo kraških vodonosnikov na študijskem primeru Pokljuškega kraškega vodonosnika.

Metodologija dela je obsegala mesečno vzorčenje podzemne vodne favne z driftnimi mrežami v kraških izviri Lipnika, ki se nahajajo na stičišču zasičene in nezasičene cone kraškega vodonosnika. Drift je pojav aktivnega ali pasivnega plavljenja vodnih in pa tudi kopenskih nevretenčarjev po toku navzdol (Brittain J.E. in Eikeland T.J., 1988). Ker je ekologija in razširjenost podzemnih vrst nižjih rakov razmeroma slabo poznana, se je vzorčil tudi bentos potoka Lipnik, in sicer od stalnega izvira do izliva v reko Radovno. Tako se je preverilo ali so vrste, ki z driftom prehajajo iz vodonosnika v površinske vode, sposobne vzdrževati populacije tudi izven vodonosnika ali pa so vezane izključno na podzemlje. Poleg vzorčenja favne so se na terenu ocenile hitrosti vodnih tokov v izviri in nivoji vodostaja, izmerili osnovni fizikalni parametri vode ter odvzeli vzorci za kemijske analize. V laboratoriju so bile narejene kemijske analize vode ter izvedeno določevanje nevretenčarjev do nivoja redu ter nižjih rakov do nivoja vrste, rezultati pa so se obdelali z različnimi statističnimi orodji in biotskimi indeksi.

Raziskava je nadgradnja že izvedenih ekoloških raziskav na tem območju, kjer se je ugotavljalo vpliv ekoloških dejavnikov na sestavo izvirskih združb velikih vodnih nevretenčarjev in nižjih rakov v 16 izviri na območju Triglavskega narodnega parka (Mori N., 2001; Kejžar Z., 2003; Mori N. in Brancelj A., 2006) ter primerjalo drift v izviri Julijskih Alp, Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp (Mori N. in sod., 2011b).

Hipoteze diplomskega dela:

- Fizikalne in kemijske lastnosti vode v izviri se bodo v času spreminjale v odvisnosti od padavinskega režima.
- Drift se bo v sestavi in vrstni pestrosti razlikoval med izviri (en stalen, dva občasna). V driftu iz stalnega izvira bo združba številčnejša in vrstno pestrejša.
- Podzemna vodna favna se bo po sestavi in številu vrst razlikovala od favne v bentosu potoka Lipnik. Nekatere vrste se bodo pojavljale izključno v bentosu, nekatere pa izključno v driftu.
- Vsak tip združbe (stalen izvir, občasna izvira, bentos potoka) bo vseboval vsaj eno indikatorsko vrsto. Indikatorska vrsta je tista vrsta, ki se pojavlja v velikem številu samo v eni vrsti habitata – je značilna za izbran habitat.

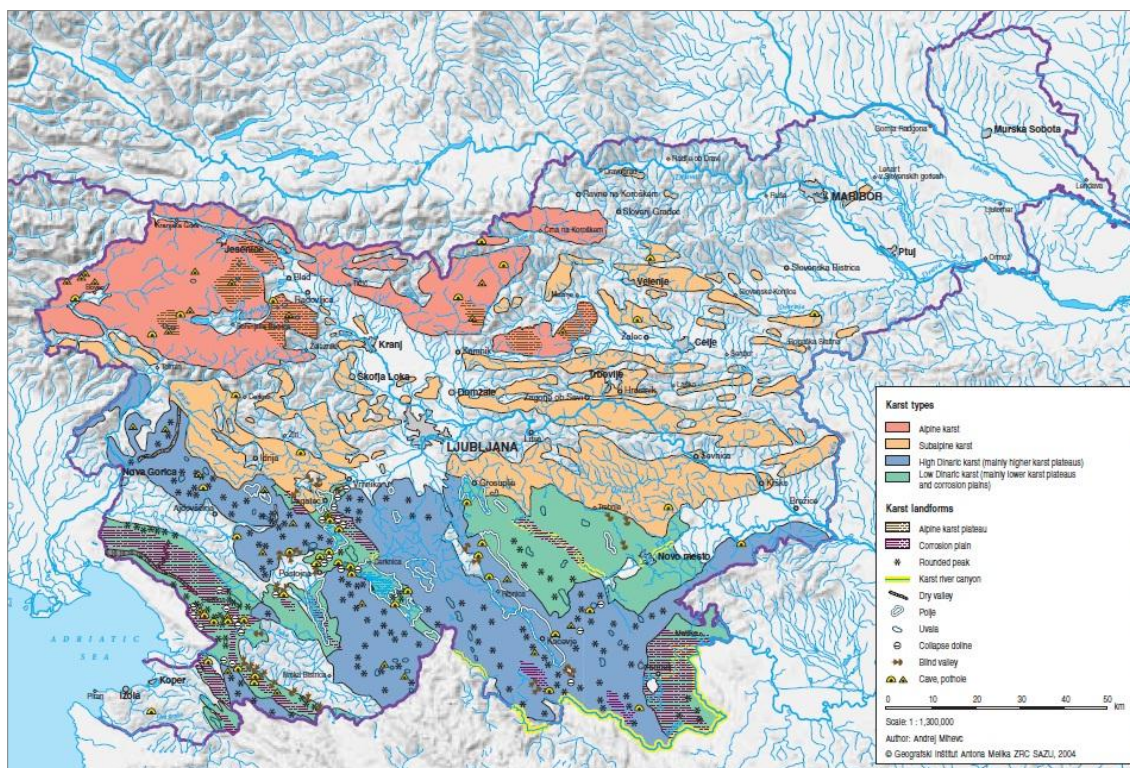
2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Kras in podzemna vodna favna

2.1.1 Kras v Sloveniji

Beseda kras ima danes v slovenskem jeziku tri pomene. Pisana z veliko začetnico (Kras) pomeni pokrajino med Tržaškim zalivom, Soško ravnino, Vipavsko dolino, gornjo Pivko in Brkini. Kot občno ime (kras) pomeni v ljudskem jeziku kamnito ozemlje. Beseda kras pa se pojavlja tudi kot naselbinsko ime (npr. Kras, Krašča, Krasno, Kraška vas), predvsem na robu Dinarskega, osamelega krasa in kjer se pogosteje izmenjavata goli in pokriti kras (Gams I., 2004).

Kras v Sloveniji pokriva kar 43 % ozemlja in po tem deležu smo med najbolj kraškimi narodi sveta (Gams I., 1974). Glede na geološke, hidrološke in morfološke pogoje v Sloveniji delimo kras na tri večje enote (*Slika 1*): dinarski, predalpski ali osameli in alpski kras (Zupan Hajna N. in sod., 2008).



Slika 1: Tipi krasa v Sloveniji (Zupan Hajna N., 2004: 4)

Dinarski kras se deli na nižji in višji dinarski kras. Nižji predstavlja planote na nižji nadmorski višini kot so obmorski kras (Kras) in kras notranje Slovenije. Višji pa predstavlja planote na višji nadmorski višini južne Slovenije, ki jih večinoma prekriva gozd, in so razdeljene z vmesnimi depresijami (Zupan Hajna N., 2004). S hidrološkega vidika je to pretežno pretočni kras, z morfološkega stališča pa so za ta kras značilne planote z vmesnimi podolji, v katerih so kraška polja. Tu so poleg polj zastopane tudi

vse tipične kraške površinske oblike, od uval, udornic, vrtač, škrapelj in žlebičev (Knez M. in Kranjc A., 2009).

Predalpski ali osameli kras zavzema osrednji del Slovenije med Alpami in Dinaridi. Izoliran kras so nižji otoki iz apnenca in dolomita različnih starosti, ki se močno razlikujejo po strukturi in hidrologiji (Zupan Hajna N., 2004, cit. po Habič P., 1969). Ker gre v glavnem za manjša ozemlja, obdana z erozijskim svetom, kras tu ni popolnoma razvit ali pa so v njem poudarjene le nekatere morfološke in hidrološke značilnosti. Predvsem tam ni kraških polj niti velikih podzemnih hidroloških sistemov in pomembnih kraških vodonosnikov (Knez M. in Kranjc A., 2009). Značilni pa so ponori in izviri (Zupan Hajna N. in sod., 2008).

Alpski ali visokogorski kras je prisoten v gorskih regijah severne in severozahodne Slovenije. Poleg Julijskih Alp, Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp, je zakrasela tudi večina visokih predalpskih planot in predgorij kot so Mežakla, Pokljuka, Jelovica in druge. Ta del krasa obsega dobrih 20 % slovenskega krasa. Tu sta geološka osnova predvsem triasni apnenec in dolomit, hidrološko pa gre za raztočni kras, saj je pokrajina zarezana z globokimi rečnimi dolinami (Knez M. in Kranjc A., 2009). Poleg vseh površinskih kraških značilnosti tukaj najdemo tudi jamske sisteme, ki so predvsem vertikalni (Zupan Hajna N., 2004; Zupan Hajna N. in sod., 2008).

V visokogorskem krasu ločimo naslednje površinske tipe (Gams I., 2004):

- Podi in planote nad gozdno mejo, ki so glavna območja globokih brezen.
- Planote pod gozdno mejo, ki jih pleistocenski ledeniki niso prekrili, so pa pri umikanju odložili morenski drobir, ki je zamaskiral kraško površje. Globokih brezen in površinskih kotanj je manj, več je dolov in suhih dolin.
- Pobočja dolin, grebenov in slemen, ki zavzemajo večino visokogorskega površja. Tipični so izviri na pobočju malo nad dnem doline, nastali na litološki meji ali zato, ker dolinskemu dnu še ni sledilo znižanje vodnega pretakanja.
- Dna dolin in kotlin, ki jih prekrivajo kvartarni klastični sedimenti, skozi katere se pretaka kraška voda ob nižjem vodnem stanju.

V Julijskih Alpah je največ visokogorskega krasa, podov in planot. Karbonati zavzemajo kar 80 % površja, med katerimi prevladuje apnenec. Prepustne kamnine na tem območju obkrožajo manj neprepustni sedimenti, zato največ vode odteka v jugozahodnem delu, kjer izteka Soča. Drugi neprepustni jez pa je okoli Jelovice, ki usmerja vode proti vzhodu – Blejskemu kotu, kamor pritekata Sava Bohinjka in Radovna. Glavni vodni odtok je površinski, po dnu dolin, ki so najpogostejše ob pritokih Save Dolinke in Radovne, ker je v njihovem porečju največ triasnega dolomita in zaradi njega najmanj planot in podov (Gams I., 2004).

2.1.2 Kraški vodonosniki in kraški izviri

Kraški vodonosniki so v karbonatnih kamninah (apnenec, dolomit), ki so izpostavljene zakrasevanju. Kraški kanali različnih velikosti lahko vsebujejo relativno veliko podzemne vode. Iz hidrogeološkega vidika je največja posebnost kraških vodonosnikov velika topnost kamnin, ki določa heterogenost infiltracije, tok podzemne vode in iztok iz kraških vodonosnikov (Gunn J., 2004).

V kraških vodonosnikih pronicajoča voda raztaplja kamnine in povečuje prostore med njimi, posledično se veča tudi hidravlična prevodnost vodnega toka. Nekatera območja

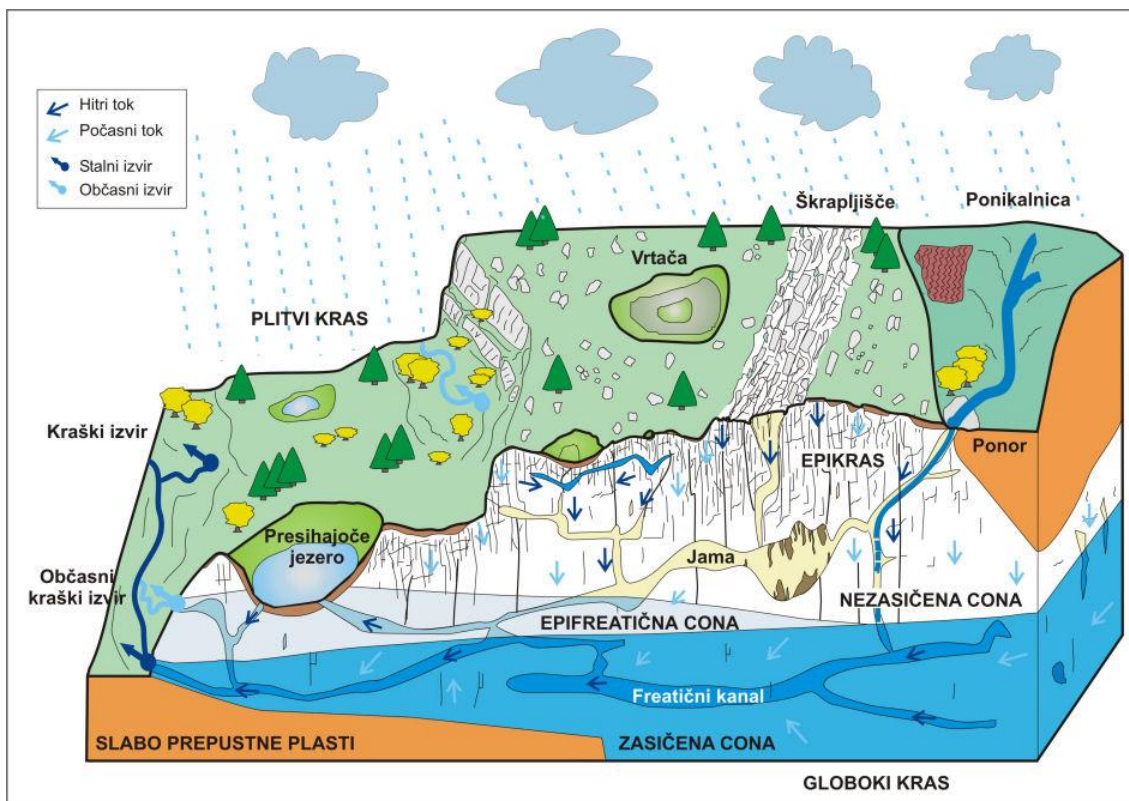
so veliko bolj zakrasela kot druga. To je odvisno od kemijske sestave kamnine, njene sekundarne poroznosti in količine padavinske vode (Gunn J., 2004).

Kraške vodonosnike določajo zlasti površinske in podzemne geomorfološke značilnosti. Najpomembnejše značilnosti krasa se običajno razvijejo ob razpoklinskih območjih. Taka površina je zelo prepustna in omogoča takojšnje pronicanje vode v vodonosnik (Ravbar N., 2007, cit. po Ford D.C. in Williams P.W., 1989). Voda, ki pronica skozi površje, se običajno premika navpično proti podzemni vodi. Potem se združi v učinkovit vodoraven sistem vode, ki teče proti iztoku iz kraškega vodonosnika (Drew D., 1999).

Kraški vodonosniki imajo svojevrstno strukturo, ki jo lahko označimo z visoko prepustnostjo in mrežami kraških kanalov, ki so dobro povezani s kraškimi izviri (Ravbar N., 2007). Kraški vodonosniki (*Slika 2*) se glede na vodni tok in skladiščenje vode v navpični smeri delijo na naslednje podsisteme (Gunn J., 2004):

- Epikras – zelo prepustno in zakraselo območje pod površino vodonosnika, ki začasno skladišči padavinsko vodo.
- Nezasičena ali vadozna cona – zgornji del vodonosnika, kjer voda hitro odteka skozi navpične mreže razpok in prevladujejo z zrakom napolnjeni prostori.
- Zasičena ali freatična cona – spodnji del vodonosnika, ki je stalno zalit z vodo in kjer prevladuje horizontalen tok vode; zgornji del cone je direktno povezan z izvirom.

Hidravlično delovanje kraških sistemov je zelo težko napovedati. Vsaka omenjena cona, še posebno epikras, igra pomembno vlogo v kraških vodonosnikih. Dokazano je, da epikras zelo vpliva na značilnosti praznjenja kraškega izvira, na bazni tok izvira, na nihanje vodostaja v kraškem omrežju in na polnjenje slabo prepustnih kamnin. Ker epikras ni viden na površju, je težko oceniti njegovo strukturo in funkcijo (Ravbar N., 2007).



Slika 2: Kraški vodonosnik (Ravbar N., 2007: 10)

Kraški izviri predstavljajo naraven izhod podzemne vode na površje skozi hidrološko aktivne razpoke kraškega masiva. Največ kraških izvirov se pojavi na kontaktu karbonatnih kamnin z neprepustnimi plastmi (Bonacci O., 1987). V visokogorskem krasu prihaja voda na površje največkrat pod strmimi apnenčastimi stenami.

Osnovne značilnosti kraških izvirov so velika vodnatost, visoka trdota vode, spreminjanje pretoka in majhna temperaturna nihanja. Temperatura vode v izvirih sovпада s srednjo letno temperaturo regije (Gams I., 1974). Nihanje pretokov vode v izvirih je povezano z nihanjem količine vode podzemnega toka, na katerega vpliva zlasti padavinski režim, velikost padavinskega zaledja in prevotljenost kraškega podzemlja (Plut D., 2000).

Porečje kraških izvirov se v času spreminja in je odvisno od količine vode v vodonosniku. Spreminjanje je lahko večje ali manjše, odvisno od lokalnih in geoloških lastnosti. To lahko potrdimo z dejstvom, da voda, ki je v podzemlju shranjena na enem mestu, izvira na več oddaljenih lokacijah, ki se spreminjajo s količino in višino podzemne vode (Bonacci O., 1987).

Kraške izvire je težko razvrstiti, saj vedno obstajajo izjeme, ki ovržejo razvrstitev ali jo naredijo negotovo. Izvire na splošno razvrščamo v tri osnovne tipe: strminski – reokreni, kjer voda takoj, ko pride na površino, začne odtekat po površini v obliki potoka; tolmunski – limnokreni, kjer se voda začne zbirati v kotanji in odteka v strugo ob njenem robu; mezeči – helokreni, kjer voda meži iz tal in odteka po številnih strugah, ki se postopoma združujejo v večje (Rejic M. in Smolej I., 1988). Po stalnosti pretoka se izviri delijo na stalne, periodične in občasne.

2.1.3 Ekologija podzemnih voda

Podzemne vode nam poleg največjih rezerv pitne vode na svetu ponujajo tudi edinstvene ekosisteme. Glavne značilnosti podzemnega okolja so stalna tema (razen pri direktnih vkih in izhodih), določena stopnja izoliranosti in stalna temperatura. Stabilnost tega okolja je relativna. Večja variabilnost okoljskih dejavnikov je v conah blizu površja. Večina hrane v podzemlje pride s površja (alotrofija). Ker ni svetlobe, ni zelenih rastlin, posledično tudi ni fotosinteze in primarne produkcije, zato so podzemna okolja heterotrofna. Količina hrane je odvisna od površja, vodne dinamike in potencialne filtracije podzemnega okolja (Gibert J., 2001).

Podzemne vode so dolgo veljale za ekstremna okolja, ki ga naseljujejo le redke specializirane vrste. Danes je splošno znano, da je v podzemni vodi vrstna pestrost zelo velika, prevladujejo pa predvsem raki, polži, maloščetinci ter gliste. Te živali imajo posebne morfološke, fiziološke in vedenjske značilnosti (Gibert J., 2001).

- Morfološke značilnosti: pomanjkanje pigmenta, regresija očesa, hipertrofija senzoričnih organov, večja ali manjša velikost organizma, konvergenca oblike telesa.
- Fiziološke značilnosti: upočasnitev metabolizma, daljši ontogenetski razvoj, daljše stopnje življenjskega cikla, s tem daljša življenjska doba.
- Vedenjske značilnosti: upočasnitev splošnih motoričnih in reprodukcijskih aktivnosti.

Podzemna vodna favna se deli na stigoksene, stigofile in stigobionte. Stigokseni so organizmi, ki se le slučajno pojavijo v podzemni vodi, drugače pa ne živijo v podzemlju in svoj celoten življenjski cikel preživijo v površinski vodi. Stigofili so organizmi, ki živijo v podzemni vodi, vendar lahko še vedno del življenjskega cikla preživijo v površinski vodi. Stigobionti so obligatorne podzemne vrste, saj celoten življenjski cikel preživijo v podzemnih vodah (Gibert J., 2001).

Ekološke zahteve stigobiontov so zelo različne. Nekatere stigobionte najdemo povsod, saj naseljujejo vse tipe podzemnih voda, in niso občutljivi na okoljske spremembe. Ostali pa lahko naseljujejo le en habitatni tip in so zelo občutljivi na okoljske spremembe (Dole-Olivier M.-J. in sod., 1993).

Temperatura je eden izmed najpomembnejših ekoloških dejavnikov, ki vplivajo na vodno favno. Določa predvsem to, katere vrste bodo bolj številčne pri določeni temperaturi in katere manj. Vsaka vrsta ima določeno temperaturno območje, pri katerem najbolj uspeva in temperaturo pri kateri vrsta odmre. Vrste, katere so prilagojene na ozek razpon temperatur imenujemo stenotermne vrste. Vrste, ki pa so sposobne prenesti večja nihanja temperature v okolju, imenujemo evritermne vrste. Podzemne vrste so stenotermne, saj živijo v okolju z razmeroma stalno temperaturo (Snyder G., 2011).

2.1.4 Podzemna vodna favna Slovenije

V Evropi je največ stigobiontov v kraških predelih Mediterana in Dinarski regiji. Kljub majhni površini je Slovenija po številu specializiranih prebivalcev podzemnih voda eno najbogatejših območij na svetu (Malard F. in sod., 2009). Če upoštevamo število stigobiontskih taksonov na površino je celo pred izjemno bogatim osrednjim delom

Dinarskega krasi. V Sloveniji je po znanih in ocenjenih podatkih 210 stigobiontskih vrst in podvrst, od teh je 120 endemičnih (Sket B. in sod., 1991; Sket B. 1999a, 1999b).

Stigobionte najdemo v sledečih taksonih: spužve (*Porifera*), vrtinčarji (*Turbellaria*), ožigalkarji (*Cnidaria*), gliste (*Nematoda*), mehkužci (*Mollusca*), mnogoščetinci (*Polychaeta*), maloščetinci (*Oligochaeta*), pijavke (*Hirudinea*), dvoklopniki (*Ostracoda*), ceponožci (*Copepoda*), peščinarji (*Bathynellacea*), enakonožci (*Isopoda*), postranice (*Amphipoda*), deseteronožci (*Decapoda*), dvoživke (*Amphibia*), vodne bolhe (*Cladocera*) (Sket B., 1996a; Brancelj A. in Dumont H.J., 2007).

Razlog za veliko raznovrstnost slovenske podzemne favne, predvsem rakov, naj bi bila odsotnost plenilcev (vodnih žuželk), visoka stopnja speciacije zaradi prostorske izolacije, ekološke izolacije, ugodne temperature in razgibane geološke zgodovine. Poleg tega je raziskovanje v Sloveniji precej bolj intenzivno kot v drugih delih Dinaridov (Sket B. 1999a, 1999b).

Prva omemba živalstva iz podzemnih voda v Sloveniji sega v leto 1689, ko Valvasor v knjigi *Slava vojvodine Kranjske* omenja človeško ribico (Lajovic A., 1988). Do 20. stoletja je izšlo v Sloveniji le še nekaj prispevkov o podzemni vodni favni, vendar se kmalu zatem z intenzivnejšimi raziskavami začne stanje izboljševati (Sket B., 1996a).

Več kot polovico evropskih stigobiontov predstavljajo raki (*Crustacea*) (Sket B., 1996a). Med višjimi raki (*Malacostracea*) so to enakonožci in postranice, med nižjimi (*Entomostraca*) pa dvoklopniki in ceponožci. Zadnji so najbolj številčni, zato so tudi najbolj uporabni v ekoloških raziskavah.

Na področju Slovenije sta sladkovodne postranice pred vojno opisovala Schellenberg A. in Karaman S.T. Slednji je preučeval tudi enakonožce in je nadaljeval še po vojni (Sket B., 2003). Pozneje se je obeh skupin lotil Sket B. (2003). Zdaj postranice raziskuje Fišer C. s sodelavci (2006, 2007, 2010).

2.1.4.1 Ceponožci

Ceponožci so prvotno dolgi, kapljasto oblikovani milimetrski rakci z dolgimi prvimi tipalkami, z nekaj pari viličastih nožic na oprsju in z dolgimi ščetinami na furki. Dejansko pa je telo pri tej ekološko pestri skupini zelo raznoliko oblikovano. Praviloma imajo le neparno navpijsko oko. Dolge sprednje tipalke sicer skupaj z nogami služijo navadno plavanju, a so pri samcu neredko kleščasto ali zankasto oblikovane, da z njimi prime samico. Samice nekaterih vrst jajčeca razmetavajo, druge pa jih nosijo na sebi, zlepljena v eno ali dve kepici (Sket B., 2003). Živijo tako v morju kot v sladkih vodah. Ločijo se na parazitske in prostoživeče vrste (Brancelj A., 1996a). Planktonske vrste so večinoma filtratorji, bentoške vrste pa so lahko rastlinojedci ali plenilci (Sket B., 2003).

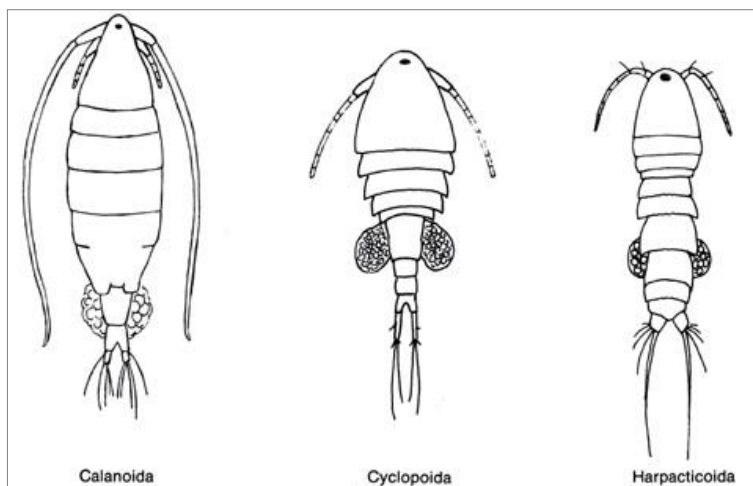
V Sloveniji poznamo čez 100 prostoživečih sladkovodnih vrst ceponožcev (Sket B., 2003), ki se delijo v tri skupine: kalanoidi (*Calanoida*), ciklopoidi (*Cyclopoida*) in harpaktikoidi (*Harpacticoida*). Zaradi množičnega pojavljanja so vse tri skupine pomembne pri kroženju snovi v ekosistemu. Pripadnike teh skupin pa pogosto najdemo tudi v podzemnih vodah, kjer so lahko zelo številčni (Brancelj A., 1996a).

Kalanoidi (*Slika 3*) so predvsem planktoni s posebej dolgimi tipalkami; samica nosi vsa jajčeca v eni kepici (Sket B., 2003). Edina poznana podzemna vrsta pri nas je

Trogloaptomus sketi, ki je razširjena po vsem dinarskem krasu (Brancelj A., 1996a; Sket B., 2003).

Ciklopoide (*Slika 3*) prepoznamo po bolj čokatem oprsju, ki mu sledi tankemu repu podoben zadek; samica nosi po dve kepici jajčec (Sket B., 2003). V naših jamah zasledimo predvsem vrste iz rodov *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Graeteriella*, *Metacyclops* in *Speocyclops* (Brancelj A., 1996a).

Harpaktikoidi (*Slika 3*) imajo širino telesa bolj enakomerno, prehod oprsja v zadek je manj opazen kot pri drugih ceponožcih (Sket B., 2003). Pri nas v podzemlju lahko zasledimo predvsem vrste iz rodov *Bryocamptus*, *Ceuthonectes*, *Echinocamptus*, *Elaphoidella*, *Moraria*, *Morariopsis*, *Nitocrella*, *Paramorariopsis* in *Pseudomoraria* (Brancelj A. 1996a, 2009; Mori N. in Brancelj A., 2008).

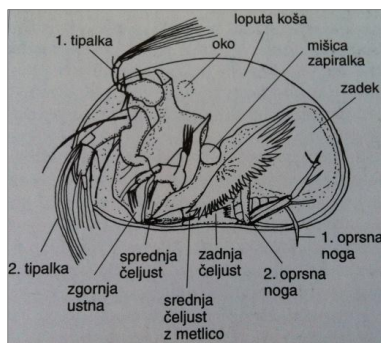


Slika 3: Shema kalanoida, ciklopoida in harpaktikoida (Vir: http://sunsite.ualberta.ca/Projects/Aquatic_Invertebrates/?Page=29, avgust 2012)

Pred drugo svetovno vojno je favno ceponožcev v Sloveniji raziskoval Kiefer F., po vojni sta k njenemu spoznavanju prispevala Rejic M. in Petkovski T. K. (Sket B., 2003). Kasneje je z raziskavami ceponožcev pričel Brancelj A., ki jih uspešno raziskuje še danes (2000, 2002, 2009).

2.1.4.2 Dvoklopniki

Dvoklopniki (*Slika 4*) so drobni rakci, dolgi od 0,5 do 2 mm (Brancelj A., 1996b), katerih telo v celoti skriva drobní školjkici podoben, poapnel in neprosojen koš. Telo je pri njih zelo skrajšano in vsak par okončin je nekoliko drugačen; premikajo se največ z drugimi »tipalkami«, pri nekaterih so tudi »zadnje čeljusti« izoblikovane kot noge za hojo, druga noga oprsja je lahko prirejena za čiščenje koševe votline. Ker imajo zelo velike semenčice, je kanal spolnih izvodil in paritvenega organa zelo zapleten. Pri mnogih sladkovodnih vrstah poznamo le samice, ki se razmnožujejo deviškoročno (Sket B., 2003).



Slika 4: Zgradba dvoklopnika (Sket B., 2003: 195)

Z redkimi izjemami žive dvoklopniki na dnu voda. Veliko se jih je preselilo celo v dno, kjer rijejo v blatu ali živijo v tesnih prostorčkih med zrni proda ali mivke. Poznamo plenilce, mrhovinarje, rastlinojede in filtratorje. S svojim načinom prehranjevanja prispevajo k predelavi naravnega organskega odpada na dnu voda (Sket B., 2003).

Najnovejši seznam dvoklopnikov v Sloveniji našteva 61 vrst. V podzemni vodi živi več različnih vrst, predvsem predstavniki družine *Candonidae* (Mori N. in Meisch C., 2012).

V Sloveniji jih je pred vojno raziskoval Klie W. (Sket B., 2003), po vojni pa Petkovski T.K. in Meisch C. (1994). V zadnjem času jih raziskujejo Brancelj A., ki je v sodelovanju z Griffiths H., naredil tudi prvi seznam dvoklopnikov (1996), ter Mori N. s sodelavci (2011a, 2011b, 2012).

2.2 Biomonitoring kraške podzemne vodne favne

Zaščita podzemne vode, ki nam nudi dobršen del pitne vode, bi morala biti glavna tema in skrb za prihodnjo vodno politiko. V Sloveniji se izvaja monitoring ekološkega stanja, ki vključuje biomonitoring le za površinske vode (Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda 2009, 2011), za podzemne vode pa še ne (Pravilnik o monitoringu podzemnih voda, 2009).

V okolju se pojavljajo dejavniki (povzročitelji stresa), ki vedno bolj ogrožajo kvaliteto podzemne vode in delovanje podzemnih ekosistemov. Širok spekter teh dejavnikov je težko zaznati in izmeriti s fizikalnimi in kemijskimi metodami monitoringa. Bolj priporočljiv je integriran monitoring, ki zajema tudi biomonitoring. Informacije pridobljene z integriranim monitoringom bi morale pripeljati do boljšega razumevanja zgradbe in delovanja podzemnih sistemov, omogočiti bi nam morale prepoznati motnje v naravnih stanjih in nam dovoliti učinkovito zaščito podzemnih sistemov, ki jih naseljujejo raznovrstni organizmi (Mösslacher F. in sod., 2001).

Biološki monitoring podzemnih organizmov, ki poskuša oceniti ekološke in fiziološke zahteve organizmov v širokem razponu okoljskih gradientov, nam lahko poda pomembne informacije o učinkih povzročiteljev stresa na podzemne ekosisteme. Poleg intenzitete je pomembno tudi trajanje nekega dejavnika na organizem, ki določuje stopnjo vpliva. Za primer vzemimo dejavnik, ki v nekaj tednih povzroči le spremembe pri individualnih organizmih, v nekaj mesecih pa se spremembe pojavijo na nivoju celotne populacije. To nam pokaže, da ni pomembna le koncentracija dejavnika, ki povzroči stres, temveč tudi trajanje tega vpliva (akutno ali kronično) na ekosistem (Mösslacher F. in sod., 2001).

Bioindikator se nanaša na katerokoli biološko enoto, ki se uporablja za oceno spremembe (večinoma poslabšanja) v kvaliteti okolja (Comitee, 1991). Ta lahko ustreza skupnosti, populaciji, eni ali več vrstam, ali celo delu organizma. Do zdaj sta razvita dva metodološka pristopa za oceno kvalitete podzemnega okolja (Notenboom J. in sod., 1994):

- Podzemna ekotoksikologija se osredotoča na to, kako strupena snov spreminja preživetje ali razvoj posameznega organizma. Ocena kvalitete podzemnega ekosistema se zanaša na prisotnost ali odsotnost prej določene občutljive vrste in/ali na pregled stopnje onesnaževalca v prehrambni verigi.
- Ekologija onesnaževanja podzemne vode pa preučuje spremembe v sestavi in strukturi združbe nevretenčarjev v povezavi z onesnaženjem. Ekologi preučujejo odzive združbe na spremembe v abiotičnih dejavnikih, prav tako pa tudi interakcije med različnimi vrstami (tekmovanje, plenjenje).

Bioindikatorski organizmi morajo izpolnjevati določene zahteve kot so: jasna taksonomija, splošna razširjenost in velika številčnost ter lahko delo v laboratoriju pri njihovem določevanju s poceni in enostavnimi metodami. Podzemne organizme lahko razdelimo na mikroorganizme, nevretenčarje in vretenčarje. Vretenčarji zaradi majhne številčnosti in omejene razširjenosti ter omejenosti na določene habitate niso najbolj primerni za biomonitoring podzemnih voda. Nevretenčarji so bolj splošno razširjeni, vendar so v prostoru in času razporejeni precej heterogeno. Mikroorganizmi naseljujejo vse tipe podzemnih voda in se pojavljajo v veliki številčnosti in raznovrstnosti, kar jih naredi za primerne bioindikatorje (Mösslacher F. in sod., 2001). Slaba stran mikroorganizmov je, da je večina vrst generalistov, kar pomeni, da so sposobni preživeti v širokem razponu okoljskih gradientov.

Podzemni nevretenčarji imajo bližnje odnose do njihovega okolja in med seboj, različne trofične vrste (filtratorji, karnivori) ter različne življenjske cikle. Posledično se direktno ali posredno (tekmovanje, plenjenje) odzovejo na spremembe v lastnostih različnih sestavin pod površino (koncentracija kisika v podzemni vodi, tip organske snovi). Podzemni nevretenčarji tudi ublažijo učinke kontaminacije v različnih časovnih obdobjih (Malard F., 2001).

Uporaba podzemnih nevretenčarjev kot bioindikatorjev kvalitete podzemne vode je lahko celo bolj enostavna kot uporaba nevretenčarjev v površinskih vodah. Ker so prehranjevalne verige v podzemlju krajše kot na površju, podzemni nevretenčarji bolj direktno zaznajo spremembe v kemijski sestavi podzemne vode, kot nevretenčarji v površinskih vodah, kjer so te spremembe lahko oslABLJENE zaradi vodne vegetacije (Malard F., 2001).

Vzorčenje podzemne vodne favne lahko poteka na več načinov, odvisno od lokacije in morfologije območja.

2.2.1 Vzorčenje plitvih kraških vodonosnikov

Za vzorčenje favne v plitvih kraških vodonosnikih se lahko uporabljajo izviri, ki so izlivi podzemne vode na površje in obenem ekotoni (prehodni pasovi) med podzemnim in površinskim ekosistemom. V njih se nahaja več različnih skupin živali: bentoške živali, ki naseljujejo vodotoke, stigobionti, ki naseljujejo podzemno vodo, in vrste, ki se pojavljajo le v izviroh - krenobionti (Malard F., 2002).

Favno v plitvih kraških vodonosnikih lahko vzorčimo z naslednjimi metodami: vzorčenje drifta, vzorčenje bentosa, ročno izkopani vodnjak (širok premer, nizka voda) ter uporaba umetnih substratov in pasti (Notenboom J. in sod., 1996; Malard F., 2002).

2.2.2 Vzorčenje globljih kraških vodonosnikov

Za vzorčenje favne v zasičeni coni globljih kraških vodonosnikov se lahko uporabljajo vodnjaki, ki so že bili nameščeni za črpanje pitne vode ter za raziskave podzemne vode. Poznamo proizvodne vodnjake (vrtina iz katere se črpa voda za dejavnosti ljudi) in opazovalne vrtine (vrtine, ki nudijo informacije o geoloških formacijah, nivoju in tlaku podzemne vode ter njeni kvaliteti) (Malard F., 2002).

Za zbiranje vodne favne iz vodnjakov se lahko uporabijo naslednje metode: filtriranje vode s pomočjo freatobiološke mreže (spodnji del mreže je sestavljen iz zaprte posode, ki preprečuje pobeg ujetim živalim), uporaba pasti z vabami ter črpanje vode s črpalkami in kasnejše filtriranje vode (Malard F., 2002).

2.2.3 Vzorčenje v jamah

Vzorčenje podzemne vodne favne zahteva ustrezno opremo in znanje zaradi varnostnih razlogov. Zelo priporočljiva je tudi podpora in spremstvo izurjenih jamarjev. Tehnike vzorčenja v jamah so po navadi omejene zaradi težko dosegljivega terena. Habitati v jamah se delijo na počasne pronicajoče vode (curki, luže) ter jamske potoke, reke, jezera in sifone (Malard F., 2002).

Vzorčenje počasne pronicajoče vode (curkov) zajema filtracijo vodnih kapljic, ki kapljajo iz jamskega stropa, črpanje in praznjenje vode iz luž, filtriranje vode v lužah z ročno mrežo, pasti z vabami na začetku in koncu luže, zbiranje videnih živali ročno z mrežo (Brancelj A. 2000, 2002; Pipan T. in Brancelj A., 2001 ; Pipan T. in Culver D.C., 2007).

Večja jamska vodna telesa se lahko vzorči z driftnimi ali ročnimi mrežami, sediment se vzorči z Bou-Rouch ali Karaman-Chappuis metodo, uporablja se tudi metode z umetnimi substrati, pasti z vabami, ročno zbiranje videnih živali in vzorčenje z mrežo med potapljanjem (Malard F., 2002).

2.3 Ogroženost kraških vodonosnikov in njihovo upravljanje

V primerjavi z ne-kraškimi so kraški sistemi zelo ranljivi glede onesnaženja. Zaradi hitrega pronicanja vode v podzemlje in hitrega podzemnega toka na daljše razdalje in kratkega zadrževalnega časa je samočistilna sposobnost kraškega vodonosnika (sposobnost vodnega telesa, da razgradi prisotno organsko snov v anorgansko s pomočjo mikroorganizmov (Mihorko P., 2011)) veliko slabša kot v medzrskih vodonosnikih. Poleg tega ponori (odprtine v kraških tleh, v katere izginja voda) in druge kraške oblike nudijo možnost za direkten vnos onesnaževal v podzemlje (Ravbar N., 2007). Remediacija in nevtralizacija morebitnih infiltriranih onesnaževal v kraški sistem je majhna in onesnaženje se širi brez učinkovitega zniževanja njegove koncentracije (Ravbar N., 2007, cit. po Ford D.C. in Williams P.W., 1989). Poleg tega se lahko onesnaževala v obeh conah, tako zasičeni kot nezasičeni, predvsem pa v epikrasu,

zadržijo tudi do nekaj let. Onesnaževala se tako za dalj časa shranijo v podzemlju ter povzročajo dolgotrajno in nepričakovano onesnaženje podzemne vode in kraških izvirov. Tako lahko človekove dejavnosti na vplivnem območju vodonosnika močno ogrožajo kraške sisteme in vplivajo na kvaliteto podzemne vode (Ravbar N., 2007).

Alpski kraški vodonosniki se nahajajo pretežno v oddaljenih območjih, ki so manj privlačna za večja naselja, industrijo, poljedelstvo in druge aktivnosti. Človekove aktivnosti so tu pogosto sezonske, povezane s turizmom in rekreacijo. Potencialne in dejanske grožnje za podzemno vodo so pretežno odpadne vode iz planinskih koč, smučarska središča, odlagališča za odlaganje odpadkov in ceste. Največja koncentracija teh aktivnosti je na enostavno dostopnih območjih (Ravbar N., 2007). Kljub relativno ugodnim razmeram za zaščito kraške vode, jih večina še vedno ni primerno zaščitena. Na splošno je kakovost podzemne kraške vode še vedno razmeroma visoka, čeprav so sledi onesnaženja že prisotne v nekaterih izvirih (Kovačič G. in Ravbar N., 2005).

Katerakoli vrsta onesnaženja je problematična in bi se ji bilo treba izogniti, še posebno takrat, ko je v vprašanju vir pitne vode. Boljšo razlago potovanja onesnaževal in tokov podzemne vode na krasu je mogoče doseči z razumevanjem pretoka vode skozi posamezne kanale in po celotnem razpoklinskem sistemu. Kras je dejansko zelo heterogen in vsak kraški sistem ima svoje individualne značilnosti. Čas, trajanje in intenzivnost onesnaženja v primeru kemičnega ali biološkega onesnaženja v zaledju kraškega vodonosnika, bomo lahko uspešno predvideli le, če bomo dobro poznali geološke in hidrološke lastnosti prizadetega območja (Ravbar N., 2007). Prenos onesnaževala ni odvisen le od značilnosti vodonosnika, temveč tudi od značilnosti onesnaževala in stanja zasičenosti nezasičene cone. Nekatera onesnaževala lahko reagirajo z zgornjo plastjo tal, vegetacijo ali kamnino, skozi katero tečejo. To je odvisno tudi od tega ali je snov lažja ali težja od vode in ali se v njej topi (Sinreich M., 2004).

V slovenski zakonodaji je določeno, da se morajo vsi vodonosniki zaščititi kot vodovarstvena območja (Zakon o vodah 2002, 2004, 2008, 2012). Za določitev teh območij obstaja Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (2004, 2006, 2011). Ta pravilnik je bil pripravljen zaradi standardizacije metodoloških pristopov in pravil za definiranje vodovarstvenih območij, za ustanovitev katerih je zadolžena vlada in njene inštitucije. Ta mora skrbeti tudi za zagotavljanje izvajanja odločb v vsakem zaščitenem območju (Kovačič G. in Ravbar N., 2005).

Vodovarstveno območje se zaradi različnih stopenj varovanja deli na notranja območja, in sicer na širše, ožje in najožje območje (Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja 2004, 2006, 2011).

Za zajetje v kraškem vodonosniku je (Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja 2004, 2006, 2011):

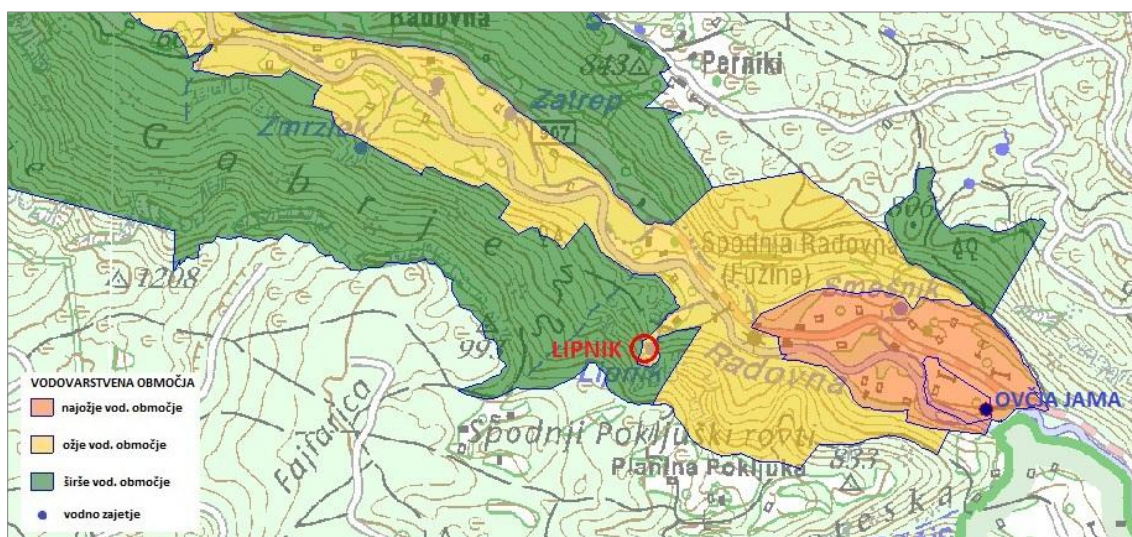
- na širšem območju zagotovljeno varovanje zajetja z dovolj dolgim časom zadrževanja onesnaževala v krovni plasteh vodonosnika ali nezasičeni coni vodonosnika, ali z dovolj velikim razredčenjem onesnaževala tako, da je možna izvedba interventnih ukrepov in ukrepov odprave posledic onesnaženja na zajetje,
- na ožjem območju zagotovljeno varovanje zajetja z izvedbo interventnih ukrepov v zelo kratkem času, ker ima onesnaženje na tem območju hiter in močan vpliv na zajetje zaradi možnega trenutnega prodora onesnaževala skozi zakrasela območja do gladine podzemne vode ali do toka podzemne vode v kraških kanalih, čas za izvedbo zahtevnih interventnih ukrepov pa je zelo kratek,

- na najožjem območju zagotovljeno varovanje zajetja pred kakršnimkoli onesnaženjem, ker ima onesnaženje na tem območju usodne posledice za zajetje zaradi možnosti trenutnega prodora onesnaževala skozi zakrasela območja do gladine podzemne vode ali do toka podzemne vode v kraških kanalih, možnosti izvedbe interventnih ukrepov pa na tem območju ni.

2.3.1 Študija primera: Izvir Lipnik

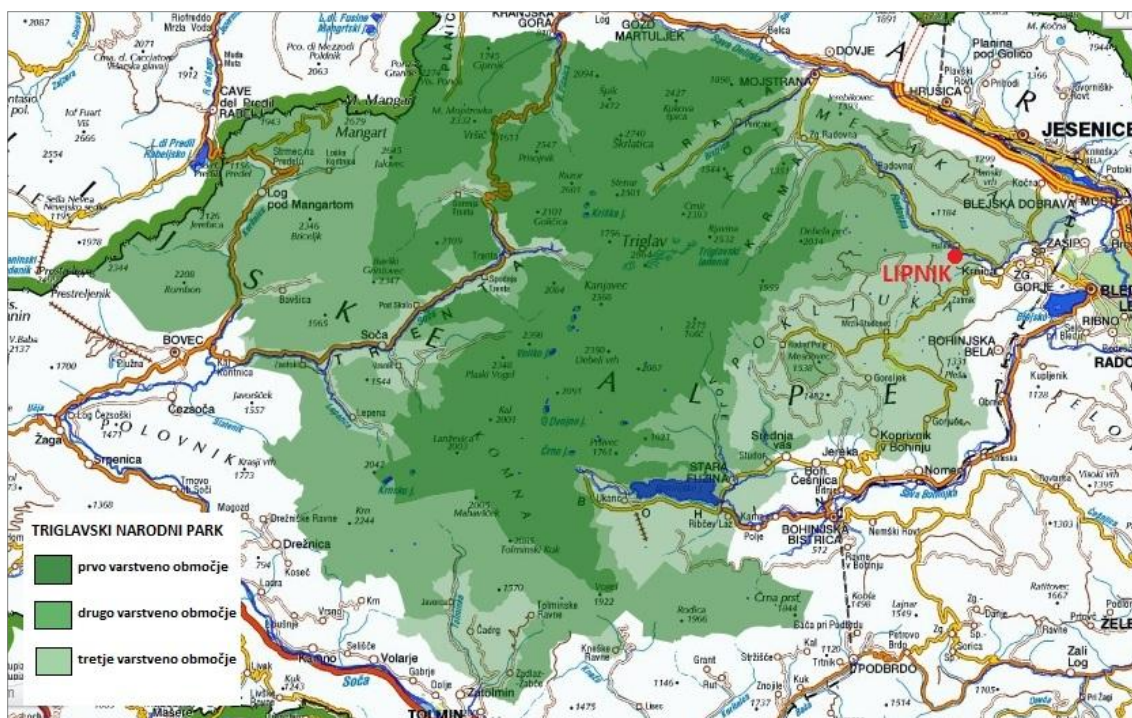
Izvir Lipnik spada pod dve zavarovani območji, in sicer vodovarstveno območje Ovčja jama ter Triglavski narodni park.

Vodovarstveno območje Ovčja jama (*Slika 5*) določajo meje, ki so zapisane v Odloku o določitvi varstvenih pasov in ukrepov za zavarovanje vodnega zajetja Ovčja jama (1999, 2001). V tem odloku je določeno, da izvir in potok Lipnik spadata v ožje vodovarstveno območje oziroma varstveni pas s strogim režimom zavarovanja. Severovzhodno pobočje Pokljuke, izpod katerega izvira Lipnik, spada med širše vodovarstveno območje oziroma varstveni pas z blagim režimom zavarovanja. V tem odloku preostali del Pokljuke ni zavarovan kot vodovarstveno območje, čeprav se del voda iz Pokljuke izteka v dolino Radovne, kjer leži tudi vodno zajetje Ovčja Jama (Žemva K., 2007).



Slika 5: Vodovarstveno območje Ovčja jama (Agencija RS za okolje, 2007)

Izvir Lipnik leži v tretjem varnostnem območju Triglavskega narodnega parka, ki je namenjeno ohranjanju in varovanju biotske raznovrstnosti, naravnih vrednot in kulturne dediščine ter izrazitih ekoloških, estetskih in kulturnih kakovosti krajine, ohranjanju poselitve ter spodbujanju trajnostnega razvoja, usklajenega s cilji narodnega parka (*Slika 6*). Za celotno območje parka veljajo določene prepovedi in omejitve, predvsem glede novih gradenj ter dejavnosti in posegov, ki bi lahko poslabšali ekološke razmere (Zakon o Triglavskem narodnem parku, 2010).

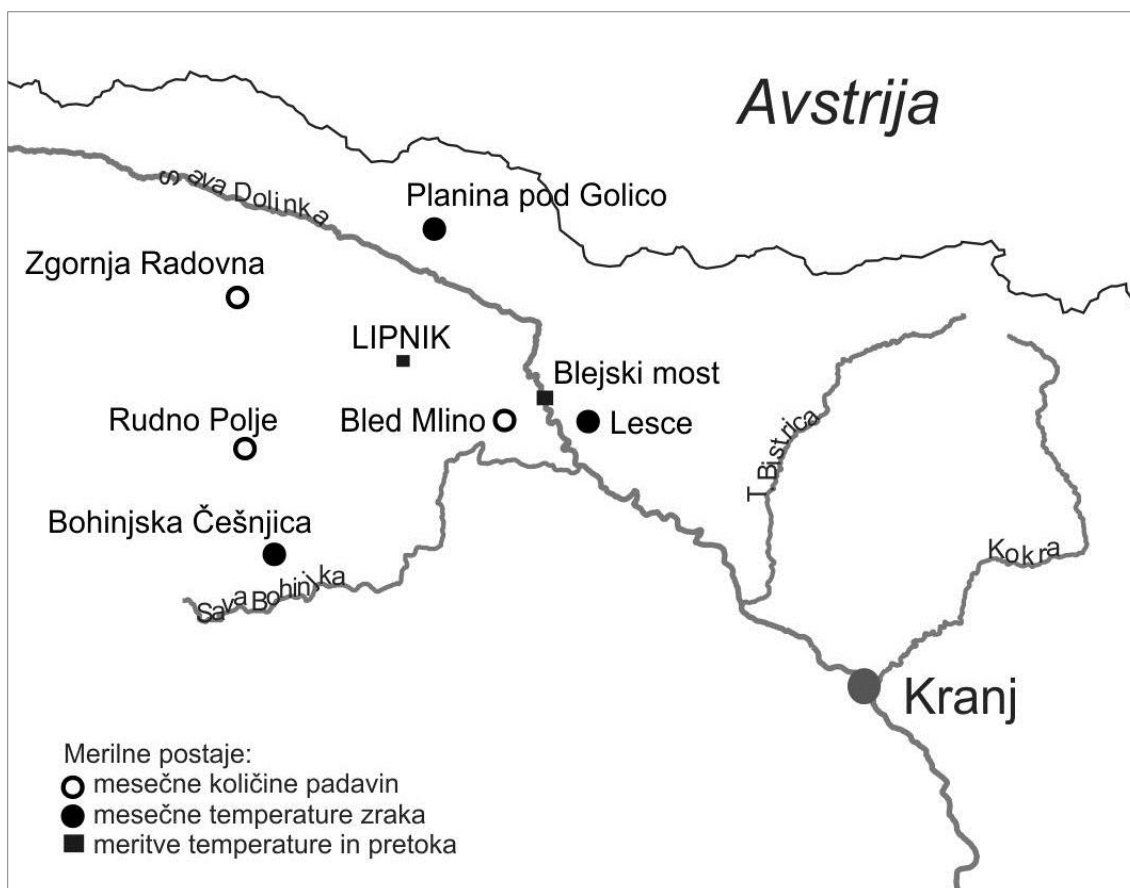


Slika 6: Triglavski narodni park (Geodetski inštitut Slovenije, 2011)

3 PRAKTIČNI DEL

3.1 Opis lokacije vzorčenja

Izvir Lipnik se nahaja v dolini Radovne pri Bledu v vzhodnem delu Julijskih Alp (Slika 7). Leži na geografski širini $46^{\circ} 17'$ severno in dolžini $13^{\circ} 56'$ vzhodno, na nadmorski višini 690 metrov (Geodetski inštitut Slovenije, 2011). Izvira izpod severovzhodnega dela Pokljuške planote, pod navpično, 250 metrov visoko steno Lipne peči in se v obliki kratkega potoka Lipnik nato izliva v reko Radovno in naprej v Savo Dolinko. Lipnik sestavlja več izvirov na razdalji 60 metrov, med katerimi je večina občasnih, kar pomeni, da se občasno izsušijo. Kraški vodonosnik Pokljuka, od koder se Lipnik napaja, je v glavnem sestavljen iz masivnega apnenca in debeložrnatega dolomita triasne starosti in je hidrološko povezan z aluvialnim vodonosnikom v dolini Radovne (Torkar A. in sod., 2012).



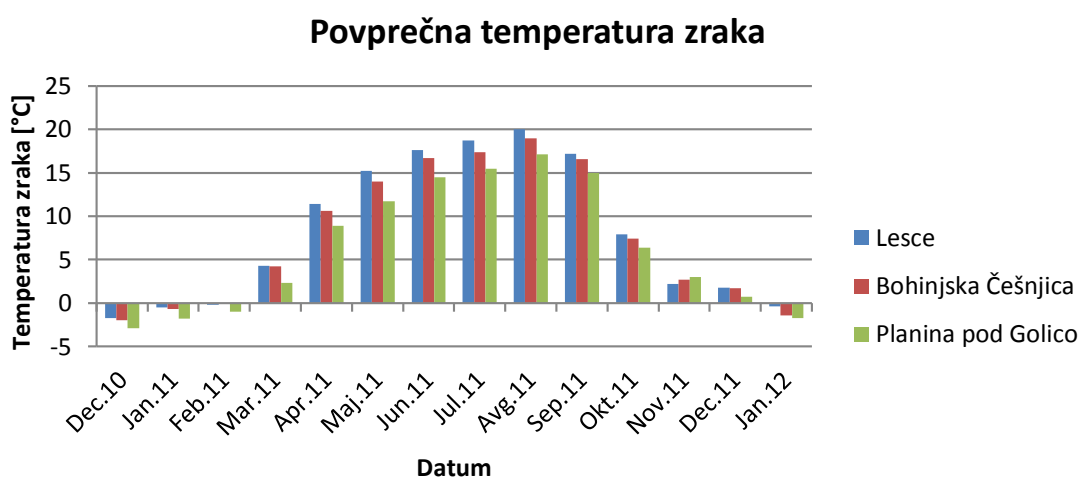
Slika 7: Lokacija izvira Lipnik in merilnih postaj za padavine, zrak in pretok

Dolina Radovne in Pokljuka imata alpsko podnebje, za katerega je značilno več padavin in nižje temperature kot drugje po Sloveniji. Letnih padavin je več kot 1500 mm (Gams I., 1998). Največ jih pade jeseni, nekoliko manj pa pozno pomladi oziroma v začetku poletja. Najtoplejši mesec je avgust in najhladnejši običajno februar (Agencija RS za okolje, 2006).

Za obdobje našega vzorčenja (december 2010 – januar 2012) smo z Agencije RS za okolje pridobili podatke o temperaturah zraka ter o količini padavin za izbrano območje

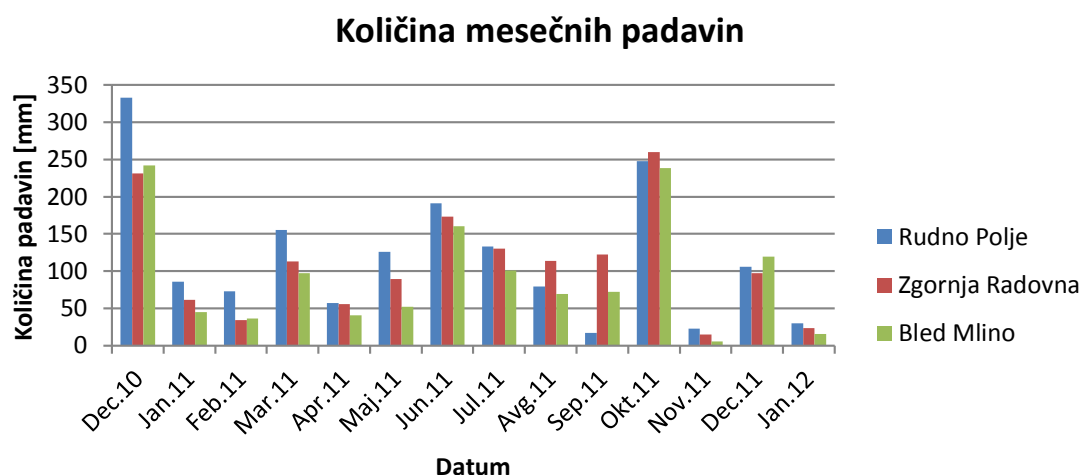
(Agencija RS za okolje, 2012). Podatki o temperaturi zraka, merjeni na dveh metrih višine, so bili pridobljeni iz klimatoloških postaj Lesce (515 m), Bohinjska Češnjica (595 m) in Planina pod Golico (970 m) (*Slika 7*). Podatki o količini padavin so bili pridobljeni iz padavinskih postaj Rudno Polje (1347 m), Zgornja Radovna (787 m) in Bled Mlino (504 m) (*Slika 7*). Izbrane postaje so bile najbližje lokaciji izvira Lipnik, kjer so se meritve izvajale, in nam lahko dajo okvirne podatke o nihanju temperatur zraka in o količini padavin na tem območju.

Povprečno temperaturo zraka za obdobje vzorčenja prikazuje *Slika 8*. Najhladneje je bilo od decembra 2010 do februarja 2011, ko so se povprečne mesečne temperature gibale od -3°C do 2°C . Najtopleje je bilo v mesecu avgustu 2011, ko se je temperatura dvignila tudi do 20°C . Takšno gibanje temperatur je značilno za alpsko podnebje. Povprečna letna temperatura za leto 2011 je bila v Lescah $9,6^{\circ}\text{C}$, v Bohinjski Češnjici $9,1^{\circ}\text{C}$ in na Planini pod Golico $7,7^{\circ}\text{C}$.



Slika 8: Povprečna temperatura zraka v Lescah, Bohinjski Češnjici in Planini pod Golico

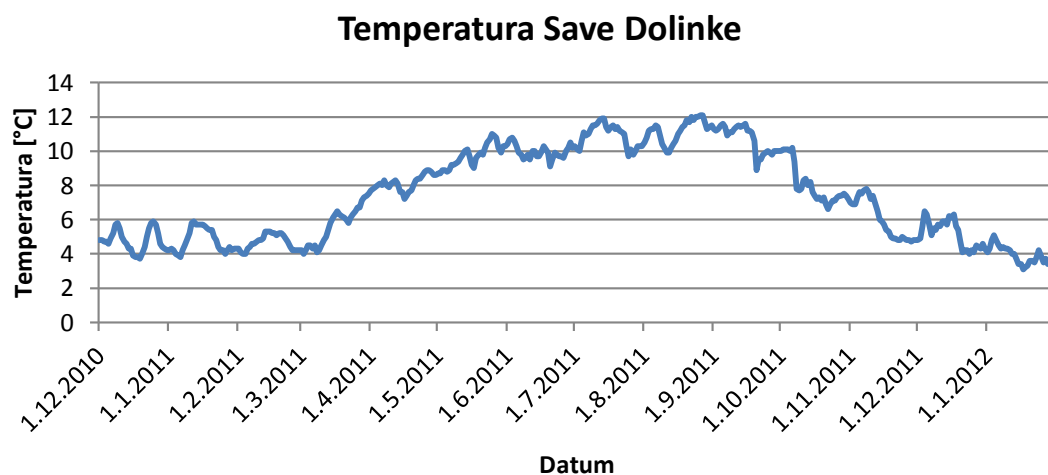
Količino mesečnih padavin prikazuje *Slika 9*. Največ padavin je padlo decembra 2010 (230–333 mm) in oktobra 2011 (238–260 mm), kar predstavlja jesenski višek padavin. V alpskem podnebju je izrazit tudi drugi višek padavin, ki je bil v juniju 2011 (160–190 mm).



Slika 9: Količina mesečnih padavin za Rudno Polje, Zgornjo Radovno in Bled Mlino (obdobje december 2010 – januar 2012)

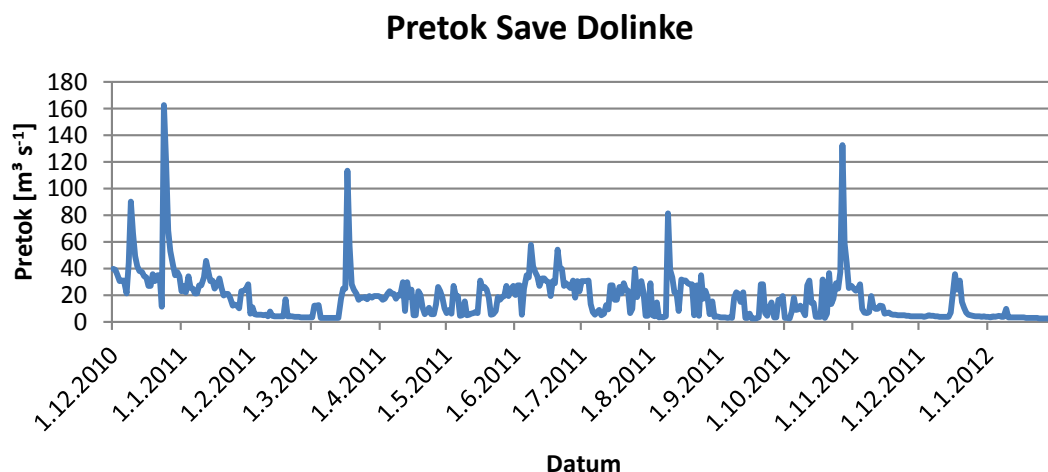
Na Agenciji RS za okolje smo pridobili tudi podatke o pretokih in temperaturah reke Save Dolinke na vodomerni postaji Blejski most, saj se na reki Radovni in potoku Lipnik v tem času meritve niso izvajale. Ta postaja je prva dolvodno od izliva Radovne v Savo Dolinko. S temi podatki smo posredno sklepali, kakšna so nihanja vodostajnih razmer v Poključskem vodonosniku in izvirih Lipnika.

Temperaturo reke Save Dolinke prikazuje *Slika 10*. Najnižja temperatura reke je bila v zimskem času, ko se je spustila do 3 °C. Najvišja temperatura reke je bila pozno poleti, ko je dosegla 12 °C.



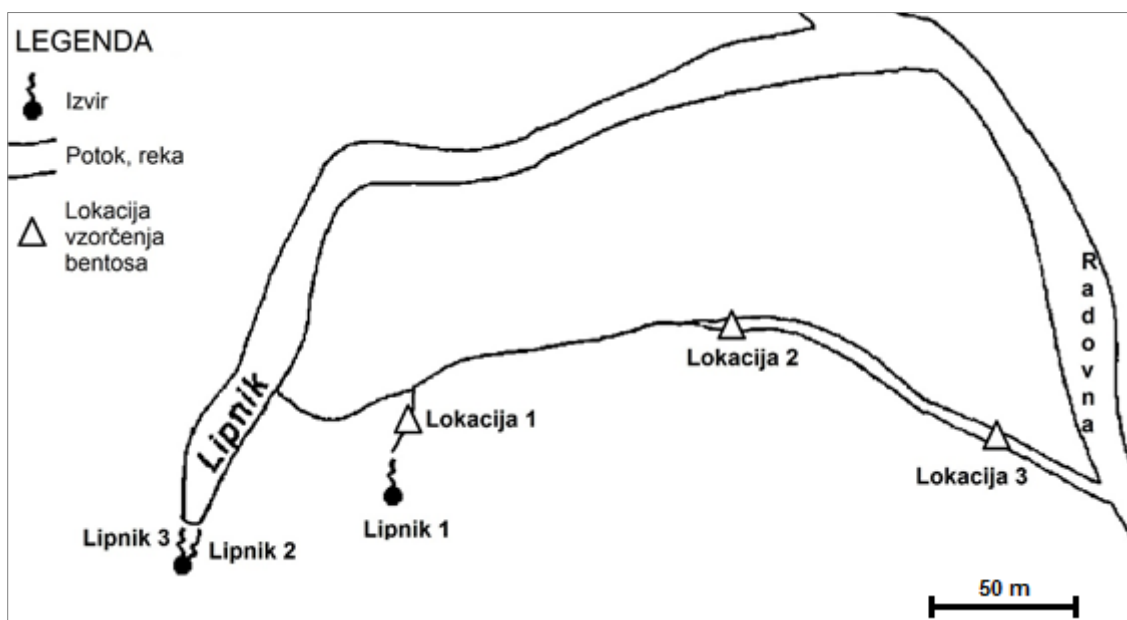
Slika 10: Temperatura reke Save Dolinke na Blejskem mostu v času raziskav

Pretok reke Save Dolinke prikazuje *Slika 11*. Najbolj izraziti viški pretoka reke so bili konec decembra 2010 ($163 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), sredi marca 2011 ($113 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) in konec oktobra 2011 ($132 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).



Slika 11: Pretoki reke Save Dolinke na Blejskem mostu v času raziskav

Slika 12 nam prikazuje lokacijo stalnega rekrenega izvira Lipnik 1 (Slika 13) in občasnih rekrenih izvirov Lipnik 2 in 3 (Slika 14). Na dnu izvirskih kotanj najdemo predvsem skale, prisotna pa sta tudi prod in pesek. Zasenčenost izvirov je močna, saj jih obdajajo mešani gozd in veliki skalni balvani.



Slika 12: Lokacije izvirov Lipnik 1, 2 in 3 ter lokacije vzorčenja bentosa 1, 2 in 3



Slika 13: Izvir Lipnik 1



Slika 14: Izvira Lipnik 2 (levo) in 3 (desno)

3.2 Terensko delo

V okviru diplomske naloge sem izvedla dva sklopa vzorčenj. Prvo vzorčenje so bile fizikalne in kemijske meritve vode in vzorčenje drifta v enem stalnem (Lipnik 1) in dveh občasnih izvirih Lipnika (Lipnik 2 in 3) v mesečnih presledkih od decembra 2010 do januarja 2012, drugo pa enkratne meritve in vzorčenje bentosa potoka Lipnik od izvira do izliva v reko Radovno.

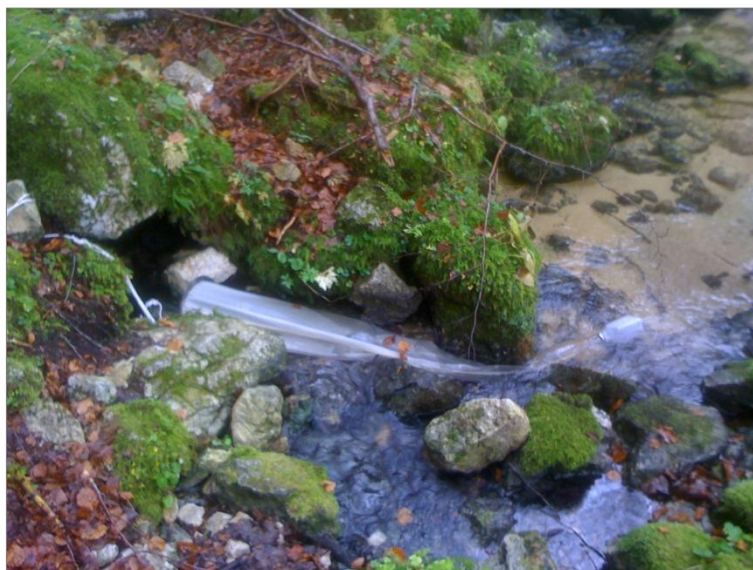
Raziskava s podobnimi metodami dela je bila izvedena že leta 1991 na Nizozemskem. V njej so dokazali, da je pomembno, kakšen tip izvira vzameš, saj je za vzorčenje kraških vodonosnikov edini primeren reokreni tip izvira (Notenboom J. in sod., 1996).

3.2.1 Vzorčenje drifta

V tej raziskavi sem izvire uporabila kot dostopne točke za vzorčenje podzemne favne živeče v kraškem vodonosniku, ki se aktivno ali pasivno »izpira« iz vodonosnika.

Izvir Lipnik sem vzorčila enkrat mesečno od decembra 2010 do januarja 2012, in sicer na treh lokacijah. Prva lokacija je bil stalen izvir Lipnik 1, druga in tretja lokacija pa sta bila občasna izvira Lipnik 2 in Lipnik 3 (*Slika 12*). Slednja izvira sta imela različne lokacije zaradi različnih vodostajev. Takrat sem vzorčila nekaj metrov nižje ter vzorčni točki označila z Lipnik 2X ali 3X.

Za vzorčenje v izviri sem uporabila driftne mreže z okroglim premerom 20 cm, dolžino 2 m in velikostjo odprtin 100 μ m. Postavila sem jih tako, da je obroč, na katerem je bila pritrjena mreža, stal pravokotno na podlago (*Slika 15*). Skozi mrežo je tekla voda in živali so se ujele v plastenko pritrjeno na koncu. Po 24 urah sem mreže odstranila, jih sprala in vsebino plastenk shranila v plastičnih posodah. Vzorce sem shranila v 70 % etanolu in jih nesla v laboratorij.



Slika 15: Driftna mreža na izviru Lipnik 1

Ob mesečnem vzorčenju sem v vsakem izviru posebej izmerila temperaturo in specifično električno prevodnost vode, koncentracijo kisika in njegovo nasičenost ter odvzela vzorce vode za kemijske analize iz Lipnika 1 (stalen izvir) in Lipnika 2 (občasen izvir). Kemijske analize niso bile narejene na vzorcih vode iz Lipnika 3, ker me je v diplomski nalogi zanimalo predvsem mesečno spreminjanje kemijskih lastnosti vode ter primerjava med stalnim in občasnim izvirom. Za merjenje temperature in specifične električne prevodnosti vode sem uporabila merilnik WTW Multiline P4, TetraCon 325 ter za merjenje kisika merilnik WTW Multiline P4, Cellox 325. Sonde merilnikov sem potopila v vodo in počakala, da se je vrednost na ekranu ustalila. Pri tem sem morala paziti, da so bili merilniki pred merjenjem vedno kalibrirani.

V vsakem izviru sem izmerila tudi globino vode in premer izvira z metrom ter ocenila hitrost vodnega toka s pomočjo plovca. Z meritvami površinske hitrosti vodnega toka se lahko ocenijo povprečne hitrosti vertikalnega stolpca vode, kadar se izmerjene vrednosti pomnožijo s faktorjem 0,67 (pri globini 0,5 m) oziroma 0,70 (pri globini 1m) (Urbanič G. in Toman M.J., 2003). Na vsakem vzorčnem mestu sem naredila tri

ponovitve meritev in izračunala povprečje. Iz izmerjenih podatkov sem izračunala pretok vode v izviri po enačbi 1:

$$q = A * v \quad (1)$$

kjer je q volumski pretok [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$], A presek struge [m^2] in v povprečna hitrost vodnega toka [m s^{-1}].

3.2.2 Vzorčenje bentosa

V aprilu 2012 sem vzorčila bentos potoka s Hessovim vzorčevalnikom. To je naprava v obliki cilindra (premer 30 cm, površina 700 cm^2), ki ima na eni strani odprtino z mrežo, skozi katero prihaja voda, na nasprotni strani pa je pripeta mreža (z dolžino 70 cm in odprtinami $100 \mu\text{m}$), v katero se ujamejo živali in organski material. Vzorčevalnik sem namestila na dno potoka ter pazila, da je voda prehajala skozenj. Z roko sem previdno drgnila večje kamne, ter premešala prod in pesek (*Slika 16*). Po treh minutah sem mrežo sprala in vsebina vzorca se je ujela v plastenko pritrjeno na konec mreže. Vzorec sem prelila v posebej označene posode in zalila s 70 % etanolom.



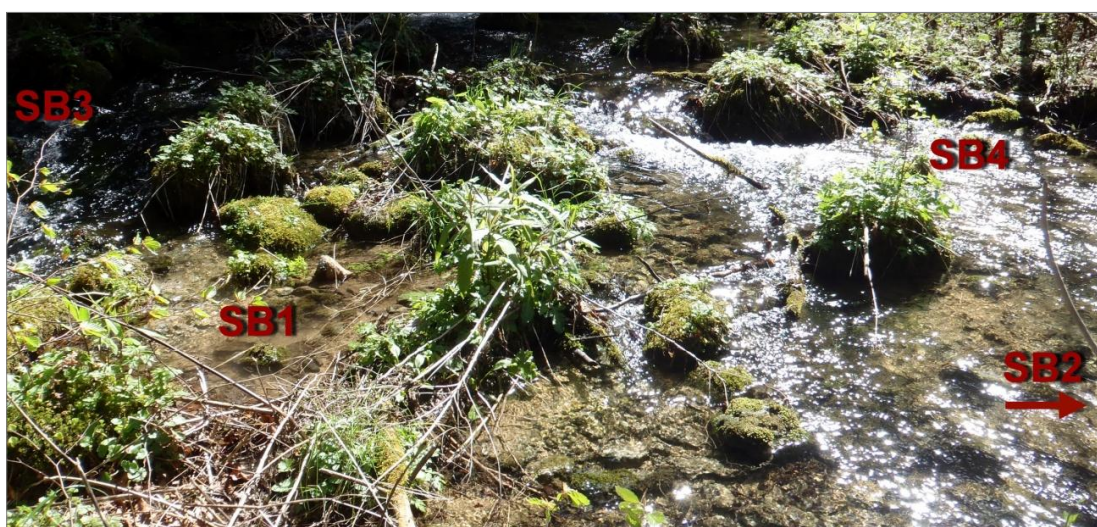
Slika 16: Uporaba Hessovega vzorčevalnika

Izmerila sem tudi temperaturo in specifično električno prevodnost vode z merilnikom WTW Multiline P4, TetraCon 325, kisik z merilnikom WTW Multiline P4, Cellox 325, globino vode in hitrost vodnega toka z merilnikom Flow meter OTT ADC. Sonde merilnikov sem potopila v vodo in počakala, da se je vrednost na ekranu ustalila. Pri tem sem morala paziti, da so bili merilniki kalibrirani.

Potok sem razdelila na tri odseke (*Slika 12*), in sicer na območje izvira Lipnik 1 (*Slika 17*), območje na sredini celotne dolžine potoka (*Slika 18*) ter območje pred izlivom potoka v reko Radovno (*Slika 19*). Na vsakem odseku sem vzela štiri biološke vzorce (replikate) in izmerila fizikalne in kemijske lastnosti vode. Na območju izvira (lokacija 1) sem izbrala štiri vzorčevalna mesta in jih označila z S (izvir), SB1 (potok 1), SB2 (potok 2) in SB3 (potok 3). Na ostalih dveh lokacijah pa sem vzorčevalna mesta označila z SB1 (potok 1), SB2 (potok 2), SB3 (potok 3) in SB4 (potok 4).



Slika 17: Lokacija 1 na potoku Lipnik z vzorčevalnimi mesti S, SB1, SB2 in SB3



Slika 18: Lokacija 2 na potoku Lipnik z vzorčevalnimi mesti SB1, SB2, SB3 in SB4



Slika 19: Lokacija 3 na potoku Lipnik z vzorčevalnimi mesti SB1, SB2, SB3 in SB4

3.3 Laboratorijsko delo

V laboratoriju sem analizirala vzorce tako kemijsko kot biološko, določila sem tudi delež organske snovi na enoto površine ali volumen prefiltrirane vode.

3.3.1 Kemijske analize

Kemijske analize so bile izvedene na Nacionalnem inštitutu za biologijo, in sicer po APHA (American Public Health Association) standardnih metodah za preiskave voda in odpadnih voda. pH vrednost je bila izmerjena s pH metrom (merilnik WTW pH 540 GLP, TetraCon 325) ter alkaliteta vode s titracijo po Granu. Natrijevi, kalijevi, kalcijevi, magnezijevi, kloridni, sulfatni, nitritni, nitratni ioni, amonij, celotni dušik, fosfati ter celotni fosfor so bili izmerjeni z ionsko izmenjevalno kromatografijo (merilna naprava Metrohm, 761 Compact IC) (APHA, 1998).

3.3.2 Biološke analize

Driftne biološke vzorce sem pripravila za sortiranje tako, da sem jih večkrat prelila skozi sito z odprtinami 60 μm in jih dobro sprala z vodo. Bentoške biološke vzorce pa sem najprej presejala skozi sito z 2 mm zankami ter večje organske delce zavrgla. Manjše delce sem prelila skozi sito s 60 μm odprtinami in jih dobro sprala z vodo. Kjer je bila večja količina peska, sem ga odstranila tako, da sem vzorec zlila v banjico in ga dobro sprala. Po petih ponovitvah sem pesek zavrgla.

Vzorce sem nato pregledala pod lupo (Stereo mikroskop SZX 9 ZOOM Olympus) pri 16-kratni povečavi in razvrstila živali na naslednje skupine: ciklopoidi, harpaktikoidi, dvoklopniki, maloščetinci, gliste, slepe postrance, postrance, raki peščinariji, enakonožci, mehkužci, žuželke, trzače in vodne pršice. Živali sem shranila v 70 % etanolu.

Pri določanju vrst sem se osredotočila na dvoklopnike, ciklopoide in harpaktikoide, pri ostalih taksonih pa sem osebke le preštela.

Pri določevanju dvoklopnikov sem osebke s pomočjo kapalke kanila na stekleno banjico, jih pod lupo (Stereomikroskop Olympus SZH) pregledala pri 30-kratni povečavi in razvrstila po vrstah. Vrste sem določila po določevalnem ključu Meischa C. (2000). Pri vsaki vrsti sem nato določila spol osebkov, izmerila njihovo velikost ter jih shranila v 70 % etanolu.

Enak postopek je bil uporabljen pri določevanju ceponožcev z določevalnima ključema Einslea U. (1993) ter Janetzkyja W. in sod. (1996).

3.3.3 Določanje organske snovi

Ko so bile vse živali pobrane iz vzorcev, sem določila tudi delež organske snovi za posamezen vzorec z metodo izgube ob sežigu (loss on ignition - LOI). Najprej sem skozi sito z odprtinami 60 μm odstranila vodo iz vzorca ter organsko snov prelila v

keramičen lonček. Lončke sem postavila v sušilnik in jih 24 ur sušila na 105 °C. Nato sem jih stehtala in jih dala v peč na 550 °C za 4 ure, kjer je organska snov izgorela v pepel in ogljikov dioksid (APHA, 1998). Vzorce sem prestavila v eksikator, kjer so se ohladili. S tem sem preprečila vezanje vlage iz zraka nazaj v vzorec. Potem sem stehtala lončke z organsko snovjo in brez nje ter odštela teže lončkov. Tako sem dobila podatke o teži vzorca, ki so bili potrebni za izračun deleža organske snovi po enačbi 2 (APHA, 1998):

$$LOI_{550} = \left(\frac{DW_{105} - DW_{550}}{DW_{105}} \right) * 100 \quad (2)$$

kjer je LOI_{550} izguba pri sežigu pri 550 °C [%], DW_{105} suha teža vzorca pred sežiganjem [g] in DW_{550} suha teža vzorca po sežigu na 550 °C [g]. Izguba teže je sorazmerna s količino organskega ogljika v vzorcu.

3.4 Statistična obdelava podatkov

Fizikalne in kemijske lastnosti vode v izvirih Lipnik 1 in 2 sem primerjala s Studentovim t-testom. S t-testom se preverja razlike med aritmetičnima sredinama neodvisnih majhnih vzorcev ($n < 30$). Najprej sem ugotovila ali se variance razlikujejo ali ne in glede na rezultat uporabila ustrezen t-test. Osnova za primerjavo dveh skupin je izračun vrednosti t statistike in določitev stopnje značilnosti α . Pri tem testu je pomembna tudi vrednost p, ki določa ali so povprečja danih podatkov glede na stopnjo značilnosti enaka ali različna.

Pred statistično obdelavo bioloških podatkov, sem podatke o driftu preračunala na enako volumsko enoto ($857,1 \text{ m}^3 = \max V$). Pri tem sem upoštevala dolžino vzorčenja [h], hitrost vodnega toka [m s^{-1}], faktor upočasnitve pretoka zaradi mreže [0,8] in površino preseka mreže [m^2], ki je bila v vodi. Podatke o bentosu sem preračunala na površino enega kvadratnega metra.

Vrstno pestrost združbe ceponožcev in dvoklopnikov sem prikazala s Shannonovim diverzitetnim indeksom (H), Simpsonovim indeksom raznolikosti (D) ter Buzas-Gibsonovim ravnovesjem (E). Indekse sem izračunala za vsak odvzeti vzorec posebej in določila skupno povprečje za stalen in občasna izvira ter bentos. S tem sem jih lahko primerjala med seboj. Za računanje sem uporabila program PAST 2.16 (Hammer Ø. In sod., 2001).

Shannonov diverzitetni indeks temelji na relativni abundanci posameznih vrst (Shannon C.E. in Weaver W., 1949). Indeks variira od 0 (združbe s samo enim taksonom) do višjih vrednosti (združbe z veliko taksoni, vsak le z nekaj posamezniki). Indeks ima maksimalno vrednost takrat, ko je številčnost vseh vrst enaka (hipotetični diverzitetni indeks). Za izračun indeksa sem uporabila enačbo 3:

$$H = - \sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

kjer je n_i število osebkov vrste i in N skupno število osebkov v vzorcu.

Simpsonov indeks raznolikosti predstavlja verjetnost, da bosta dva naključno izbrana osebkova v vzorcu pripadala dvema različnima vrstama. Upošteva tako število vrst kot abundanco vsake vrste. Vrednost tega indeksa se giblje med 0 (ena vrsta dominantna,

ni raznolikosti) in 1 (neskončna raznolikost) (Simpson E.H., 1949). Za izračun indeksa sem uporabila enačbo 4:

$$D = 1 - \left(\frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \right) \quad (4)$$

kjer je n skupno število organizmov posamezne vrste in N skupno število vseh vrst organizmov.

Buzas-Gibsonovo ravnovesje (E) variira od 0 (enakomerneje razporejeni taksoni, v ravnovesju) do 1 (v neravnovesju) (Zamfirescu O. in Zamfirescu S.R., 2003). Ravnovesje sem izračunala po enačbi 5:

$$E = \frac{e^H}{S} \quad (5)$$

kjer je e matematična konstanta, H Shannonov indeks in S število vrst.

Vrstno pestrost združbe ceponožcev in dvoklopnikov sem predstavila tudi grafično, in sicer z uporabo krivulje pričakovane vrstne akumulacije ali Mao-Tau krivulje. V programu EstimateS 8.2 (Colwell R.K., 2011) sem uporabila analitsko metodo, ki opravi kvantitativno primerjavo med združbami. Ta krivulja oceni vrstno pestrost, glede na vse odkrite vrste na vzorčevalnem območju. Krivulje so bile izračunane za vsako cono posebej, zaradi primerjave učinkovitosti vzorčenja teh habitatov. Pričakovano število vrst za posamezen habitat pa je bilo izračunano na podlagi enačbe Chao₂ (Ugland K.I. in sod., 2003).

Za primerjavo fizikalnih in kemijskih dejavnikov in združb med izviri ter bentosom smo izvedli multivariatne analize in pri tem uporabili program CANOCO 4.5. Za fizikalne in kemijske dejavnike smo uporabili PCA analizo (principal components analysis), kjer smo upoštevali 11 okoljskih spremenljivk iz vzorcev Lipnik 1 in 2. Za primerjavo združb smo uporabili DCA analizo (detrended correspondence analysis), kjer smo podatke pred analizo normalizirali z log(x+1) in raztežili redke vrste. Rezultati analiz so prikazani z ordinacijskima diagramoma.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

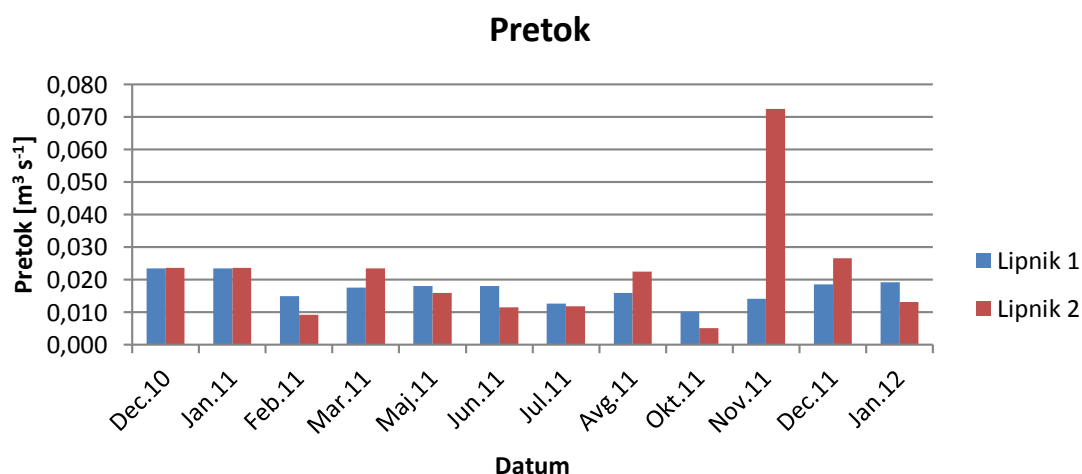
4.1 Fizikalne in kemijske lastnosti vode

Rezultati fizikalnih in kemijskih lastnosti vode so predstavljeni delno grafično delno v preglednicah. Rezultatov nekaterih meritev v decembru 2010 in januarju 2011 ni zaradi napake na merilni napravi.

4.1.1 Izviri Lipnika

Pretok je količina vode, izražena v litrih ali m^3 , ki v sekundi preteče skozi znani presek struge (Rejic M. in Smolej I., 1988). Določajo ga širina in globina struge, hitrost vodnega toka in hrapavost substrata. Nanj vpliva tudi velikost in prevotljenost geoloških skladov v zaledju izvira ter količina padavin oziroma podnebje (Giller P.S. in Malmqvist B., 1998). Med obilnejšim deževjem in hitrejšim taljenjem snega pretok hitro narašča, po prenehanju dežja in taljenja snega pa pretok upada počasneje in se izravnava (Rejic M. in Smolej I., 1988). Pri izviri z golim zaledjem se pretok praviloma spreminja hitreje kot pri tistih pokritih z vegetacijo, zlasti z gozdom (Brancelj A., 1995).

Oceno pretoka vode [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 20*. V obeh izviri pretok ne niha veliko ($0,005\text{--}0,027 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$), z izjemo izvir Lipnik 2 v novembru 2011 ($0,077 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$). Ocena pretoka v izviru Lipnik leta 1999 je bila $0,1 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ (Mori N., 2001; Kejžar Z., 2003), kar je podobno ocenam iz te raziskave. Visok pretok v novembru 2011 v Lipniku 2 lahko povežemo z oktobrskimi padavinami (*Slika 9*), ker smo vzorčili na začetku meseca novembra. V tem času ima tudi Sava Dolinka izrazito povišan pretok (*Slika 11*). Ker je Lipnik 2 občasen izvir, imajo padavine veliko večji vpliv na njegov pretok kot na stalen izvir Lipnik 1.

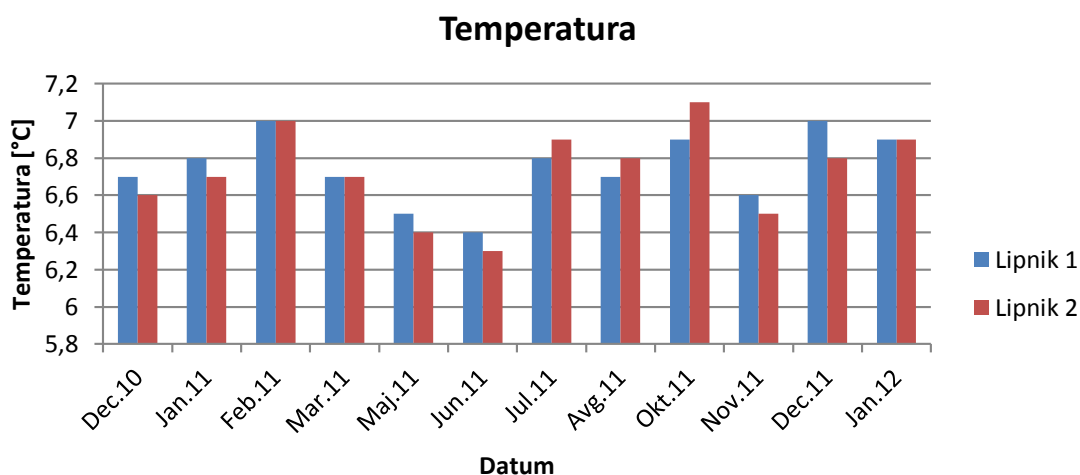


Slika 20: Pretok v izviri Lipnik 1 in 2

Podzemna voda dobiva toploto posredno z vodo, ki priteka s površja po različnih poteh, veljala pa naj bi za močan toplotni pufer (Rejic M. in Smolej I., 1988). Temperatura vode v izviri je odvisna od globine freatičnega bazena, ki napaja izvir, nadmorske višine, izpostavljenosti, trdnosti in prepustnosti sedimentov, skozi katere prehaja voda

na površino (Mori N., 2001, cit. po Cantonati M. in sod., 1996). Temperatura vode neposredno vpliva na fizikalne, kemijske in biotske procese v vodi. Ob zviševanju temperature se kemijske reakcije in izhlapevanje pospešijo, zmanjša se topnost nekaterih plinov v vodi (O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4), zviša se stopnja dihanja pri organizmih, kar povzroči povečano privzemanje kisika in pospešeno dekompozicijo organskih snovi ter zviša se stopnja rasti (Urbanič M. in Toman M.J., 2003).

Temperaturo vode [$^{\circ}C$] v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 21*. Razvidno je, da temperatura vode med izvirioma v posameznih mesecih le malo niha, največ za dve desetinki $^{\circ}C$. V izviru Lipnik 1 je najnižja temperatura vode $6,4^{\circ}C$ (januar 2011) in najvišja $7^{\circ}C$ (februar in december 2011). V izviru Lipnik 2 je najnižja temperatura vode $6,3^{\circ}C$ (junij 2011) in najvišja $7,1^{\circ}C$ (oktober 2011). Meritve iz leta 1999, so pokazale podobno temperaturo vode ($5,6$ – $8,4^{\circ}C$) (Mori N. in Brancelj A., 2006). *Slika 21* kaže, da temperatura podzemne vode ni odvisna od letnega spreminjanja temperature ozračja, ki ima obliko normalne krivulje (*Slika 8*). V primerjavi s temperaturo podzemne vode dinarskega krasa ($11^{\circ}C$), je temperatura vode v izviri Lipnik nizka (Gams I., 1974). Letna temperatura vode tipičnih kraških izvirov niha za manj kot $1^{\circ}C$, kar je v tem primeru potrjeno, in je približno enaka srednji letni temperaturi zraka tistega kraja (Gams I., 1974). Povprečna temperatura obeh izvirov je $6,8^{\circ}C$, po pridobljenih meteoroloških podatkih pa naj bi bila temperatura tega kraja $7,7$ – $9,6^{\circ}C$. Nižjo temperaturo vode v izviri lahko pripišemo legi izvira, saj so izviri v gozdu hladnejši zaradi vegetacije, ki zmanjša vpliv ozračja na temperaturo vode (Gams I., 1974). Možen je tudi vpliv zaledja, kjer hladnejša voda priteka z višjih nadmorskih višin.

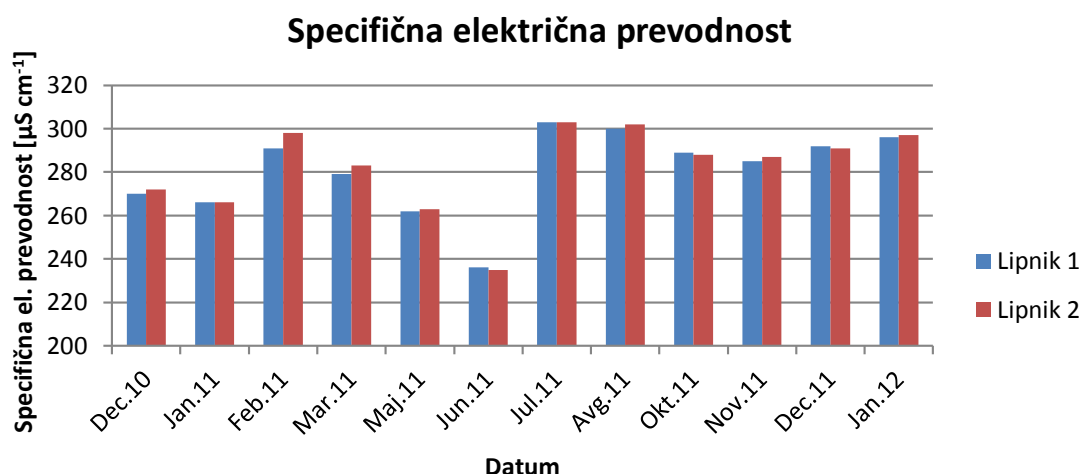


Slika 21: Temperatura vode v izviri Lipnik 1 in 2

Specifična električna prevodnost vode je lastnost vode, da prevaja električni tok. Odvisna je od prisotnosti ionov v vodi: od njihove koncentracije, gibljivosti in naboja ter temperature vode ob merjenju. Na specifično električno prevodnost vode običajno vplivajo koncentracije kalcijevih, magnezijevih, natrijevih, kalijevih, hidrogenkarbonatnih, sulfatnih in kloridnih ionov (Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, 2011). Na količino raztopljenih ionov v vodi vpliva hitrost vodnega toka, zadrževalni čas vode v podzemlju in stopnja razgradnje (Mori N., 2001). Več kot je hranil v vodi, tem višja je specifična električna prevodnost, saj se z dotokom hranil praviloma poveča količina nabitih delcev. Vrednosti specifične električne prevodnosti so najvišje jeseni, ko prihaja do intenzivne razgradnje odpadlega listja, bioprodukcija pa je zaradi nizkih temperatur in manjše intenzitete svetlobe relativno nizka. Manjšo

koncentracijo ionov zaradi učinka redčenja povzročijo tudi padavine (Urbanič M. in Toman M.J., 2003).

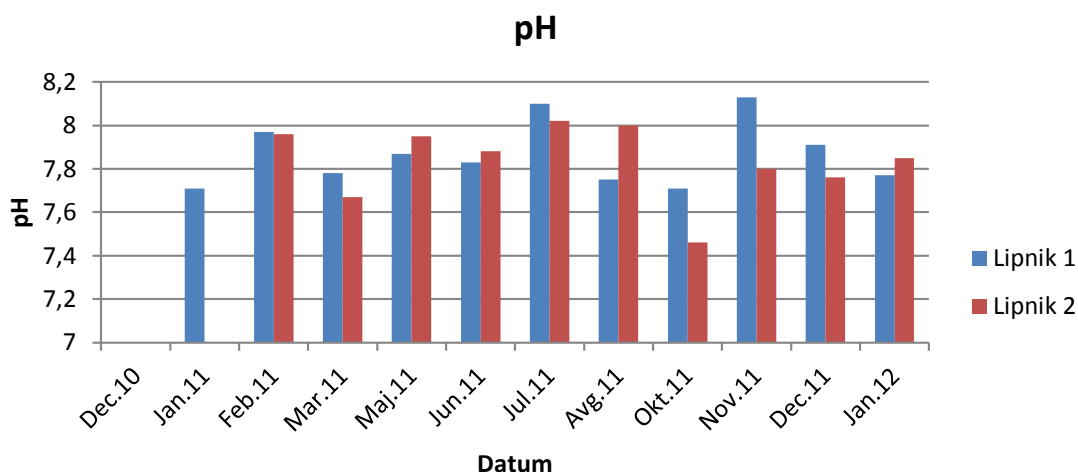
Vrednosti specifične električne prevodnosti vode [$\mu\text{S cm}^{-1}$] v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 22*. V posameznih mesecih je specifična električna prevodnost vode v obeh izviri skoraj enaka, najnižja je junija 2011 ($235 \mu\text{S cm}^{-1}$) in najvišja julija 2011 ($303 \mu\text{S cm}^{-1}$). Nizke vrednosti specifične električne prevodnosti v juniju 2011 so lahko povezane z dokaj veliko količino padavin v tem mesecu in taljenjem snega v visokogorju (*Slika 9*), višje vrednosti v juliju in avgustu 2011 pa so povezane z višjo koncentracijo hranil v vodi (*Slika 28*, *Slika 29*). Vrednosti specifične električne prevodnosti v obeh izviri so bile nižje kot v raziskavah izvira Lipnik iz leta 1999 ($315 \mu\text{S cm}^{-1}$) (Kejžar Z., 2003; Mori N. in Brancelj A., 2006), vendar še vedno dokaj visoke zaradi karbonatnega zaledja in posledično visoke vrednosti kalcijevih ionov.



Slika 22: Specifična električna prevodnost vode v izviri Lipnik 1 in 2

pH vrednost je merilo za koncentracijo vodikovih ionov in določa stopnjo kislosti oziroma bazičnosti vode. Vrednosti pH so lahko od 0 (zelo kislo) do 14 (zelo bazično), pri čemer pH 7 predstavlja nevtrarno območje (Urbanič M. in Toman M.J., 2003). Naše vode imajo pH vrednost od 6 do 8,5, kjer živi tudi večina vrst vodnih organizmov. Pri nižjih in višjih vrednostih pH število vrst hitro upada (Rejic M. in Smolej I., 1988).

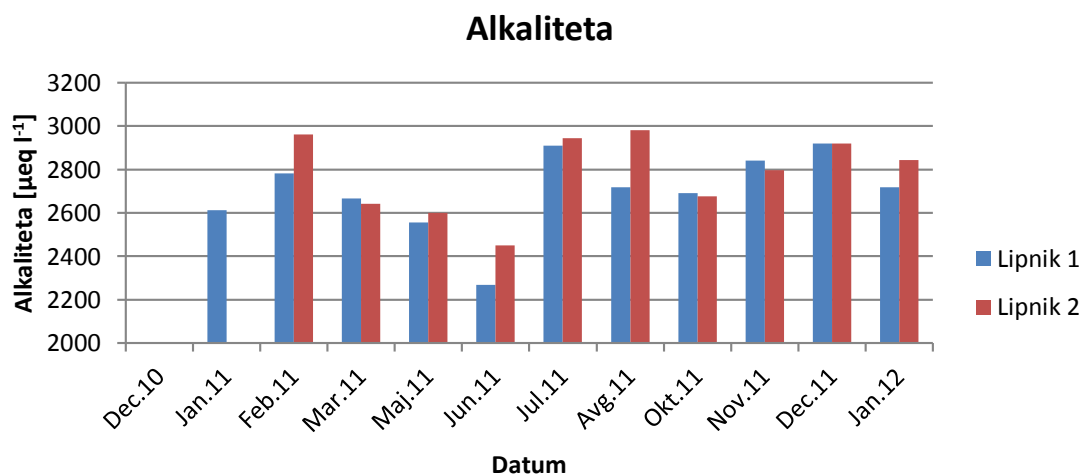
Rezultate meritev pH vrednosti vode v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 23*. V posameznih mesecih med izviri ni večjih razlik. Največja vrednost pH vode v Lipniku 1 je 8,13 (november 2011) in 8,02 v Lipniku 2 (julij 2011). Najnižja vrednost pH vode v Lipniku 1 je 7,71 (januar in oktober 2011) in 7,46 v Lipniku 2 (oktober 2011). Vrednosti pH v obeh izviri so bile rahlo bazične, s povprečno vrednostjo 7,9. Razlog za to je raztapljanje apnenca, kar poveča vsebnost bikarbonatnih ionov, ki zvišajo vrednost pH. pH vrednost izvira Lipnik iz leta 1999 je bila zelo podobna naši vrednosti, in sicer 7,8. pH vrednosti drugih izvirov v Julijskih Alpah, obravnavanih v raziskavi leta 1999, so bile od 7,7 do 8,0, kar kaže na bazično zaledje izvirov (Kejžar Z., 2003; Mori N. in Brancelj A., 2006).



Slika 23: pH vrednost vode v izvirih Lipnik 1 in 2

Alkaliteta vode je merilo njene kapacitete, da nevtralizira kisline oziroma njena pufrska moč. Visoka alkaliteta nakazuje prisotnost karbonatnih in bikarbonatnih ionov v vodi. Višja je v izvirih z dobro obraščenim apnenčastim zaledjem in kjer je pretakanje vode v podzemnih kanalih počasnejše. Alkaliteta je nižja, kadar se voda v podzemlju zadržuje kratek čas in po deževnih obdobjih (zaradi večjih pretokov in višje hitrosti vode) (Rejic M. in Smolej I., 1988; Brancelj A., 1995).

Vrednosti alkalitete vode [$\mu\text{eq l}^{-1}$] v izvirih Lipnik 1 in 2 prikazuje Slika 24. Vrednosti alkalitete vode med izviri v posameznih mesecih so si precej podobne, in sicer se gibljejo od 2269 $\mu\text{eq l}^{-1}$ (junij 2011) do 2919 $\mu\text{eq l}^{-1}$ (december 2011) v Lipniku 1 in od 2451 $\mu\text{eq l}^{-1}$ (junij 2011) do 2980 $\mu\text{eq l}^{-1}$ (avgust 2011) v Lipniku 2. Najnižja vrednost alkalitete v obeh izvirih je bila, enako kot specifična električna prevodnost, junija 2011 zaradi dokaj velike količine padavin. V naših vzorcih je bila vrednost alkalitete enaka vrednosti iz leta 1999 (2536 $\mu\text{eq l}^{-1}$) (Kejžar Z., 2003; Mori N. in Brancelj A., 2006).

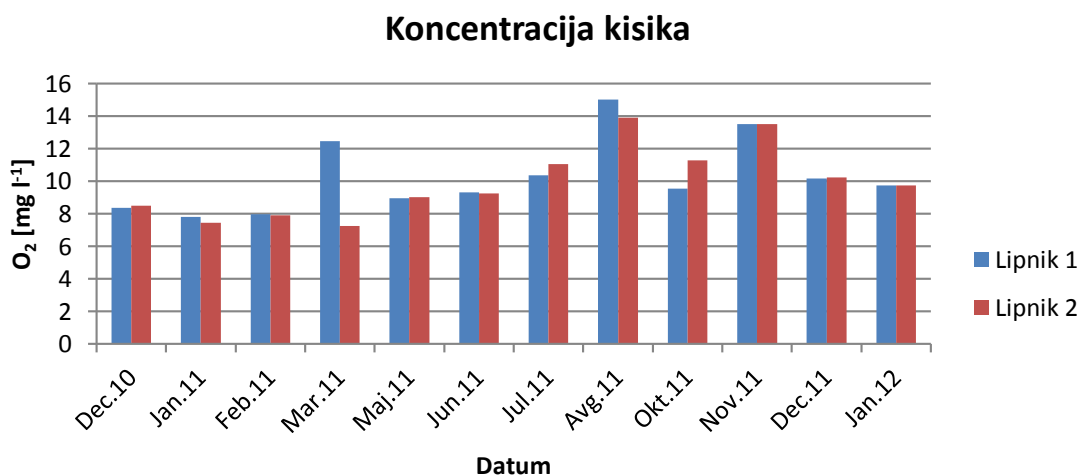


Slika 24: Alkaliteta vode v izvirih Lipnik 1 in 2

Prosti kisik v vodi je bistven za vse aerobne organizme in je odvisen od fizikalnih, kemijskih in biotskih procesov v vodi. Spreminja se v odvisnosti od temperature in

atmosferskega tlaka, koncentracije ionov, turbulence, hitrosti vodnega toka, globine vode, sedimentov v vodi, difuzije kisika iz zraka, fotosintezne aktivnosti primarnih producentov, mikrobnega razgradnje in dihanja vodnih organizmov. Višja temperatura in slanost vode zmanjšata topnost kisika, medtem ko s turbulenco narašča (Mori N., 2001; Urbanič M. in Toman M.J., 2003). V podzemlju ni primarnih producentov, ki bi ogljikov dioksid pretvarjali v kisik in zviševali njegovo koncentracijo. Nasprotno pa se zaradi hitrega pretoka vode po širokih podzemnih špranjah ne uspe raztopiti veliko ogljikovega dioksida, zato koncentracija kisika ostaja višja. Prav tako se koncentracija kisika poveča takoj, ko voda priteče na površino, ogljikov dioksid pa začne izhajati iz nje (McCabe D.J., 1998). V celinskih vodah niha koncentracija kisika med 15 mg l⁻¹ pri 0 °C in 8 mg l⁻¹ pri 25 °C (Urbanič M. in Toman M.J., 2003).

Koncentracijo kisika [mg l⁻¹] v izvirih Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 25*. V obeh izvirih je najvišja koncentracija kisika v avgustu 2011, in sicer 15,02 mg l⁻¹ v Lipniku 1 in 13,90 mg l⁻¹ v Lipniku 2. Najnižja koncentracija kisika v Lipniku 1 je 7,80 mg l⁻¹ (januar 2011) in 7,24 mg l⁻¹ v Lipniku 2 (marec 2011). Razen v mesecu marcu in oktobru 2011, so si vrednosti koncentracije kisika med izviroma zelo podobne. V času našega vzorčenja koncentracija kisika nikoli ni padla pod 7 mg l⁻¹. To je lahko posledica nižjih temperatur vode (povprečno 6,7 °C), kar pomeni višjo stopnjo raztapljanja kisika, hitrega pronicanja vode skozi podlago, majhne porabe kisika za razgradnjo in dihanje ter večje hitrosti vodnega toka, kar povzroči več mešanja in večje raztapljanje kisika v vodi (Mori N., 2001). V primerjavi z rezultati iz leta 1999, ko je bila koncentracija kisika 15,4 mg l⁻¹, je koncentracija kisika nižja (Kejžar Z., 2003).

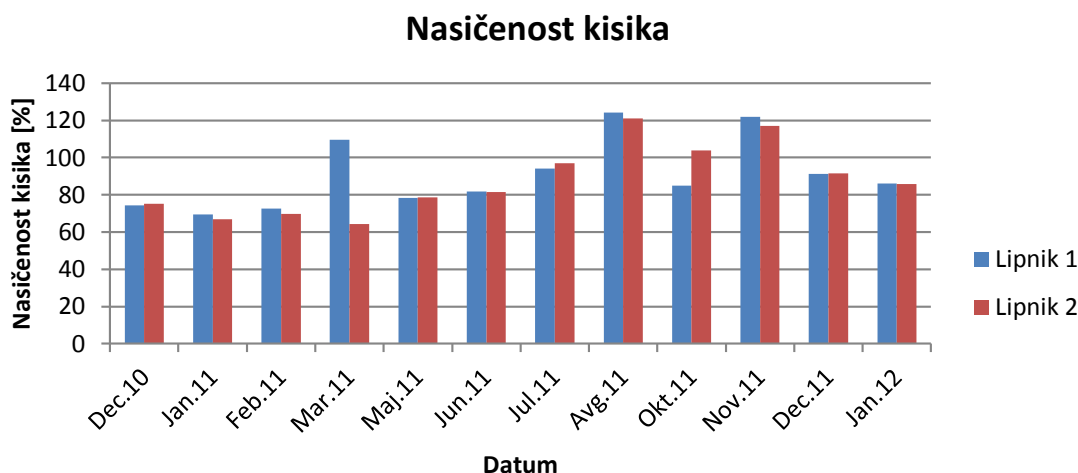


Slika 25: Koncentracija kisika v izvirih Lipnik 1 in 2

Nasičenost podzemne vode s kisikom je odvisna od temperature, hitrosti vodnega toka in koncentracije ionov. Najvišja možna nasičenost v podzemni vodi je 100 %. V površinskih vodah lahko nasičenost presega 100 %, kadar je primarna produkcija v vodi večja od dihanja organizmov oziroma porabe kisika.

Nasičenost kisika [%] v izvirih Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 26*. Najvišja vrednost nasičenosti kisika v obeh izvirih je v avgustu 2011, in sicer 124,3 % v Lipniku 1 in 121,2 % v Lipniku 2. Vrednost je višja od 100 %, ker je temperatura izven izvira višja kot v samem izviru. Najnižja vrednost nasičenosti kisika v izviru Lipnik 1 je 69,5 % (januar 2011) in 64,3 % v Lipniku 2 (marec 2011). Vrednosti nasičenosti kisika so si med izviroma zelo podobne, razen v mesecu marcu in oktobru 2011. Nasičenost kisika je v

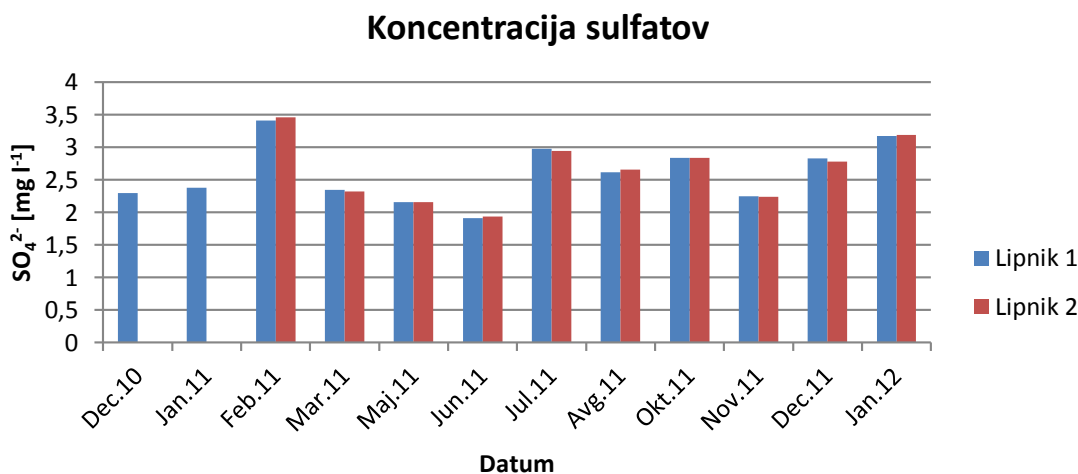
primerjavi z rezultati iz leta 1999, ko je nasičenost znašala 136 % (Kejžar Z., 2003), nižja, čeprav vrednost nikoli ni padla pod 60 %.



Slika 26: Nasičenost kisika v izviri Lipnik 1 in 2

Sulfati so oksidirana oblika žvepla. Naravno so prisotni v mnogih kamninah, v okolje pa pridejo tudi preko odpadkov oziroma odplak in iz atmosfere, preko emisij žveplovega dioksida kot kisli dež. Sulfati so v okolju zelo stabilni, topnost v vodi pa je odvisna od spremljajočih kationov. Na prst se ne adsorbirajo znatno in se prenašajo skozi njo v nespremenjeni obliki (Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, 2011).

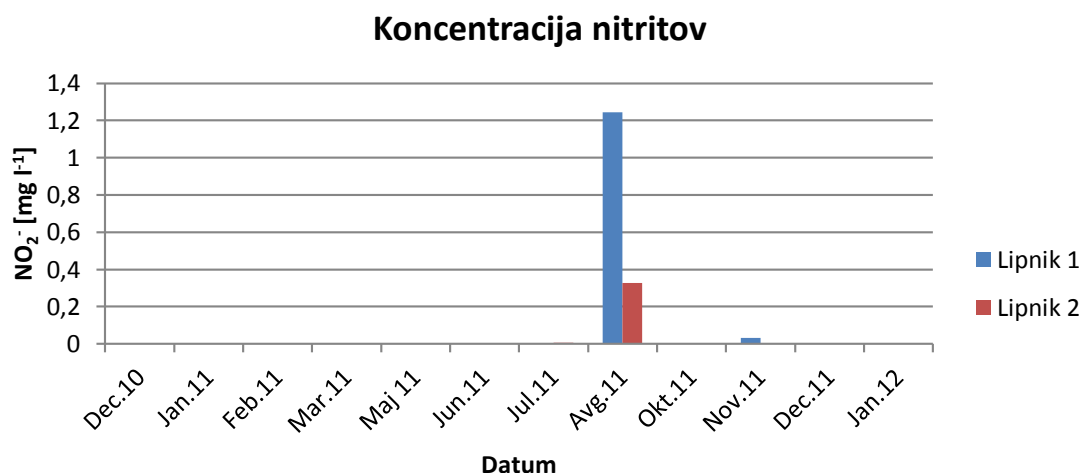
Koncentracijo sulfatnih ionov [mg l^{-1}] v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje Slika 27. V posameznih mesecih je koncentracijo sulfatnih ionov v obeh izviri skoraj enaka, najvišja je februarja 2011 ($3,46 \text{ mg l}^{-1}$) in najnižja junija 2011 ($1,91 \text{ mg l}^{-1}$). V februarju je bilo padavin izredno malo, kar je povzročilo daljši zadrževalni čas vode v podzemlju in se je lahko raztopilo več sulfatov. Obratno je bilo junija, večja količina padavin in manjša koncentracija sulfatov v vodi zaradi hitrejšega pretoka vode in krajšega zadrževalnega časa.



Slika 27: Koncentracija sulfatov v izviri Lipnik 1 in 2

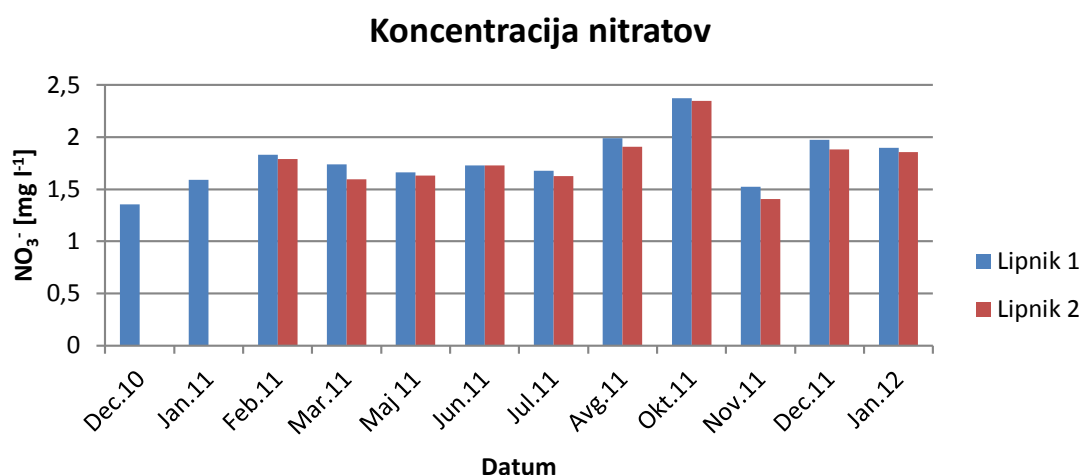
V vodi se dušik pojavlja v obliki nitrita (NO_2^-), nitrata (NO_3^-), amonija (NH_4^+), raztopljenega organskega dušika (urea, sečna kislina, aminokisline) in neraztopljenega organskega dušika (Meybeck M., 1982). Spojine dušika, amonij in nitrat so naravne sestavine podzemne vode. Naravno ozadje nitratov je odvisno od geološke sestave vodonosnikov in je v Sloveniji nižje od $10 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ (Mihorko P., 2012). Glavni vir dušika v vodah je spiranje s tal (Mori N., 2001). Zaradi uporabe mineralnih in organskih gnojil pa se amonij in nitrati pojavljajo tudi kot onesnaževalo s kmetijskih zemljišč (nitrat) in iz neurejene komunalne infrastrukture (amonij). V kemijskem ravnotežju spojin dušika v podzemni vodi se pojavi še nitrit kot posledica nitrifikacijskih procesov, $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ (Krajnc M. in sod., 2008). Amonija tekom našega vzorčenja v izvirih Lipnik nismo zaznali.

Koncentracijo nitritnih ionov [mg l^{-1}] v izvirih Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 28*. V obeh izvirih je nitritne ione zaznati samo v dveh mesecih. V avgustu 2011 se nitritni ioni pojavijo v obeh izvirih, s koncentracijo $1,25 \text{ mg l}^{-1}$ v Lipniku 1 in $0,33 \text{ mg l}^{-1}$ v Lipniku 2. Prav tako se pojavijo nitritni ioni v novembru 2011 v Lipniku 1 ($0,03 \text{ mg l}^{-1}$) in v juliju 2011 v Lipniku 2 ($0,01 \text{ mg l}^{-1}$). Nitritov razen avgusta ($1,2 \text{ mg l}^{-1}$), ko so celo presegli mejno vrednost pitne vode ($0,50 \text{ mg l}^{-1}$), ni bilo oziroma so bili pod mejno vrednostjo (Pravilnik o pitni vodi 2004, 2006, 2009). Avgusta je verjetno prišlo do povečanega vnosa organske snovi (lahko antropogenega izvora - živinoreja), ki se ob lokalnih anaerobnih razmerah v vodonosniku še ni v celoti oksidirala do nitrata.



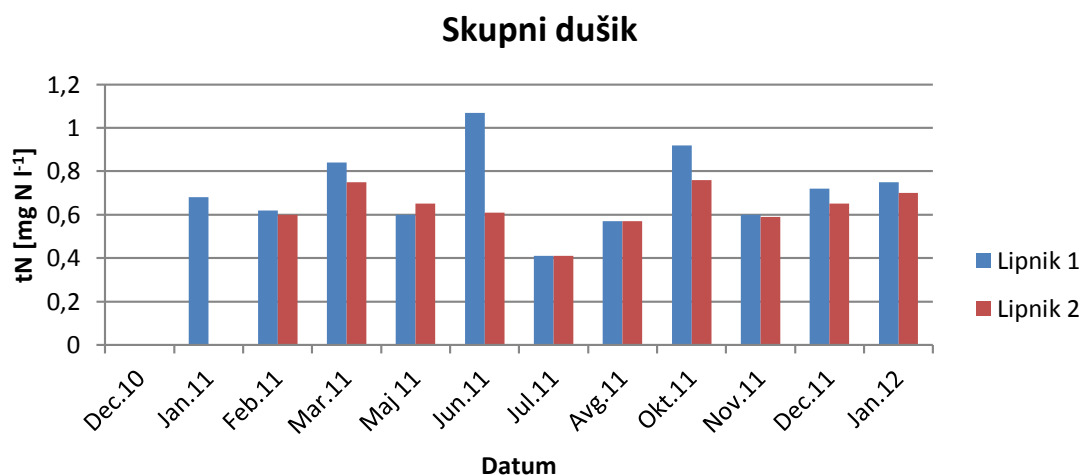
Slika 28: Koncentracija nitritov v izvirih Lipnik 1 in 2

Koncentracijo nitratnih ionov [mg l^{-1}] v izvirih Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 29*. V posameznih mesecih med izviroma ni večjih razlik. Najvišja koncentracija nitratnih ionov v obeh izvirih je v mesecu oktobru 2011, in sicer $2,37 \text{ mg l}^{-1}$, najnižja pa decembra 2010 v Lipniku 1 ($1,36 \text{ mg l}^{-1}$) in novembra 2011 v Lipniku 2 ($1,41 \text{ mg l}^{-1}$). Vrednosti nitratov so bile tekom našega vzorčenja zelo nizke ($1\text{--}2 \text{ mg l}^{-1}$) v primerjavi z mejnimi vrednostmi za površinske (25 mg l^{-1}) (Uredba o kemijskem stanju površinskih voda 2009, 2010) in podzemne vode (50 mg l^{-1}) (Uredba o standardih kakovosti podzemne vode 2005, 2009). Povprečje nitratov iz leta 1999 je bilo podobno kot v tej raziskavi, in sicer $1,9 \text{ mg l}^{-1}$ (Kejžar Z., 2003; Mori N. in Brancelj A., 2006). V kraških izvirih na vsebnost hranilnih snovi najbolj vpliva količina padavin v zaledju in spiranje z zaledja (Mori N., 2001).



Slika 29: Koncentracija nitratov v izviri Lipnik 1 in 2

Dušik je poleg ogljika in fosforja osnovna gradbena enota organskih snovi in je posredno pokazatelj količine organske snovi v vodi. Koncentracijo skupnega dušika [mg N l⁻¹] v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje Slika 30. V Lipniku 1 je najvišja koncentracija 1,07 mg N l⁻¹ (junij 2011) in 0,76 mg N l⁻¹ v Lipniku 2 (oktober 2011). Najnižja koncentracija skupnega dušika je v obeh izviri v mesecu juliju 2011, in sicer 0,41 mg N l⁻¹. Takrat je bilo več padavin, kar bi lahko povzročilo bolj intenzivno spiranje organske snovi iz sistema.

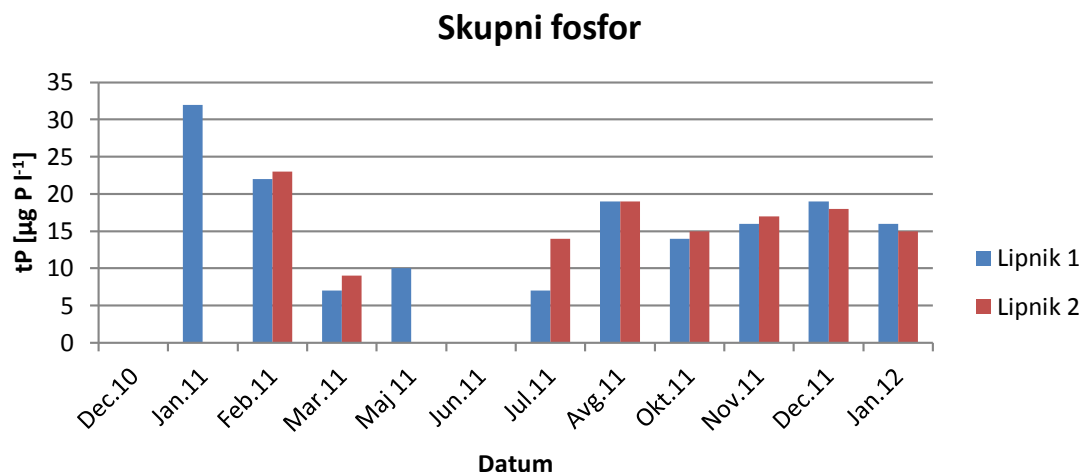


Slika 30: Koncentracija skupnega dušika v izviri Lipnik 1 in 2

Fosfor je esencialen nutrient za žive organizme in omejujoč dejavnik rasti rastlin. Od njega je odvisna primarna produkcija v vodnih telesih. V vodah je fosfor prisoten v obliki raztopljenih anorganskih ionov, raztopljenega organskega fosforja, neraztopljenega anorganskega in neraztopljenega organskega fosforja (Meybeck M., 1982). Naravni viri fosforja so preperle kamnine, ki vsebujejo fosfor, in razgrajene organske snovi. Zaradi aktivnega privzemanja primarnih producentov, fosfor v neobremenjenih vodah ne presega koncentracije 0,1 mg l⁻¹. Povišanje njegove koncentracije povzročijo komunalne in industrijske odpadne vode, intenzivno

obdelovanje kmetijskih površin ter poplave (Mori N., 2001; Urbanič M. in Toman M.J., 2003). Ortofosfatov tekem našega vzorčenja v izviri Lipnik nismo zaznali.

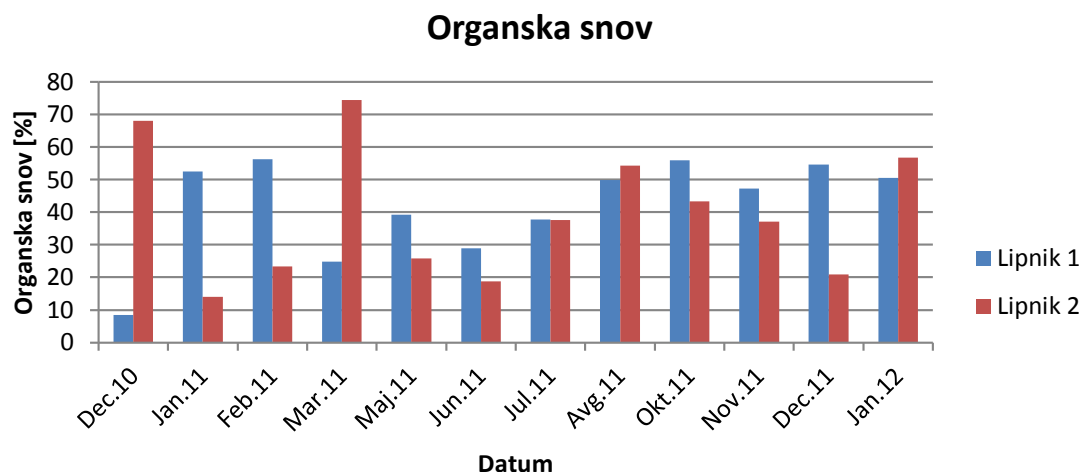
Koncentracijo skupnega fosforja [$\mu\text{g P l}^{-1}$] v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 31*. V izviru Lipnik 1 je najvišja koncentracija skupnega fosforja $32 \mu\text{g P l}^{-1}$ (januar 2011) in $23 \mu\text{g P l}^{-1}$ v izviru Lipnik 2 (februar 2011). V obeh izviri je koncentracija skupnega fosforja junija 2011 pod mejo detekcije. Junija je bilo več padavin in posledično krajši zadrževalni čas, v katerem se ni uspelo raztopiti in obariti dovolj fosforja. Januarja in februarja pa je bilo padavin manj, zato je koncentracija skupnega fosforja višja.



Slika 31: Koncentracija skupnega fosforja v izviri Lipnik 1 in 2

Organska snov predstavlja predvsem rastlinske in mikrobiološke odpadke, ki nastanejo na kopnem in se s pomočjo padavin prenesejo v vsa vodna telesa. Glavni problem pri večji količini organske snovi v vodi je njena degradacija, za katero se porabi veliko kisika. Tako okolje lahko postane anoksično, kar spremeni kemijo celotnega sistema, in povzroči stres za mnoge vodne organizme (Van Loon G.W. in Duffy S.J., 2010).

Delež organske snovi [%] v izviri Lipnik 1 in 2 prikazuje *Slika 32*. V izviru Lipnik 1 je delež organske snovi od 8,44 % (december 2010) do 56,30 % (februar 2011). V izviru Lipnik 2 pa od 14,07 % (januar 2011) do 74,54 % (marec 2011). V našem primeru povezava med organsko snovjo in kisikom ni tako očitna, saj so prisotni tudi drugi dejavniki, ki močneje vplivajo na koncentracijo kisika.



Slika 32: Delež organske snovi v izvirih Lipnik 1 in 2

Na koncentracijo ionov v vodi vplivajo tla s sestavo kamenin in njihovo topnostjo, podnebje, temperatura, preperevanje, prah, padavine, izhlapevanje, vetrovi, oddaljenost od morja ter rastlinstvo in živalstvo. V vodi so raztopljene različne soli, vendar je največ slanosti vezane na manjše število ionov: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ter CO_3^{2-} , SO_4^{2-} in Cl^- . Podzemne vode imajo povečano koncentracijo ionov, ker je poraba med razgradnjo sproščenih ionov v podzemni vodi občutno manjša kot v površinskih vodah (Rejic M. in Smolej I., 1988).

Podatke o koncentraciji [mg l^{-1}] natrijevih, kalijevih, kalcijevih, magnezijevih in kloridnih ionih prikazuje *Preglednica 1*. Najvišja koncentracija natrijevih ionov se v obeh izvirih pojavi marca 2011 in najnižja junija 2011. Koncentracija kalijevih ionov je najvišja oktobra 2011 v Lipniku 1 in julija 2011 v Lipniku 2, najnižja je decembra 2011 v Lipniku 1 ter junija in novembra 2011 v Lipniku 2. Koncentracija kalijevih ionov je bila tekom vzorčenja daleč pod mejno vrednostjo za podzemne vode, ki znaša 10 mg l^{-1} (Uredba o standardih kakovosti podzemne vode 2005, 2009). Koncentracija kalcijevih ionov je v obeh izvirih najvišja avgusta 2011 in najnižja junija 2011. Koncentracija magnezijevih ionov v Lipniku 1 je najnižja decembra 2010 ter najvišja februarja in julija 2011. V Lipniku 2 je koncentracija magnezijevih ionov najnižja novembra 2011 in najvišja julija 2011. Koncentracija kloridnih ionov je v obeh izvirih najvišja marca 2011 in najnižja junija 2011.

Preglednica 1: Podatki o koncentraciji natrijevih, kalijevih, kalcijevih, magnezijevih in kloridnih ionih

Datum	$\text{Na}^+ [\text{mg l}^{-1}]$		$\text{K}^+ [\text{mg l}^{-1}]$		$\text{Ca}^{2+} [\text{mg l}^{-1}]$		$\text{Mg}^{2+} [\text{mg l}^{-1}]$		$\text{Cl}^- [\text{mg l}^{-1}]$	
	Lipnik 1	Lipnik 2	Lipnik 1	Lipnik 2	Lipnik 1	Lipnik 2	Lipnik 1	Lipnik 2	Lipnik 1	Lipnik 2
Dec.10	1,74	0	0,31	0	66,63	0	2,88	0	3,60	0
Jan.11	2,38	0	0	0	62,87	0	2,91	0	4,62	0
Feb.11	1,55	1,64	0,18	0,20	67,54	67,41	4,76	5,08	3,24	3,27
Mar.11	2,59	2,85	0,18	0,20	66,25	66,42	3,56	3,53	5,01	5,21
Maj.11	1,82	1,94	0,23	0,21	61,27	61,82	4,74	4,90	3,74	3,87
Jun.11	1,40	1,37	0,17	0,13	53,18	54,40	4,42	4,60	2,77	2,68
Jul.11	1,48	1,47	0,25	0,37	70,10	69,94	4,76	5,26	3,19	3,08
Avg.11	1,83	1,73	0,33	0,31	71,11	71,64	4,24	4,17	3,30	3,42

Okt.11	1,72	1,79	0,34	0,29	65,85	66,72	3,87	3,94	3,24	3,30
Nov.11	1,61	1,68	0,27	0,13	67,87	67,23	3,20	3,41	3,13	3,35
Dec.11	1,69	1,65	0,15	0,25	67,13	65,42	4,59	4,75	3,22	3,37
Jan.12	2,27	2,31	0,26	0,22	67,06	68,50	4,19	4,26	4,67	4,82

4.1.2 Potok Lipnik

Podatki o hitrosti vodnega toka, temperaturi vode, specifični električni prevodnosti, koncentraciji in nasičenosti kisika ter organski snovi enkratnega vzorčenja (april 2012) na različnih lokacijah potoka Lipnik prikazuje *Preglednica 2*. Hitrosti vodnega toka na posameznih lokacijah so precej različne, saj smo vzorce namerno odvzeli na mestih z različnimi hitrostmi vodnega toka, da bi čim boljše zajeli čim večji razpon različnih habitatov. Temperatura vode od izvira proti izlivu v reko narašča od 6,5 °C do 6,9 °C. V povirju je voda hladnejša zaradi izhoda podzemne vode, kasneje pa se na površju ogreva zaradi absorpcije sončevega sevanja ter toplote iz ozračja in površine po kateri teče (Urbanič M. in Toman M.J., 2003). Vrednosti specifične električne prevodnosti so skoraj enake, od 271 $\mu\text{S cm}^{-1}$ do 272 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Naraščata tudi koncentracija kisika od 9,8 mg l⁻¹ na izviru do 10,4 mg l⁻¹ na izlivu in nasičenost kisika od 86,6 % na izviru do 91,2 % na izlivu, saj v vodo prehaja več kisika iz ozračja in zaradi fotosinteze. V površinskih vodotokih je tudi več mešanja vode in turbulenc, ki povečujejo koncentracijo in nasičenost kisika v vodi (Mori N., 2001). Deleži organske snovi so od 13,1 % do 38,6 % se razlikujejo med posameznimi mesti predvsem zaradi različnih hitrosti vodnega toka in heterogenega substrata.

Preglednica 2: Podatki o hitrosti vodnega toka, temperaturi vode, specifični električni prevodnosti, koncentraciji in nasičenosti kisika ter organski snovi enkratnega vzorčenja (april 2012) na različnih lokacijah potoka Lipnik

Lokacija	Oznaka vzorca	Hitrost vodnega toka [m s ⁻¹]	Temperatura [°C]	Specifična el. prevodnost [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	Koncentracija kisika [mg l ⁻¹]	Nasičenost kisika [%]	Organska snov [%]
1	S	0,6	6,6	271	9,8	87,0	31,1
	SB1	0,2					20,9
	SB2	0,1					17,3
	SB3	0,1					20,3
2	SB1	0,2	6,7	272	10,5	91,2	26,2
	SB2	1,0					38,6
	SB3	0,3					21,4
	SB4	0,4					14,0
3	SB1	0,1	6,9	271	10,4	92,2	29,2
	SB2	0,2					26,0
	SB3	0,2					18,1
	SB4	0,2					28,6

4.1.3 Primerjava fizikalnih in kemijskih lastnosti vode v izviri Lipnik 1 in 2

Za testiranje, če so razlike v fizikalnih in kemijskih lastnostih vode med stalnim (Lipnik 1) in občasnim izvirom (Lipnik 2) statistično različne, sem uporabila Studentov t-test. V testu sem primerjala sledeče parametre: pretok, temperaturo, specifično električno prevodnost, pH vrednost, alkaliteto, koncentracijo in nasičenost kisika, koncentracijo

sulfatnih, nitritnih in nitratnih ionov, koncentracijo celotnega dušika in fosforja, delež organske snovi ter koncentracijo natrijevih, kalijevih, kalcijevih, magnezijevih in kloridnih ionov. Hipoteza (H_0) je bila, da so povprečja danih podatkov enaka in se značilno ne razlikujejo. *Preglednica 3* prikazuje rezultate testa, in sicer vrednosti t statistike in vrednosti p (dvostranski). Stopnja značilnosti α je bila enaka 0,05 in ker so vse p vrednosti večje od α , hipoteze H_0 nisem ovrгла. Rezultati Studentovega t-testa so torej potrdili, da se fizikalne in kemijske lastnosti vode v izviri Lipnik 1 in 2 statistično značilno ne razlikujejo.

Preglednica 3: Rezultati Studentovega t-testa

Parametri	t statistika	p (dvostranski)
Pretok	-0,31	0,76
T	0,28	0,78
Specifična el. prevodnost	-0,17	0,87
pH	0,45	0,66
Alkaliteta	-1,04	0,31
O ₂	0,38	0,71
Nasičenost O ₂	0,39	0,70
SO ₄	-0,28	0,79
NO ₂	0,70	0,50
NO ₃	0,01	0,99
tN	1,23	0,24
tP	0,48	0,64
Organska snov	0,37	0,72
Na ⁺	-0,03	0,98
K ⁺	0,31	0,76
Ca ²⁺	-0,18	0,86
Mg ²⁺	-1,30	0,21
Cl ⁻	0,03	0,98

Ordinacijski diagram (*Slika 33*) prikazuje variabilnost fizikalnih in kemijskih dejavnikov ter razlike med vzorci iz Lipnika 1 in 2. V PCA analizi so bili zajeti sledeči dejavniki: temperatura, specifična električna prevodnost, alkaliteta, koncentracija kisika, koncentracija sulfatnih, nitratnih in nitritnih ionov, koncentracija celotnega dušika in fosforja ter koncentracija kalcijevih in magnezijevih ionov. Puščice prikazujejo gradient merjenih dejavnikov, točke pa predstavljajo meritve v izbranih dveh izviri skozi čas. Zaradi manjkajočih podatkov trije vzorci (L1_dec10, L2_dec10, L2_jan11) niso bili uporabljeni v analizi.

Na diagramu črne pike prikazujejo stalen izvir Lipnik 1, bele pike občasen izvir Lipnik 2 in sive pike občasen izvir 2x, takrat ko je voda prihajala na površje nižje kot ponavadi. Puščice kažejo v smeri največjih sprememb fizikalnih in kemijskih dejavnikov. Daljša kot je puščica, večji je vpliv dejavnika.

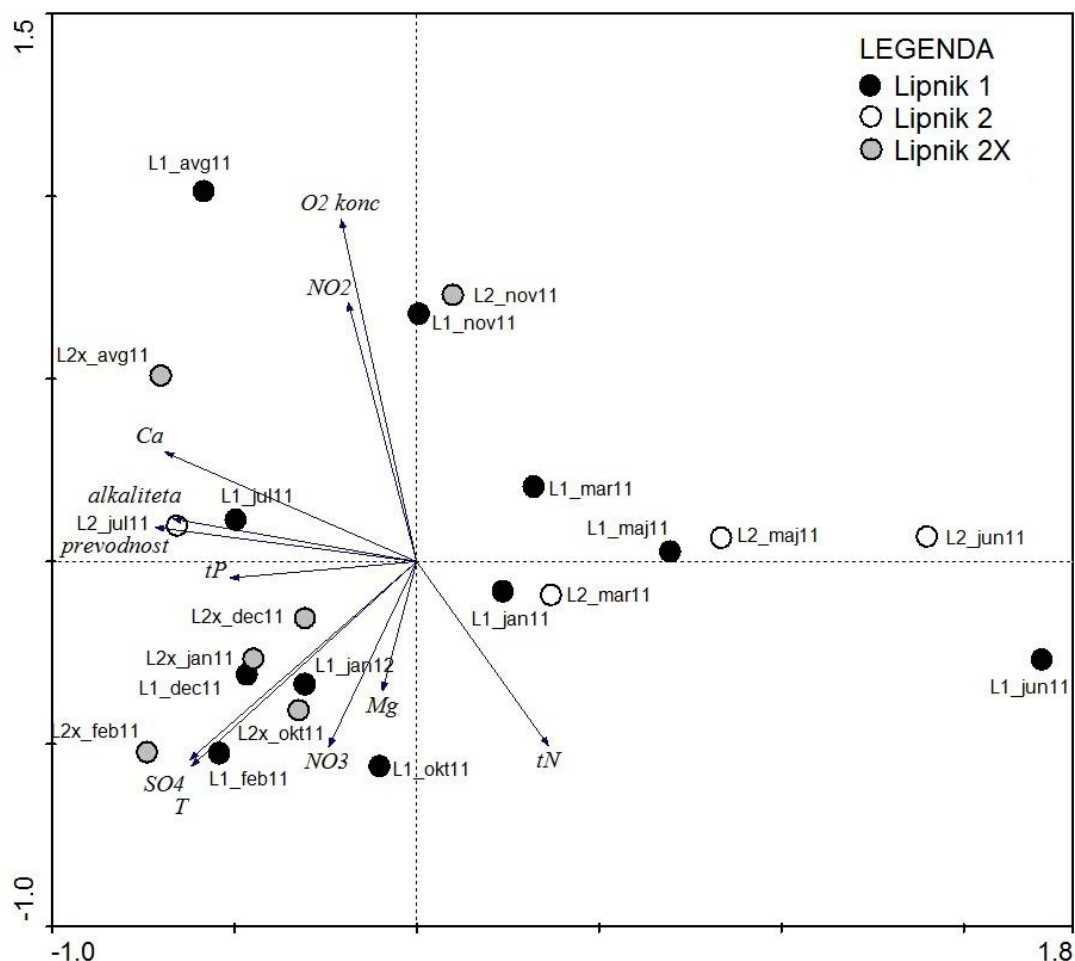
Horizontalna os je najbolj razložena s specifično električno prevodnostjo, alkaliteto, koncentracijo kalcija in skupnega fosforja, vertikalna os pa s koncentracijo kisika, hranil (nitrati, nitriti, skupni dušik) in magnezija. Horizontalna os razloži 45 % variabilnosti v podatkih in vertikalna os 18 %.

Po horizontalni osi na desni strani najbolj izstopajo vzorci iz junija in maja 2011, na levi pa vzorca iz julija 2011. Junija in maja 2011 sta bili tako specifična električna prevodnost kot alkaliteta, kateri sta odvisni od koncentracije ionov v vodi, najnižji. Ravno obratno je bilo julija 2011, ko sta bili ti dve lastnosti vode najvišji. Na to lahko vpliva zadrževalni čas vode v podzemlju, ki pa je odvisen od količine padavin. Junija 2011 je bilo dokaj veliko padavin, zaradi česar je koncentracija ionov manjša. Julija 2011 je bilo padavin manj, kar pomeni daljši zadrževalni čas vode v podzemlju in večjo koncentracijo ionov v vodi.

Po vertikalni osi na zgornji strani najbolj izstopata vzorca iz novembra 2011 in spodaj iz oktobra 2011. Ti vzorci se najbolj razlikujejo po koncentraciji kisika in hranil, kar se opazi tudi na grafih v poglavju 4.1.1. Ker so bili vzorci odvzeti na začetku meseca, sem za primerjavo upoštevala padavine prejšnjega meseca. Septembra 2011 je bilo padavin relativno malo, zato je zaradi nizkega pretoka v oktobru 2011 več hranil in manj kisika. Oktobra 2011 je bilo padavin izjemno veliko, posledično je bilo zaradi spiranja in razredčevanja v novembru 2011 hranil občutno manj kot oktobra. Koncentracija kisika je bila v novembru 2011 zelo visoka, kar je posledica visokega pretoka po padavinah.

Vzorci iz stalnega in občasnega izvira niso jasno ločeni. Vzorci odvzeti na isti dan iz obeh izvirov so na diagramu običajno blizu skupaj, kar pomeni, da se vzorci bolj razlikujejo na podlagi časa vzorčenja kot pa na podlagi tega iz katerega izvira so. To se lahko poveže s padavinskim režimom, ki vpliva na mnoge fizikalne in kemijske dejavnike.

Tako t-test kot PCA analiza sta pokazala zelo podobne fizikalne in kemijske lastnosti vode v obeh izviroh, ne glede na to ali je izvir stalen ali občasen.



Slika 33: Ordinacijski diagram PCA analize fizikalnih in kemijskih dejavnikov

4.2 Rezultati bioloških analiz

4.2.1 Taksonomska sestava driftnih in bentoških vzorcev

V času našega vzorčenja smo odvzeli 32 driftnih vzorcev in 12 vzorcev bentosa. *Preglednica 4* in *Preglednica 5* prikazujeta seznam taksonomskih skupin, ki so se pojavljale v izviri in v bentosu, in njihove deleže v posameznih vzorcih.

V stalnem izviru Lipnik 1 so prevladovali harpaktikoidi, sledili so jim dvoklopniki in postranice. V občasni izviri Lipnik 2 in 3 so prevladovale žuželke enodnevnice in vrbnice ter tržače, manjši delež so imeli harpaktikoidi in ciklopoidi. Izvir Lipnik 1 je dokaj zakrit in ima globoko ustje, kar onemogoča dostop do mreže površinskih vodnih in kopenskih živalim. V izviri Lipnik 2 in 3 pa smo ulovili več okoliških živali, saj sta izvira bolj odprta in mreže dostopnejše tudi za ostale živali.

V vzorcih bentosa so na lokaciji 1 prevladovale žuželke enodnevnice in vrbnice, sledili so harpaktikoidi in tržače. Na lokaciji 2 so prevladovali harpaktikoidi, malo manj je bilo tržač ter žuželk enodnevnice in vrbnic. Na lokaciji 3 je bilo največ harpaktikoidov in dvoklopnikov, sledile pa so žuželke enodnevnice in vrbnice.

Preglednica 4: Deleži posameznih taksonomskih skupin v vzorcih drifta v %

Lokacija	Vzorec/zvir	Datum	Ciklopoidi	Harpaktikoidi	Dvoklopniki	Maloščetinci	Gliste	Slepe postrance	Postrance	Peščinarji	Enakonožci	Mehkužci	Žuželke enodnevnic in vrbnic	Trzače	Pršice
Lipnik	1	13.12.2010	0,0	10,0	36,7	0,0	0,0	0,0	13,3	0,0	0,0	23,3	16,7	0,0	0,0
Lipnik	1	13.1.2011	12,1	56,0	15,9	1,9	1,4	0,5	1,9	0,0	1,0	0,0	3,9	1,9	3,4
Lipnik	1	14.2.2011	5,6	70,2	9,7	0,7	0,2	0,2	2,7	0,0	0,7	1,8	6,0	0,2	2,0
Lipnik	1	29.3.2011	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	2,5	25,0	0,0	2,5	7,5	12,5	0,0	0,0
Lipnik	1	5.5.2011	6,3	59,9	10,3	2,0	0,5	0,0	0,6	0,0	0,8	1,1	14,9	2,9	0,6
Lipnik	1	1.6.2011	2,8	2,8	11,1	2,8	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	19,4	44,4	0,0	0,0
Lipnik	1	21.7.2011	1,9	46,3	13,3	0,0	0,0	0,3	15,7	0,0	0,9	3,4	17,9	0,0	0,3
Lipnik	1	25.8.2011	5,0	56,6	11,2	0,0	0,0	0,1	11,1	0,0	0,9	2,0	11,0	0,0	2,2
Lipnik	1	4.10.2011	0,7	57,2	4,7	0,0	0,0	0,2	31,2	0,0	0,9	0,0	4,7	0,2	0,2
Lipnik	1	4.11.2011	8,0	65,4	14,5	1,2	1,6	0,1	1,9	0,1	0,0	0,2	4,0	0,5	2,7
Lipnik	1	6.12.2011	0,5	36,9	24,1	0,0	0,0	0,0	28,2	0,0	0,0	1,5	7,2	0,0	1,5
Lipnik	1	19.1.2012	9,0	48,4	23,0	0,0	0,0	0,4	12,5	0,0	0,0	1,2	3,5	0,0	2,0
Lipnik	2	13.12.2010	22,6	9,7	22,6	0,0	0,0	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	22,6	0,0
Lipnik	2	13.1.2011	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	71,4	0,0	0,0
Lipnik	2X	14.2.2011	6,9	30,8	4,4	0,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,9	33,0	22,7	0,0
Lipnik	2	29.3.2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	88,9	0,0	0,0
Lipnik	2	5.5.2011	7,1	0,0	14,3	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	67,9	3,6	0,0
Lipnik	2	1.6.2011	2,8	5,6	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	16,1	73,4	0,0
Lipnik	2	21.7.2011	1,4	3,1	1,2	0,0	2,9	0,1	0,0	0,0	0,2	1,3	58,8	30,7	0,2
Lipnik	2X	25.8.2011	1,2	3,7	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	88,7	2,8	1,0
Lipnik	2X	4.10.2011	2,5	4,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	1,1	89,9	0,0	1,2
Lipnik	2	4.11.2011	16,9	8,4	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	63,9	6,0	0,0
Lipnik	2X	6.12.2011	1,1	11,4	1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	76,5	7,5	1,1
Lipnik	2X	19.1.2012	0,7	0,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	97,7	0,5	0,1
Lipnik	3	13.12.2010	0,0	3,0	12,1	3,0	0,0	3,0	0,0	0,0	3,0	12,1	48,5	15,2	0,0
Lipnik	3	13.1.2011	50,0	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0
Lipnik	3X	14.2.2011	9,5	28,3	7,6	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,9	0,3	49,1	2,8	0,9
Lipnik	3	29.3.2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,3	7,7	0,0
Lipnik	3	5.5.2011	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,0	29,3	0,0
Lipnik	3	1.6.2011	8,7	9,1	1,7	0,9	0,0	0,9	0,0	0,0	1,3	1,7	50,4	24,8	0,4
Lipnik	3	21.7.201	1,0	8,6	0,6	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	79,8	2,3	1,0
Lipnik	3	4.11.2011	1,4	3,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	93,5	0,3	0,7

Preglednica 5: Deleži posameznih taksonomskih skupin v vzorcih bentosa v %

Lokacija	Vzorec	Ciklopoidi	Harpaktikoidi	Dvoklopniki	Maloščetinci	Gliste	Postranice	Enakonožci	Mehkužci	Žuželke enodnevnic in vrbnic	Trzače	Pršice
1	S	0,6	4,3	0,6	5,6	8,0	0,0	0,6	1,9	42,0	33,3	3,1
1	SB1	0,0	7,1	7,1	16,7	7,1	0,0	2,4	16,7	40,5	0,0	2,4
1	SB2	1,4	52,9	4,3	10,7	11,4	0,7	0,0	3,6	6,4	4,3	4,3
1	SB3	6,1	23,6	5,3	0,4	0,0	0,8	0,0	1,2	52,4	10,2	0,0
2	SB1	0,0	59,3	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	18,5	7,4
2	SB2	0,0	28,7	2,3	2,3	0,0	4,6	0,0	0,0	24,1	17,2	20,7
2	SB3	0,6	44,1	17,4	0,0	0,0	6,8	0,0	5,6	11,8	12,4	1,2
2	SB4	0,0	14,9	4,3	0,0	0,0	1,1	0,0	2,1	12,8	58,5	6,4
3	SB1	5,5	54,3	31,3	2,2	0,4	0,4	0,0	0,0	1,2	4,6	0,2
3	SB2	0,9	39,7	22,3	23,5	0,0	1,2	0,0	0,0	6,1	5,5	0,9
3	SB3	0,4	32,1	40,2	1,6	0,0	1,2	0,0	4,5	4,9	15,0	0,0
3	SB4	2,7	49,8	32,6	1,5	0,0	6,1	0,0	0,0	3,4	3,8	0,0

4.2.2 Vrsta sestava združbe ceponožcev in dvoklopnikov

V driftnih vzorcih stalnega in občasnih izvirov so se pojavile 3 vrste ciklopoidov (*Megacyclops viridis*, *Diacyclops zschokkei*, *Speocyclops infernus*), 5 vrst harpaktikoidov (*Bryocamptus dacicus*, *Ceuthonectes serbicus*, *Elaphoidella phreatica*, *Moraria alpina*, *Moraria radovnae*) in 4 vrste dvoklopnikov (*Mixtacandona* sp. A, *Mixtacandona* sp. B, *Mixtacandona* sp. C, *Cavernocypris subterranea*).

Preglednica 6 prikazuje število osebkov posameznih vrst v stalnem izviru in Preglednica 7 v občasnih izviri. V vseh izviri med ciklopoidi prevladuje vrsta *Diacyclops zschokkei*, med harpaktikoidi vrsta *Elaphoidella phreatica* in med dvoklopniki vrsta *Mixtacandona* sp. B.

V stalnem izviru smo največ osebkov zajeli v novembrskem vzorcu Lipnik 1 (1576) in najmanj v junijskem vzorcu Lipnik 1 (12). V občasnih izviri smo največ osebkov zajeli v februarjem vzorcu Lipnik 3X (734), v treh vzorcih (januar Lipnik 2, marec Lipnik 2 in marec Lipnik 3) pa ceponožcev in dvoklopnikov sploh ni bilo.

V vzorcih bentosa so se pojavile 3 vrste ciklopoidov (*Diacyclops zschokkei*, *Eucyclops serrulatus*, *Paracyclops fimbriatus*), 10 vrst harpaktikoidov (*Attheyella crassa*, *Attheyella wierzejskii*, *Bryocamptus dacicus*, *Bryocamptus typhlops*, *Bryocamptus zschokkei*, *Elaphoidella phreatica*, *Moraria alpina*, *Moraria poppei*, *Moraria radovnae*, *Paracamptus schmeili*) in 7 vrst dvoklopnikov (*Mixtacandona* sp. A, *Mixtacandona* sp. B, *Mixtacandona* sp. C, *Cavernocypris subterranea*, *Fabaeformiscandona breuili*, *Psychrodromus fontinalis*, *Fabaeformiscandona* sp. A).

Preglednica 8 prikazuje število osebkov posameznih vrst v bentosu. Na splošno med ciklopoidi prevladuje vrsta *Paracyclops fimbriatus*, med harpaktikoidi *Bryocamptus dacicus* in med dvoklopniki *Psychrodromus fontinalis*.

Na lokaciji 1 je bilo največ predstavnikov vrste *Bryocamptus dacicus* in *Bryocamptus typhlops*, na lokaciji 2 sta prevladovali vrsti *Atheyella wierzejskii* in *Bryocamptus typhlops*, na lokaciji 3 pa vrsti *Psychrodromus fontinalis* in *Bryocamptus dacicus*.

V bentosu je bilo največ osebkov na lokaciji 3 SB1 (32200) in najmanj na lokaciji 1 S (126).

Vse vrste ciklopoidov, razen vrste *Diacyclops zschokkei*, in vse vrste harpaktikoidov, razen vrste *Atheyella crassa*, ki smo jih našli tekom te raziskave, so bile v izviru Lipnik opažene že leta 1999 (Kejžar Z., 2003).

Preglednica 6: Število osebkov posameznih vrst rakov ceponožcev in dvoklopnikov v stalnem izviru

Lokacija	Vzorec	Datum	Ciklopoidi			Harpaktikoidi					Dvoklopniki				Vsota osebkov
			<i>Megacyclops viridis</i>	<i>Diacyclops zschokkei</i>	<i>Specocyclops infernus</i>	<i>Bryocamptus dacicus</i>	<i>Ceuthonectes serbicus</i>	<i>Elaphoidella phreatica</i>	<i>Moraria alpina</i>	<i>Moraria radovnae</i>	<i>Mixtacandona</i> sp. A	<i>Mixtacandona</i> sp. B	<i>Mixtacandona</i> sp. C	<i>Cavernocypris subterranea</i>	
Lipnik	1	13.12.2010	0	0	0	0	0	6	0	0	4	10	0	8	28
Lipnik	1	13.1.2011	0	50	0	100	6	120	0	6	18	26	0	22	348
Lipnik	1	14.2.2011	0	87	0	45	8	980	11	45	42	101	3	6	1327
Lipnik	1	29.3.2011	0	0	0	8	3	21	0	0	0	0	0	0	32
Lipnik	1	5.5.2011	2	76	0	21	13	665	2	38	38	63	4	23	944
Lipnik	1	1.6.2011	0	2	0	0	0	0	0	2	2	2	0	4	12
Lipnik	1	21.7.2011	0	0	14	147	0	179	2	16	18	64	5	12	458
Lipnik	1	25.8.2011	2	79	0	18	0	819	4	81	67	95	4	16	1184
Lipnik	1	4.10.2011	0	16	0	140	0	1100	4	60	36	48	0	24	1428
Lipnik	1	4.11.2011	1	141	0	60	10	980	25	98	85	144	0	31	1576
Lipnik	1	6.12.2011	0	4	0	0	7	238	14	0	47	86	4	32	432
Lipnik	1	19.1.2012	0	83	0	43	0	378	11	14	43	101	4	65	742
Vsota osebkov			5	538	14	582	48	5486	73	360	400	741	22	242	

Preglednica 7: Število osebkov posameznih vrst rakov ceponožcev in dvoklopnikov v občasnih izviri

Lokacija	Vzorec/Izvir	Datum	Ciklopoidi			Harpaktikoidi					Dvoklopniki				Vsota osebkov
			<i>Megacyclops viridis</i>	<i>Diacyclops zschokkei</i>	<i>Specocyclops infernus</i>	<i>Bryocamptus dacicus</i>	<i>Ceuthonectes serbicus</i>	<i>Elaphoidella phreatica</i>	<i>Moraria alpina</i>	<i>Moraria radovnae</i>	<i>Mixtacandona</i> sp. A	<i>Mixtacandona</i> sp. B	<i>Mixtacandona</i> sp. C	<i>Cavernocypis subterranea</i>	
Lipnik	2	13.12.2010	27	67	0	27	0	13	0	0	0	80	0	13	226
Lipnik	2	13.1.2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lipnik	2X	14.2.2011	3	53	0	35	0	213	0	0	0	33	0	3	338
Lipnik	2	29.3.2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lipnik	2	5.5.2011	0	9	0	0	0	0	0	0	0	14	0	5	28
Lipnik	2	1.6.2011	0	42	0	0	0	84	0	0	0	21	0	0	147
Lipnik	2	21.7.2011	0	20	0	5	0	39	0	0	2	15	0	0	82
Lipnik	2X	25.8.2011	0	68	0	44	0	170	0	0	0	0	0	0	282
Lipnik	2X	4.10.2011	0	82	0	0	0	133	0	0	0	4	0	0	218
Lipnik	2	4.11.2011	0	25	0	5	0	7	0	0	0	0	0	0	38
Lipnik	2X	6.12.2011	0	3	0	2	3	27	0	0	0	4	0	0	39
Lipnik	2X	19.1.2012	2	42	0	7	0	35	0	0	0	7	0	0	92
Lipnik	3	13.12.2010	0	0	0	2	0	0	0	0	2	6	0	0	10
Lipnik	3	13.1.2011	0	6	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Lipnik	3X	14.2.2011	0	154	0	45	0	412	0	0	14	109	0	0	734
Lipnik	3	29.3.2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lipnik	3	5.5.2011	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Lipnik	3	1.6.2011	2	36	0	6	2	32	0	0	0	8	0	0	86
Lipnik	3	21.7.2011	0	37	0	120	0	189	0	0	5	18	0	0	368
Lipnik	3	4.11.2011	0	6	0	0	0	14	0	0	0	1	0	0	21
Vsota osebkov			35	649	0	301	5	1367	0	0	22	320	0	21	

Preglednica 8: Število osebkov posameznih vrst rakov ceponožcev in dvoklopnikov v vzorcih bentosa (preračunano na kvadratni meter)

Lokacija	Vzorec	Ciklopoidi			Harpaktikoidi										Dvoklopniki							Vsota osebkov
		<i>Diacyclops zschokkei</i>	<i>Eucyclops serrulatus</i>	<i>Paracyclops fimbriatus</i>	<i>Attheyella crassa</i>	<i>Atheyella wierzejskii</i>	<i>Bryocamptus dacicus</i>	<i>Bryocamptus typhlops</i>	<i>Bryocamptus zschokkei</i>	<i>Elaphoidella phreatica</i>	<i>Moraria alpina</i>	<i>Moraria poppei</i>	<i>Moraria radovnae</i>	<i>Paracamptus schmeili</i>	<i>Wixtacandona</i> sp. A	<i>Wixtacandona</i> sp. B	<i>Wixtacandona</i> sp. C	<i>Cavernocypris subterranea</i>	<i>Fabaeformiscandona breuili</i>	<i>Psychrodromus fontinalis</i>	<i>Fabaeformiscandona</i> sp. A	
1	S	14	0	0	0	0	14	0	0	56	14	0	14	0	0	0	14	0	0	0	0	126
1	SB1	0	0	0	0	0	0	0	0	105	0	0	0	0	70	0	0	35	0	0	0	210
1	SB2	0	0	70	0	140	315	1995	105	0	0	35	0	0	0	35	0	175	0	0	0	2870
1	SB3	1050	0	0	0	70	3290	0	420	140	70	0	70	0	0	140	0	700	70	0	0	6020
2	SB1	0	0	0	0	0	165	826	248	83	0	0	0	0	0	83	0	0	0	165	0	1569
2	SB2	0	0	0	0	840	210	350	70	0	0	0	210	70	0	140	0	0	0	0	0	1890
2	SB3	0	0	70	70	1750	1050	1400	420	0	0	0	140	140	0	0	0	770	0	1190	0	7000
2	SB4	0	0	0	0	700	70	0	210	0	0	0	0	0	0	0	0	140	0	70	70	1260
3	SB1	0	560	1400	140	1750	10500	140	6580	0	0	0	0	70	0	0	0	420	0	10640	0	32200
3	SB2	0	0	210	2170	0	1680	0	3780	0	0	0	1680	280	0	0	0	0	0	5390	0	15190
3	SB3	70	0	0	1190	0	980	0	2940	0	0	0	280	140	0	0	0	910	0	6020	0	12530
3	SB4	0	0	490	1960	2660	2590	0	1750	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	5950	0	15540
Vsota osebkov		1134	560	2240	5530	7910	20864	4711	16523	384	84	35	2394	840	70	398	14	3150	70	29425	70	

Tekom našega vzorčenja smo v izviri Lipnika in potoku Lipnik našli in določili 23 vrst ceponožcev in dvoklopnikov. Od teh je bilo 5 vrst ciklopoidov, 11 vrst harpaktikoidov in 7 vrst dvoklopnikov. *Preglednica 9* prikazuje najdene vrste in opis njihovih običajnih habitatov povzetih iz literature.

Preglednica 9: Značilni habitati najdenih vrst nižjih rakov povzeti po literaturi

	Vrsta	Habitat
Ciklopoidi	<i>Diacyclops zschokkei</i> (Graeter, 1910)	površinske in podzemne vode, nezasičena in hiporeična cona - stigofilna vrsta (Pesce G.L., 1994)
	<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	podzemne vode, izviri, jezera, reke, barja (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820)	izviri, podzemne vode, obrežja jezer, mlake – stigoksena vrsta (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	izviri, tekoče vode, močvirja, jame, dna jezer (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Speocyclops infernus</i> (Kiefer, 1930)	jame, izviri, epikras – stigobionska vrsta (Sket B. in Brancelj A., 1992; Brancelj A., 2001; Culver D.C. in sod., 2012)
Harpaktikoidi	<i>Attheyella crassa</i> (Sars, 1863)	bentos, hiporeik, blatne podlage različnih sladkovodnih habitatov, evtrofne vode (Dole-Olivier M.-J. in sod., 2000)
	<i>Atheyella wierzejskii</i> (Mrazek, 1893)	alpski izviri, hladnejše vode, bentos jezer (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Bryocamptus dacicus</i> (Chappuis, 1923)	intersticijske in podzemne vode, izviri – stigobionska vrsta (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Bryocamptus typhlops</i> (Mrazek, 1893)	podzemne vode, izviri, vodnjaki – stigobionska vrsta (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Bryocamptus zschokkei</i> (Schmeil, 1893)	podzemne vode, alpski izviri, vlažni mahovi, vode s hitrim pretokom, nižjo temperaturo, visoko vsebnostjo kisika in nevtralnimi pH (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Ceuthonectes serbicus</i> Chappuis, 1924	podzemne vode – stigobionska vrsta (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Elaphoidella phreatica</i> (Sars, 1862)	podzemne vode – stigobionska vrsta, alpska vrsta (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Moraria alpina</i> Stoch, 1998	izviri, vlažni mahovi okrog izvirov, intersticijske vode, šotišča, alpska vrsta (Stoch F., 1998)
	<i>Moraria poppei</i> (Mrazek, 1893)	izviri, vlažni mahovi, mlake, podzemne vode (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Moraria radovnae</i> Brancelj, 1988	alpski potočki in reke, s hitrim pretokom, nižjo temperaturo in visoko vsebnostjo kisika – površinska vrsta, slovenski endemit (Brancelj A., 2001)
Dvoklopniki	<i>Paracamptus schmeili</i> (Mrazek, 1893)	izviri, potočki, jezera in mlake v visokogorju, vlažni mahovi – površinska vrsta (Janetzky W. in sod., 1996)
	<i>Cavernocypris subterranea</i> (Wolf, 1920)	izviri in bentos izvirov, obrežja jezer, jame (Brancelj A. in Griffiths H.I., 1996; Mori N. in Meisch C., 2012)
	<i>Fabaeformiscandona breuili</i> (Paris, 1920)	hiporeična cona povirja, izviri (Meisch C., 2000; Mori N. in Meisch C., 2012)
	<i>Fabaeformiscandona</i> sp. A	izviri, podzemne vode (Meisch C., 2000)

Mixtacandona sp. A,
Mixtacandona sp. B,
Mixtacandona sp. C

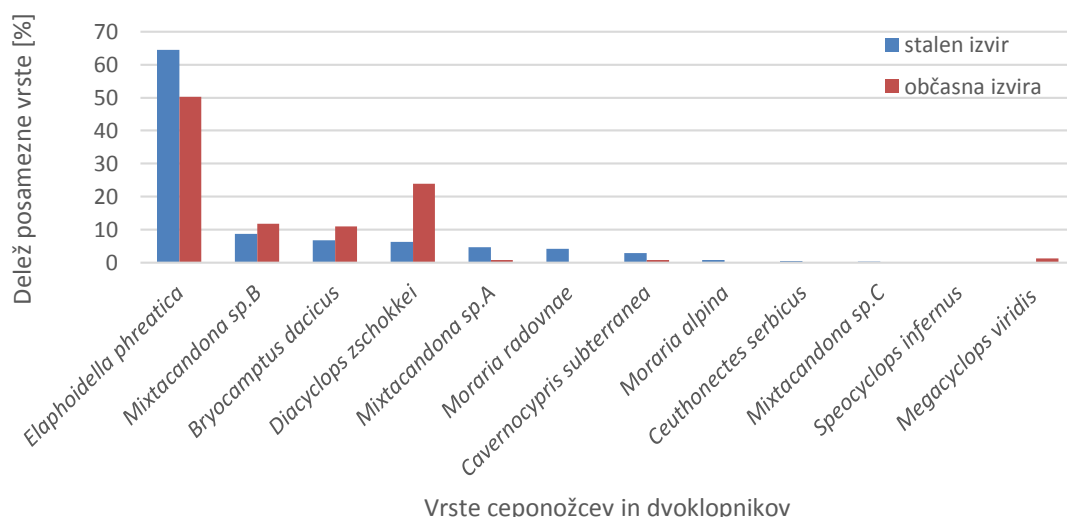
podzemne vode, izviri (Meisch C., 2000)

Psychrodromus fontinalis
(Wolf, 1920)

bentos izvirov in rek, alpska vrsta (Brancelj A. in Griffiths
H.I., 1996)

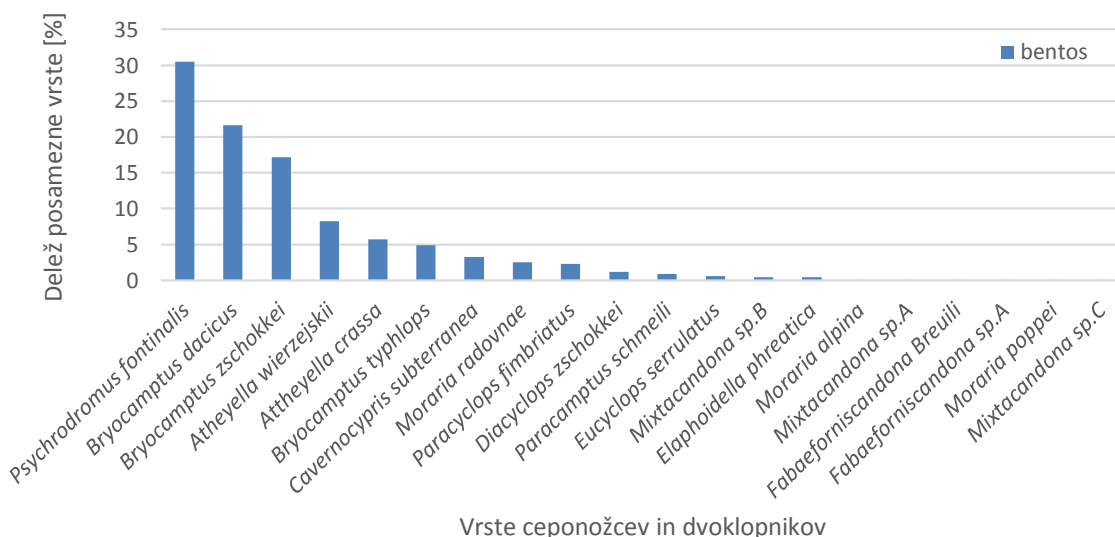
4.2.3 Pojavljanje posameznih vrst v različnih conah

Delež posameznih vrst ceponožcev in dvoklopnikov v posameznih conah prikazujeta *Slika 34* in *Slika 35*. V stalnem in občasni izviri prevladuje vrsta *Elaphoidella phreatica* (65 % in 50 %), sledijo ji *Mixtacandona* sp. B (9 % in 12 %), *Bryocamptus dacicus* (7 % in 11 %) in *Diacyclops zschokkei* (6 % in 24 %). V bentosu prevladuje vrsta *Psychrodromus fontinalis* (31 %), sledita *Bryocamptus dacicus* (22 %) in *Bryocamptus zschokkei* (17 %).



Vrste ceponožcev in dvoklopnikov

Slika 34: Deleži posameznih vrst ceponožcev in dvoklopnikov v stalnem in občasni izviri



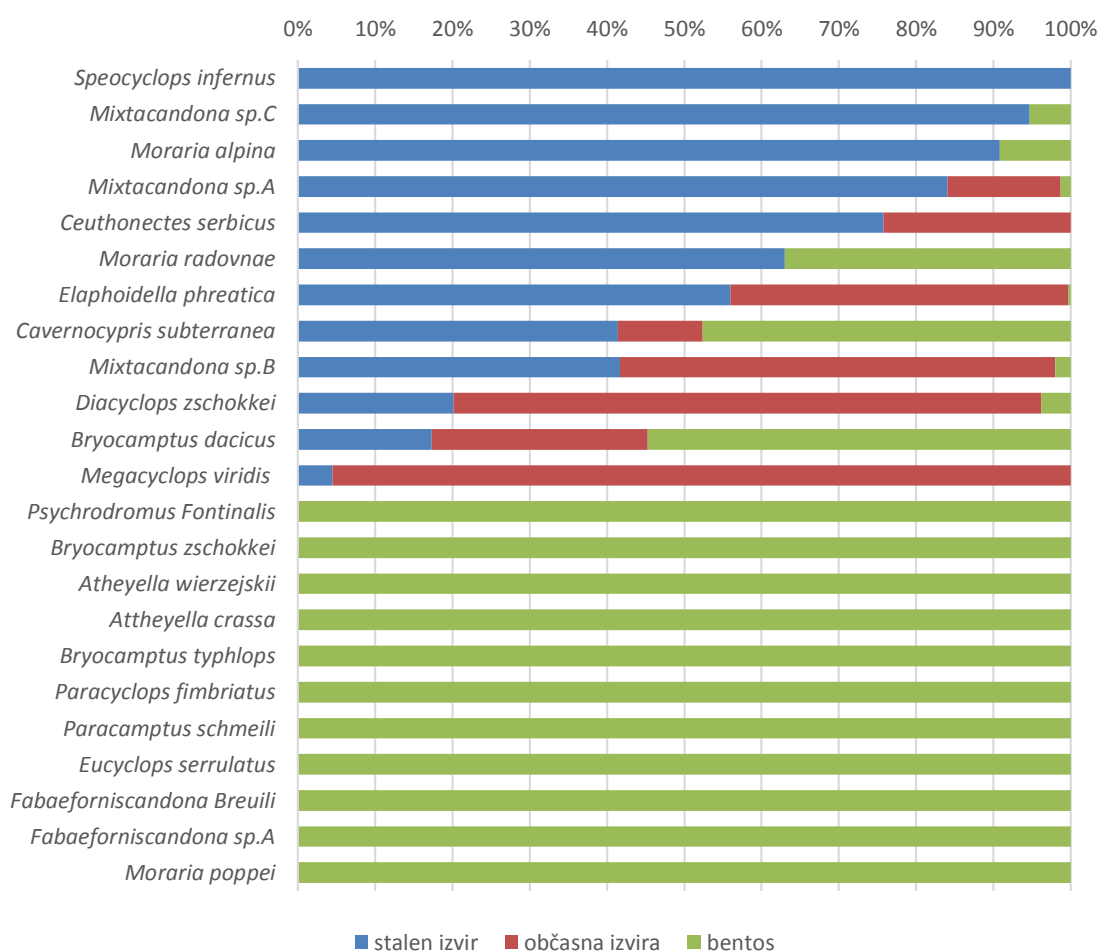
Vrste ceponožcev in dvoklopnikov

Slika 35: Deleži posameznih vrst ceponožcev in dvoklopnikov v bentosu

Frekvenco pojavljanja ceponožcev in dvoklopnikov v posameznih conah prikazuje *Slika 36*. V driftnih vzorcih smo našli vrste, katere niso bile prisotne v bentosu, in sicer *Speocyclops infernus*, *Ceuthonectes serbicus* in *Megacyclops viridis*. Vse tri vrste so prisotne v zelo majhnem deležu.

V bentosu je prisotno kar nekaj vrst, katerih nismo našli v podzemnih vodah, in sicer *Psychrodromus fontinalis*, *Bryocamptus zschokkei*, *Atheyella wierzejskii*, *Attheyella crassa*, *Bryocamptus typhlops*, *Paracyclops fimbriatus*, *Paracamptus schmeili*, *Eucyclops serrulatus*, *Fabaeformiscandona breuili*, *Fabaeformiscandona sp. A* in *Moraria poppei*.

Vrsta *Bryocamptus dacicus* in *Cavernocypris subterranea* se pojavljata v vseh treh habitatih v razmeroma enakem deležu. Vrsti *Diacyclops zschokkei* in *Mixtacandona sp.* A prevladujeta v izviri, vendar jih v manjšem deležu najdemo tudi v bentosu (predvsem na lokaciji 1).

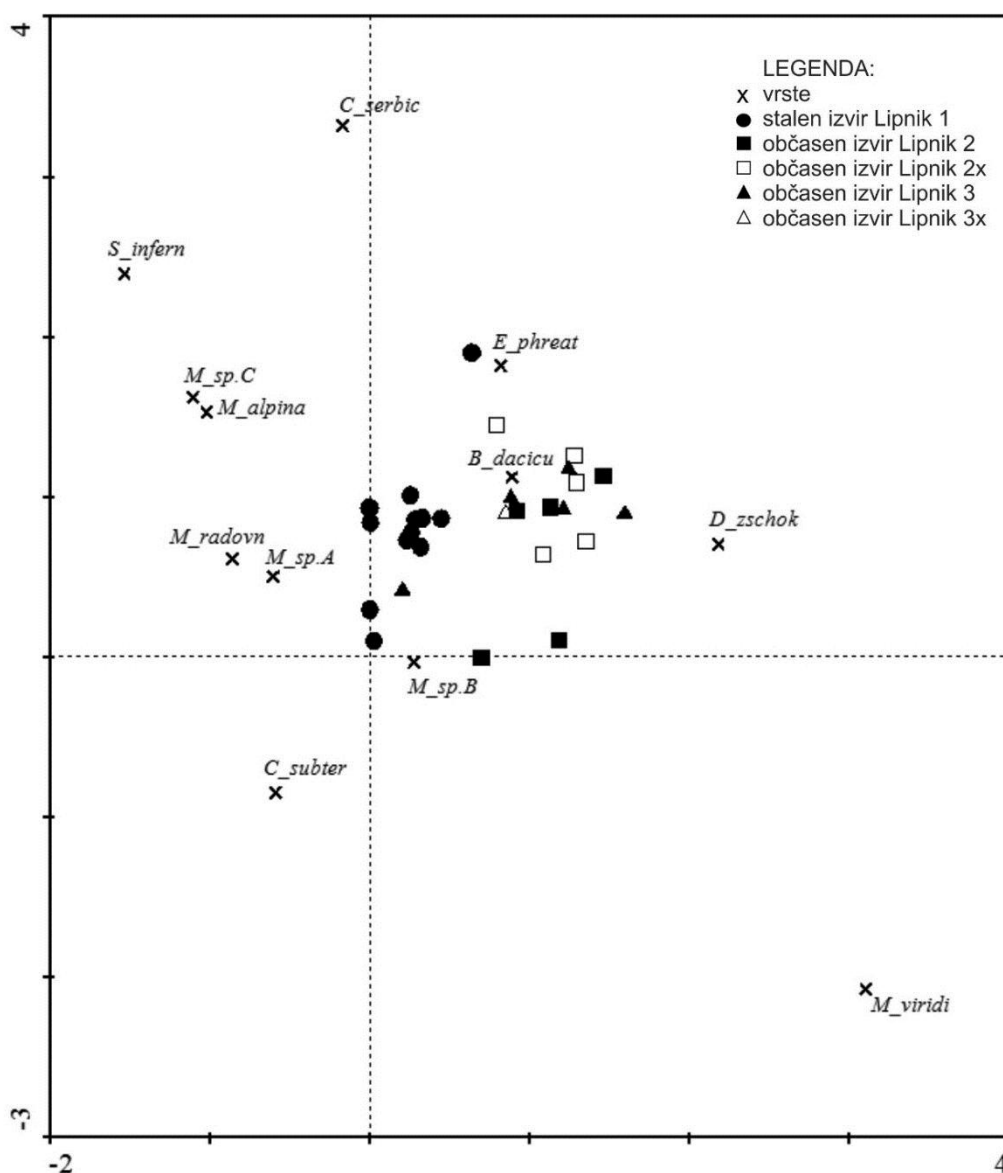


Slika 36: Frekvenca pojavljanja ceponožcev in dvoklopnikov v stalnem in občasni izviri ter bentosu

Rezultate DCA analiz v obliki ordinacijskega diagrama prikazujeta *Slika 37* in *Slika 38*. V primeru driftnih vzorcev prva os razloži 35,1 % variabilnosti v podatkih in druga 12,6 %. V analizi narejeni na bentoških vzorcih prva os razloži 32,1 % variabilnosti v

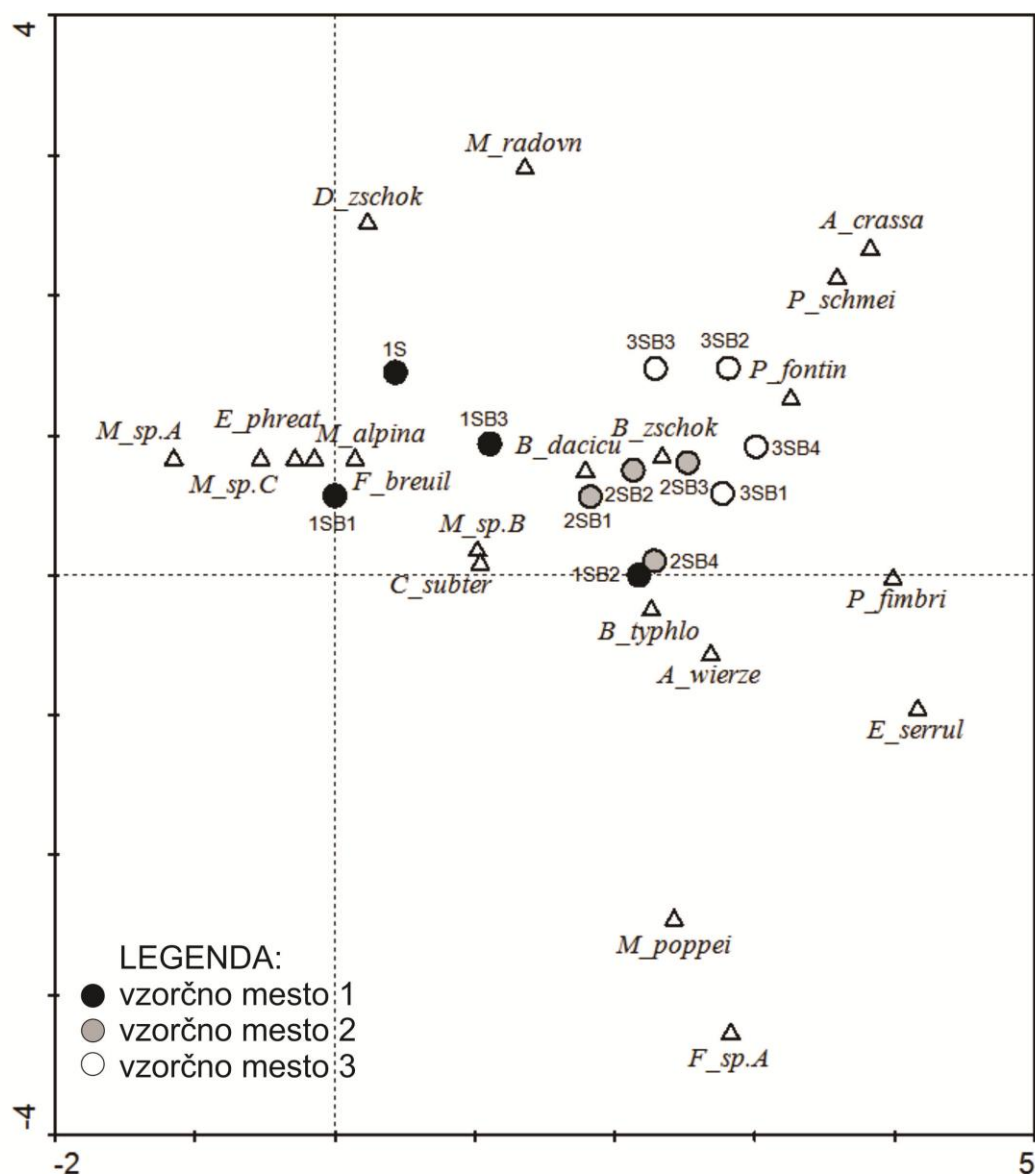
podatkih in druga os 9,6 %. Pri driftnih vzorcih črne pike prikazujejo stalen izvir Lipnik 1, kvadrati občasen izvir Lipnik 2, trikotniki občasen izvir Lipnik 3, vrste pa so označene z X. Kadar je kvadrat ali trikotnik bele barve pomeni, da je voda iz občasnega izvira pritekala na površje nižje (bolj dolvodno) kot ponavadi. V primeru DCA na bentoških vzorcih črne pike predstavljajo vzorčno mesto 1, sive pike vzorčno mesto 2, bele pike vzorčno mesto 3 ter trikotniki vrste ceponožcev in dvoklopnikov, ki so se pojavljale v vzorcih. Bližje kot je oznaka za vrsto določenemu vzorcu, bolj pogosto se je ta vrsta pojavljala v tem vzorcu.

Iz diagrama DCA na driftnih vzorcih (Slika 37) lahko razberemo, da se vzorci iz stalnega in občasnih izvirih najbolj razlikujejo na podlagi pojavljanja vrst *Megacyclops viridis* in *Diacyclops zschokkei* v občasnih izvirih in vrst *Moraria alpina*, *Mixtacandona sp. C*, *Speocyclops infernus* v stalnem izviru. Vidna je jasna razlika v sestavi združbe med stalnim in občasnim izviroma, saj se vzorci iz posameznih con grupirajo v dve ločeni skupini.



Slika 37: Ordinacijski diagram DCA analize driftnih vzorcev

Iz diagrama DCA na bentoških vzorcih (Slika 38) lahko razberemo, da se vzorci iz lokacij 1, 2 in 3 najbolj razlikujejo na podlagi pojavljanja vrst *Mixtacandona* sp. A, *Mixtacandona* sp. C, *Elaphoidella phreatica*, *Moraria alpina*, *Fabaeformiscandona breuili* in *Diacyclops zschokkei* na lokaciji 1, *Atheyella wierzejskii* in *Bryocamptus typhlops* na lokaciji 2 ter *Eucyclops serrulatus*, *Paracyclops fimbriatus*, *Atheyella crassa*, *Paracamptus schmeili* in *Psychrodromus fontinalis* na lokaciji 3. Na diagramu je razlika v sestavi združbe med lokacijami opazna, vendar ne toliko kot na diagramu driftnih vzorcev.



Slika 38: Ordinacijski diagram DCA analize bentoških vzorcev

4.2.4 Vrstna pestrost ceponožcev in dvoklopnikov

Vrstno pestrost sem prikazala s Shannonovim in Simpsonovim indeksom ter Buzas-Gibsonovim ravnovesjem. *Preglednica 10* prikazuje indekse in ravnovesje stalnega izvira in *Preglednica 11* občasnih izvirov. *Preglednica 12* prikazuje vrstno pestrost bentosa.

Povprečje Shannonovega indeksa stalnega izvira znaša 1,291, najvišji je 1,666 v januarju 2011 in najnižji 0,845 v marcu 2011. V občasnih izvirov je povprečje Shannonovega indeksa 0,985, najvišji je 1,562 v izviru Lipnik 2 (december 2010) in najnižji 0,000 v izviru Lipnik 3 (maj 2011). V bentosu je povprečje Shannonovega indeksa enako 1,475, najvišji je 1,914 na lokaciji 2 (vzorec SB3) in najnižji 1,011 na lokaciji 1 (vzorec SB1).

Povprečje Simpsonovega indeksa stalnega izvira je 0,603, najvišji je 0,778 v juniju 2011 in najnižji 0,393 v oktobru 2011. V občasnih izvirov znaša povprečje Simpsonovega indeksa 0,545, najvišji je 0,754 v izviru Lipnik 2 (december 2010) in najnižji 0,000 v izviru Lipnik 3 (maj 2011). V bentosu je povprečje Simpsonovega indeksa enako 0,695, najvišji je 0,829 na lokaciji 2 (SB3) in najnižji 0,496 na lokaciji 1 (SB2).

Povprečje Buzas-Gibsonovega ravnovesja stalnega izvira znaša 0,538, najvišje je 0,952 v juniju 2011 in najnižje 0,285 v februarju 2011. V občasnih izvirov je povprečje Buzas-Gibsonovega ravnovesja enako 0,755, najvišje je 1,00 v izviru Lipnik 3 (maj 2011) in najnižje 0,514 v izviru Lipnik 2X (februar 2011). V bentosu je povprečje Buzas-Gibsonovega ravnovesja enako 0,642, najvišje je 0,917 na lokaciji 1 (vzorec SB1) in najnižje 0,428 na lokaciji 1 (vzorec SB3).

Preglednica 10: Shannonovi in Simpsonovi indeksi ter Buzas-Gibsonovo ravnovesje stalnega izvira

Lokacija	Vzorec	Datum	Shannon	Simpson	Buzas-Gibson
Lipnik	1	13.12.2010	1,334	0,725	0,949
Lipnik	1	13.1.2011	1,666	0,765	0,661
Lipnik	1	14.2.2011	1,046	0,442	0,285
Lipnik	1	29.3.2011	0,845	0,498	0,776
Lipnik	1	5.5.2011	1,172	0,489	0,294
Lipnik	1	1.6.2011	1,561	0,778	0,952
Lipnik	1	21.7.2011	1,528	0,719	0,512
Lipnik	1	25.8.2011	1,155	0,503	0,317
Lipnik	1	4.10.2011	0,904	0,393	0,309
Lipnik	1	4.11.2011	1,365	0,588	0,391
Lipnik	1	6.12.2011	1,349	0,638	0,482
Lipnik	1	19.1.2012	1,569	0,694	0,534
Povprečje			1,291	0,603	0,538
Standardna deviacija			0,270	0,134	0,245

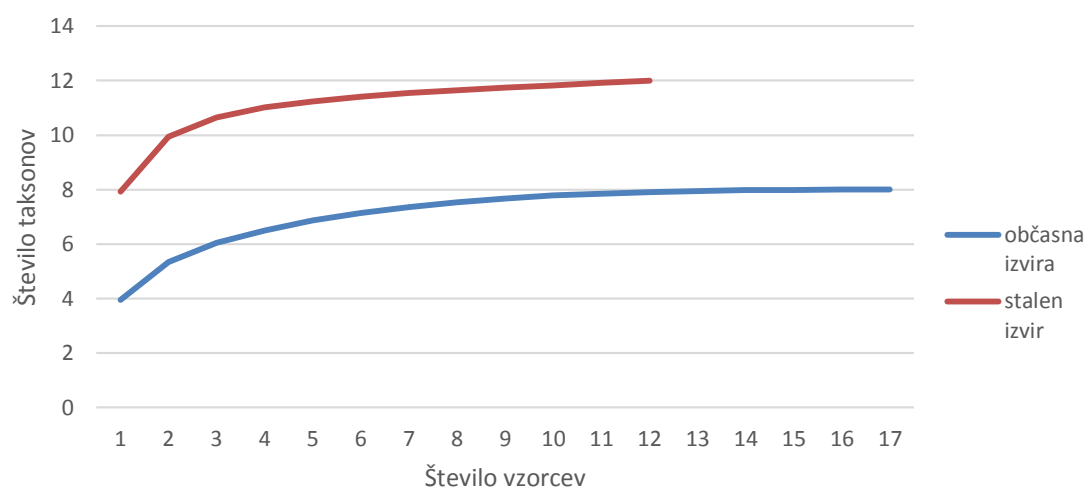
Preglednica 11: Shannonovi in Simpsonovi indeksi ter Buzas-Gibsonovo ravnovesje občasnih izvirov

Lokacija	Vzorec	Datum	Shannon	Simpson	Buzas-Gibson
Lipnik	2	13.12.2010	1,562	0,754	0,795
Lipnik	2X	14.2.2011	1,127	0,563	0,514
Lipnik	2	5.5.2011	1,019	0,615	0,924
Lipnik	2	1.6.2011	0,956	0,571	0,867
Lipnik	2	21.7.2011	1,273	0,669	0,714
Lipnik	2X	25.8.2011	0,938	0,554	0,852
Lipnik	2X	4.10.2011	0,744	0,491	0,701
Lipnik	2	4.11.2011	0,850	0,489	0,780
Lipnik	2X	6.12.2011	1,035	0,496	0,563
Lipnik	2X	19.1.2012	1,199	0,643	0,663
Lipnik	3	13.12.2010	0,950	0,560	0,862
Lipnik	3	13.1.2011	0,673	0,480	0,980
Lipnik	3X	14.2.2011	1,182	0,615	0,652
Lipnik	3	5.5.2011	0,000	0,000	1,000
Lipnik	3	1.6.2011	1,314	0,672	0,620
Lipnik	3	21.7.2011	1,144	0,619	0,628
Lipnik	3	4.11.2011	0,773	0,472	0,722
Povprečje			0,985	0,545	0,755
Standardna deviacija			0,340	0,161	0,143

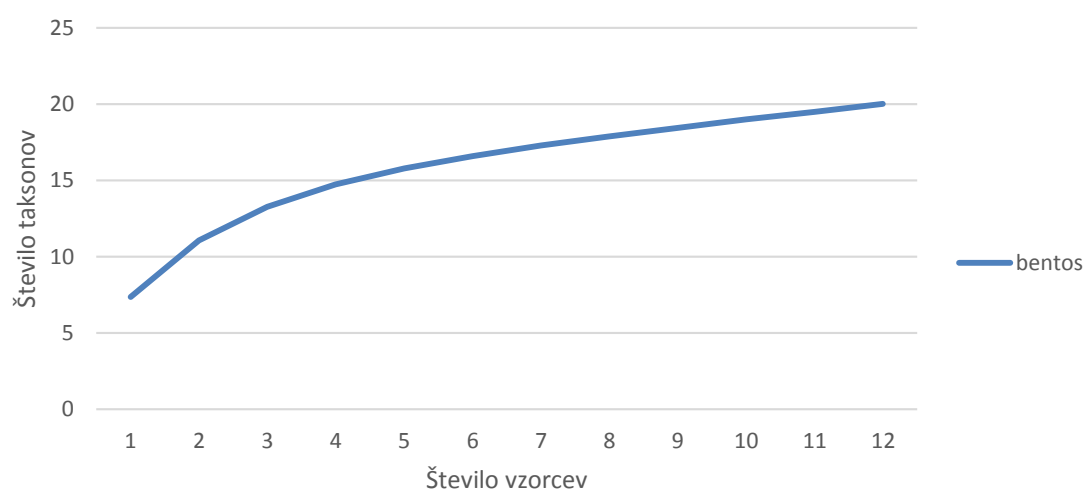
Preglednica 12: Shannonovi in Simpsonovi indeksi ter Buzas-Gibsonovo ravnovesje bentosa

Lokacija	Vzorec	Shannon	Simpson	Buzas-Gibson
1	S	1,581	0,741	0,810
1	SB1	1,011	0,611	0,917
1	SB2	1,132	0,496	0,388
1	SB3	1,453	0,651	0,428
2	SB1	1,414	0,671	0,685
2	SB2	1,598	0,735	0,706
2	SB3	1,914	0,829	0,678
2	SB4	1,351	0,642	0,644
3	SB1	1,538	0,737	0,466
3	SB2	1,612	0,767	0,716
3	SB3	1,470	0,693	0,544
3	SB4	1,627	0,767	0,727
Povprečje		1,475	0,695	0,642
Standardna deviacija		0,237	0,088	0,158

Krivulje vrstne akumulacije (Mao-Tau krivulje) stalnega in občasnih izvirov ter bentosa prikazujeta *Slika 39* in *Slika 40*. Ker je vzorčenje drifta potekalo v času, vzorčenje bentosa pa v prostoru, krivulj ne moremo direktno primerjati. Krivulji stalnega in občasnih izvirov imata na začetku večji naklon, potem pa dosežeta asimptoto. Tudi krivulja bentosa ima na začetku večji naklon, ki se kasneje le malo zmanjša in ne doseže asimptote. Vzrok za takšno krivuljo bentoških vzorcev je velika heterogenost v sestavi vrst v vzorcih, predvsem zaradi heterogenih lastnosti struge (različna hitrost vodnega toka, porazdeljenosti substrata in hrane). Ocenjeno število vrst z uporabo Chao₂ enačbe je bilo 12 za stalni izvir, 8 za občasna izvira in 27 za bentos. V stalnem in občasnih izvirov smo našli vse prisotne vrste že po osmih vzorčenjih, v bentoških vzorcih pa bi morali najti še 7 vrst.



Slika 39: Krivulja vrstne akumulacije v stalnem in občasnih izvirih



Slika 40: Krivulja vrstne akumulacije v bentosu

4.3 Razprava

V diplomski nalogi sem merila fizikalne in kemijske dejavnike v izviri Lipnika ter poskusila razložiti vzroke za spreminjanje okoljskih dejavnikov s pomočjo meteoroloških razmer in hidrološkega režima na raziskovanem območju. V času našega vzorčenja sem spremljala tako temperaturo zraka kot temperaturo vode in pretoka v izviri Lipnika in v reki Savi Dolinki ter količino padavin vzorčenega območja. Podatki o padavinah in pretoku reke Save Dolinke kažejo očitno odvisnost pretoka reke od količine padavin. Po drugi strani pa se očitne odvisnosti pretoka vode v izviri od količine padavin, razen v novembru, ne opazi. Da bi lahko potrdila povezanost teh dveh dejavnikov, bi potrebovala podatke o dnevnih padavinah ter dnevne meritve pretokov v izviru. Iz meteoroloških podatkov lahko razberem, da je temperatura vode v reki v odvisnosti od temperature zraka, le-ta pa na temperaturo vode v izviri ne vpliva. Opazi se rahla povezava količine padavin s temperaturo vode v izviri. Temperatura vode v izviri je bila v mesecu juniju najnižja, kar je lahko posledica večje količine padavin v tem času. Specifična električna prevodnost vode je bila najnižja junija, ko je bilo razmeroma veliko padavin. Veliko padavin pomeni krajši zadrževalni čas vode v podzemlju in hitrejši podzemni tok, zato se v vodi ni moglo raztopiti več ionov. Koncentracija ionov pa je tista, ki določa vrednosti specifične električne prevodnosti vode. Apnenčasto zaledje izvirov Lipnik je razlog za bazično pH vrednost vode v izviri Lipnik. Povezanosti med količino padavin in vrednostjo pH se iz naših rezultatov ne opazi, saj bi večja količina padavin morala povzročiti manjšo pH vrednost in obratno. Najnižja vrednost alkalitete je bila junija, kar lahko povežem z najmanjšo vrednostjo kalcijevega bikarbonata v vodi. Glede na padavine je bil čas zadrževanja vode v tem mesecu kratek, zato se ni moglo raztopiti veliko apnenca. Koncentracija in nasičenost kisika v vodi sta bolj odvisni od temperature vode kot od padavin. Iz rezultatov te raziskave ne moremo ugotoviti odvisnosti koncentracije in nasičenosti kisika od padavin. Koncentracijo sulfatov v vodi izvirov Lipnika lahko povežemo s količino padavin. Visoka koncentracija sulfatov v vodi je prisotna ob manjši količini padavin (februar), saj se voda v podzemlju zadrži dalj časa in se v njej lahko raztopi več sulfatov. Več padavin pa zniža koncentracijo sulfatov v vodi (junij), saj se zaradi hitrejšega pretoka v podzemlju nimajo časa raztopiti. Na količino hranil v podzemni vodi najbolj vpliva količina padavin in spiranje s tal. Avgusta je bila zaznana najvišja koncentracija nitritov, oktobra pa nitratov in skupnega dušika. Avgusta in septembra (vzorčili smo na začetku oktobra) je bilo padavin dokaj malo, obremenitev tal z organsko snovjo pa verjetno povečana zaradi človekovih aktivnosti in živinoreje. Hranila, ki so se sprala v podzemno vodo, so se nato zaradi daljšega zadrževalnega časa vode v podzemlju koncentrirala in povzročila višjo koncentracijo hranil v izviri. Koncentracija skupnega fosforja je bila v izviru Lipnik najvišja v januarju, najnižja pa v juniju. Januarja je bilo padavin dokaj malo, junija pa precej veliko. Iz tega lahko sklepam, da je koncentracija skupnega fosforja povezana s količino padavin in časom zadrževanja vode v podzemlju. V daljšem zadrževalnem času se v vodi raztopi in obari več fosforja kot v krajšem. Delež organske snovi v izviri Lipnik izredno niha tako med meseci kot med izviri, zato iz naših podatkov ne moremo dokazati odvisnosti količine padavin od deleža organske snovi v vodi.

V driftnih vzorcih izvirov sem našla 12 različnih vrst ceponožcev in dvoklopnikov. V stalnem izviru so se pojavljale vrste *Megacyclops viridis*, *Diacyclops zschokkei* in *Speocyclops infernus* med ciklopoidi, *Bryocamptus dacicus*, *Ceuthonectes serbicus*, *Elaphoidella phreatica*, *Moraria alpina* in *Moraria radovnae* med harpaktikoidi ter *Mixtacandona sp. A*, *Mixtacandona sp. B*, *Mixtacandona sp. C* in *Cavernocypris subterranea* med dvoklopniki. V občasni izviri je bilo vrst malo manj, in sicer

Megacyclops viridis in *Diacyclops zschokkei* med ciklopoidi, *Bryocamptus dacicus*, *Ceuthonectes serbicus* in *Elaphoidella phreatica* med harpaktikoidi ter *Mixtacandona A*, *Mixtacandona sp. B* in *Cavernocypris subterranea* med dvoklopniki. Vse vrste, ki sem jih našla v driftnih vzorcih, so bile že prej opažene v izviri in podzemnih vodah ter njihovi habitatni opisani v literaturi (Sket B. in Brancelj A., 1992; Pesce G.L., 1994; Brancelj A. in Griffiths H.I., 1996; Janetzky W. in sod., 1996; Stoch F., 1998; Meisch C., 2000; Brancelj A., 2001; Mori N. in Meisch C., 2012).

Iz teh podatkov se opazi, da je združba v stalnem izviru bolj pestra kot združba v občasni izviri. To dokazujejo tudi krivulji vrstne akumulacije in rezultati Chao₂ enačbe, ki ocenjujejo število vrst za stalen izvir na 12 in za občasni izvir na 8. Poleg tega je bilo v stalnem izviru veliko več osebkov kot v občasni izviri, kar potrjuje večjo številčnost favne. Verjetno velik del vode iz občasni izvirov priteka iz nezasičene cone, kjer je gostota favne manjša kot v zasičeni coni, saj tu vladajo bolj stabilne hidrološke razmere.

Vrstno pestrost združb ceponožcev in dvoklopnikov sem ocenila s Shannonovim in Simpsonovim indeksom ter Buzas-Gibsonovim ravnovesjem. Povprečna vrednost Shannonovega indeksa v stalnem izviru je 1,291 in v občasni izviri 0,985, kar kaže na večjo vrstno pestrost stalnega izvira. Povprečna vrednost Simpsonovega indeksa v stalnem izviru je 0,603 in v občasni izviri 0,545. V tem primeru se vrednosti ne razlikujeta veliko in sta skoraj na sredini, kar kaže na polovično verjetnost, da bosta dva naključno izbrana osebka v vzorcu pripadala dvema različnima vrstama. Povprečna vrednost Buzas-Gibsonovega ravnovesja v stalnem izviru znaša 0,538 in v občasni izviri 0,755, kar pomeni, da so v stalnem izviru vrste v vzorcih razporejene enakomerneje kot v občasni izviri.

Visoka vrstna pestrost alpskega kraškega vodonosnika, ki je primerljiva z dinarskimi kraškimi vodonosniki, nakazuje dobro razvitost sistema kanalov in razpok v vodonosniku. Zaradi večje prostornine in razvejanosti kanalov je na voljo več življenjskega prostora za živali. V primerjavi s Karavankami, ki nimajo razvitega kraškega sistema (Brenčič M. in Polntig W., 2008), je vrstna pestrost izjemno visoka. Manjše število vrst v občasni izviri nakazuje napajanje iz večjih kanalov s hitrejšim vodnim tokom. To je za živali, ki jih močan tok lahko konstantno izpira neprimerno okolje. Nižji raki se raje skrivajo v manjših stranskih kanalčkih s počasnejšim tokom in več hrane (Galassi D.M.P. in sod., 2009).

V bentosu sem našla 20 vrst ceponožcev in dvoklopnikov. Med ciklopoidi so bile vrste *Diacyclops zschokkei*, *Eucyclops serrulatus* in *Paracyclops fimbriatus*, med harpaktikoidi *Attheyella crassa*, *Attheyella wierzejskii*, *Bryocamptus dacicus*, *Bryocamptus typhlops*, *Bryocamptus zschokkei*, *Elaphoidella phreatica*, *Moraria alpina*, *Moraria poppei*, *Moraria radovnae* in *Paracamptus schmeili* ter med dvoklopniki *Mixtacandona A*, *Mixtacandona sp. B*, *Mixtacandona sp. C*, *Cavernocypris subterranea*, *Fabaeformiscandona breuili*, *Psychrodromus fontinalis* in *Fabaeformiscandona sp. A*. V bentosu potoka je opazna večja vrstna raznolikost, saj so poleg podzemni vrst prisotne tudi površinske vrste ceponožcev in dvoklopnikov, kar potrjuje opise habitatov najdenih živali v literaturi (Pesce G.L., 1994; Brancelj A. in Griffiths H.I., 1996; Janetzky W. in sod., 1996; Stoch F., 1998; Dole-Olivier M.-J. in sod., 2000; Meisch C., 2000; Brancelj A., 2001; Mori N. in Meisch C., 2012). Večjo vrstno raznolikost dokazujejo povprečna vrednost Shannonovega indeksa, ki za bentos znaša 1,475, in rezultat Chao₂ enačbe, ki za bentos ocenjuje 27 vrst.

Vrste, ki so se pojavile izključno v bentosu, so *Psychrodromus fontinalis*, *Bryocamptus zschokkei*, *Atheyella wierzejskii*, *Attheyella crassa*, *Bryocamptus typhlops*, *Paracyclops fimbriatus*, *Paracamptus schmeili*, *Eucyclops serrulatus*, *Fabaeformiscandona breuili*, *Fabaeformiscandona sp. A* in *Moraria poppei*. Vrste, ki so se pojavile izključno v driftu so *Speocyclops infernus*, *Ceuthonectes serbicus* in *Megacyclops viridis*.

Poleg vrst, ki se pojavljajo samo v določenih conah, sem opazila tudi vrsto, ki se pojavlja povsod v precejšnjem deležu. To je vrsta *Bryocamptus dacicus*, ki sicer velja za stigobiontsko vrsto. Ker pa se v velikem deležu pojavlja tudi v bentosu potoka, lahko potrdim, da se vrsta dobro prilagaja tudi površinskemu okolju. Da je ta vrsta zelo razširjena v raznolikih podzemnih in površinskih okoljih so pokazale že predhodne raziskave (Pipan T. in Brancelj A., 2004).

Metodologija vzorčenja ima velik vpliv na oceno vrstnega bogastva podzemne vodne favne, kar sta dokazala tudi Hancock P.J. in Boulton A.J. (2009). Na Lipniku je bila metoda driftnega vzorčenja uporabljena tudi leta 1999, ko je bilo tudi dokazano, da se sestava favne pridobljene z driftom, razlikuje od favne pridobljene s kick-sampling metodo (Kejžar Z., 2003). V driftnih vzorcih raziskave iz leta 1999 je bilo najdenih 6 vrst ceponožcev, kar je v primerjavi z našo raziskavo 2 vrsti manj. To je lahko posledica redkejšega in krajšega vzorčenja. Dokazuje pa, da je za dobro oceno raznolikosti podzemne vodne favne potrebno večkratno vzorčenje, kar lahko potrdimo tudi s krivuljo vrstne akumulacije.

Kot indikatorske vrste za stalen izvir sem vzela vrste, ki so bile tukaj pogoste in se niso pojavljale ne v občasnih izviroh in ne v bentosu (oziroma le naključno). Pomagala sem si tudi z diagramom DCA analize. Te vrste so *Speocyclops infernus*, *Moraria radovnae*, *Moraria alpina*, *Mixtacandona sp. C*. Vrsto *Speocyclops infernus* sem v vzorcih našla samo enkrat in, ker je vrsta tipično epikraška (Galassi D.M.P. in sod., 2009; Culver D.C. in sod., 2012), je ne morem vzeti za indikatorja stalnega izvira. Enako velja za vrsto *Moraria radovnae*, ki je tipično površinska (Brancelj A., 2001). Vrsti *Moraria alpina* in *Mixtacandona sp. C* sta se pojavili tudi v bentosu, vendar v tako majhnem deležu, da sta na površje verjetno prišli naključno iz podzemlja, zato jih lahko imenujem za indikatorski vrsti stalnega izvira.

Indikatorske vrste za občasna izvira iz ocene pojavljanja nisem mogla določiti, saj se vse vrste iz občasnih izvirov pojavijo tudi v stalnem izviru. Glede na rezultate DCA analize, bi lahko izbrala vrsto *Megacyclops viridis*. Vendar pa je ta vrsta stigoksena in se v podzemlju pojavlja samo občasno, zato jo ne morem določiti za indikatorsko podzemno vrsto. Iz te raziskave indikatorske vrste za občasna izvira nisem mogla določiti.

Za določitev indikatorskih vrst bentosa sem upoštevala številčnost osebkov (najbolj številčni) in za indikatorje določila vrste *Psychrodromus fontinalis* med dvoklopniki, *Bryocamptus zschokkei* med harpaktikoidi in *Paracyclops fimbriatus* med ciklopoidi.

5 ZAKLJUČKI

V diplomski nalogi sem želela raziskati uporabnost podzemne vodne favne kot indikatorja za hidrogeološko karakterizacijo kraških vodonosnikov na študijskem primeru Pokljuškega kraškega vodonosnika. Kot metodo sem uporabila mesečno vzorčenje drifta podzemne favne v stalnem in dveh občasnih izviri.

Iz mojih rezultatov sledi, da se določene fizikalne in kemijske lastnosti vode v izviri Lipnika v odvisnosti od padavinskega režima spreminjajo, določene pa ne. Od padavin je odvisna temperatura vode, specifična električna prevodnost, alkaliteta, koncentracija sulfatov, količina hranil in koncentracija fosforja.

Dokazala sem, da se združba nižjih rakov, ki naseljuje kraški vodonosnik, v vrstni pestrosti in sestavi razlikuje med stalnim in občasnim izvirom. To sem dokazala z biotskimi indeksi in krivuljo vrstne akumulacije ter s frekvenčnim diagramom in DCA analizo. Združba stalnega izvira kraškega vodonosnika je bila v primerjavi z občasnim izvirom številčnejša in vrstno pestrejša. Poleg tega je multivariatna analiza združbe pokazala razliko v sestavi favne, predvsem v tem, da so v stalnem izviru prevladovalle druge vrste kot v občnih. Podzemna vodna favna se je po sestavi in številu vrst razlikovala od favne v bentosu potoka Lipnik. V favni bentosa je bilo večje število vrst kot v podzemni vodni favni, kar dokazuje tudi Shannonov indeks, pojavljale so se druge vrste. Dokazala sem, da je podzemna favna preučevanega alpskega kraškega vodonosnika vrstno bogata in primerljiva z dinarskimi kraškimi vodonosniki, kar nakazuje dobro razvitost kraškega podzemlja.

Indikatorske vrste sem lahko določila le za stalen izvir in bentos, za občasna izvira indikatorske vrste iz pridobljenih podatkov nisem mogla določiti. Indikatorji stalnega izvira so *Moraria alpina* in *Mixtacandona sp. C.* ter indikatorji bentosa so *Psychrodromus fontinalis*, *Bryocamptus zschokkei* in *Paracyclops fimbriatus*.

S to diplomsko nalogo sem dokazala, da je driftno vzorčenje kraških izvirov dobra in relativno preprosta metoda vzorčenja podzemne vodne favne, s katero lahko določimo nekatere hidrogeološke značilnosti vodonosnika. Brez večjih težav bi to metodo lahko uporabili tudi na drugih vodonosnikih, seveda ob doslednem vzorčenju in dobrem poznavanju favne raziskovanega območja. Raziskovalna naloga je prispevala tudi k boljšemu poznavanju ekoloških zahtev posameznih vrst ter je nov prispevek k poznavanju vrst, ki živijo v kraških vodonosnikih na alpskem območju.

6 VIRI

Agencija RS za okolje. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000). Ljubljana: str. 3, 15

Agencija RS za okolje. 2007. Atlas okolja. Dostopno na: <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/> (pregledano 24. avgusta 2012).

Agencija RS za okolje. 2008. Kakovost voda v Sloveniji. Dobnikar Tehovnik M. (ur.). Ljubljana: 53–65

Agencija RS za okolje. 2012. Dostopno na: <http://www.arso.gov.si/> (pregledano 1. februarja 2012)

APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition. Washington, D.C. American Public Health Association.

Bonacci O. 1987. Karst hydrology, with special reference to the Dinaric karst. Berlin, New York. Springer-Verlag: str. 4–17, 49–67

Brancelj A. 1995. Fizikalne, kemijske in biološke analize v petih izviri na območju Triglavskega narodnega parka. Ljubljana. Inštitut za biologijo.

Brancelj A. 1996a. Favna rakov ceponožcev (Crustacea: Copepoda) v celinskih vodah. V: Narava Slovenije, stanje in perspektive. Gregori J., Martinčič A., Tarman K., Urbanc-Berčič O., Tome D., Zupančič M. (ur.). Ljubljana. Društvo ekologov Slovenije: 242–246

Brancelj A. 1996b. Raki dvoklopniki (Crustacea: Ostracoda) v celinskih vodah. V: Narava Slovenije, stanje in perspektive. Gregori J., Martinčič A., Tarman K., Urbanc-Berčič O., Tome D., Zupančič M. (ur.). Ljubljana. Društvo ekologov Slovenije: 236–237

Brancelj A., Griffiths H.I. 1996. Preliminary list of freshwater Ostracoda (Crustacea) from Slovenia. *Annales for Istrian and Mediterranean Studies*, 9: 201–210

Brancelj A. 2000. *Morariopsis dumonti* n. sp. (Crustacea: Copepoda: Harpacticoida) - a new species from an unsaturated karstic zone in Slovenia. *Hydrobiologia (Den Haag)*, 436: 73–80

Brancelj A. 2001. Male of *Moraria radovnae* Brancelj, 1988 (Copepoda: Crustacea), and notes on endemic and rare copepod species from Slovenia and neighbouring countries. *Hydrobiologia*, 453/454: 513–524

Brancelj A. 2002. Microdistribution and high diversity of Copepoda (Crustacea) in a small cave in central Slovenia. *Hydrobiologia (Den Haag)*, 477: 59–72

Brancelj A., Dumont H.J. 2007. A review of the diversity, adaptations and groundwater colonization pathways in Cladocera and Calanoida (Crustacea), two rare and contrasting groups of stygobionts. *Archiv für Hydrobiologie*, 168: 3–17

Brancelj A. 2009. Fauna of an unsaturated karstic zone in Central Slovenia: two new species of Harpacticoida (Crustacea: Copepoda), *Elaphoidella millennii* n. sp. and *E.*

tarmani n. sp., their ecology and morphological adaptations. *Hydrobiologia* (Den Haag), 621: 85–104

Brečko Grubar V., Plut D. 2001. Kakovost virov pitne vode v Sloveniji. *Ujma*, 14 – 15: 238–244

Brenčič M., Polntig W. 2008. Podzemne vode Karavank – Skrito bogastvo. Geološki zavod Slovenije, Joanneum Research Forschungsgesellschaft. Ljubljana, Graz.

Brittain J.E., Eikeland T.J. 1988. Invertebrate drift - a review. *Hydrobiologia*, 166: 77–93

Cantonati M., Corradini F., Tagnin L. 1996. Inquadramento fisico-chimico e morfologico. V: Le sorgenti del Parco Adamello-Brenta. Cantonati M. (ur.). Parco Adamello Brenta Documenti: 9–54

Comitee on Animals as Monitors of Environmental Hazards of the U.S. National Research Council. 1991. Animals as sentinels of environmental health hazards. Washington, D.C. National Academy Press.

Colwell R.K. 2011. EstimateS, Version 8.2: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Software and User's Guide)

Culver D.C., Debevec B., Knez M., Kovačič G., Kranjc A., Mulec J., Pipan T., Prelovšek M., Ravbar N., Semeja A., Slabe T., Šebela S., Zupan Hajna N., Kovačič G. 2012. Karstology and development challenges on karst, Volume 2. Založba ZRC: 120–131

Dole-Olivier M.-J., Creuzé des Chatelliers. M., Marmonier P. 1993. Repeated gradients in subterranean landscape - example of the stygofauna in the alluvial floodplain of the Rhone River (France). *Archiv für Hydrobiologie*, 127: 451–471

Dole-Olivier M.-J., Galassi D.M.P., Marmonier P., Creuzé des Châtelliers M. 2000. The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology*, 44: 63–91

Drew D. 1999. Characteristics of the karstic system. V: Karst Hydrology and Human Activities. International Contributions to Hydrogeology. Drew D., Hötzl H. (ur.). Rotterdam. A. A. Balkema. International Association of Hydrologists: 4–8

Einsle U. 1993. Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart: 1–208

Fišer C., Sket B., Stoch F. 2006. Distribution of four narrowly endemic *Niphargus* species (Crustacea: Amphipoda) in the western Dinaric region with description of a new species. *Zoologische Anzeiger*, 245: 77–94

Fišer C., Zakšek V., Zagamajster M., Sket B. 2007. Taxonomy and biogeography of *Niphargus steueri* (Crustacea: Amphipoda). *Limnology*, 3: 297–309

Fišer C., Coleman C.O., Zagamajster M., Zwitter B., Gerecke R., Sket B. 2010. Old museum samples and recent taxonomy: a taxonomic, biogeographic and conservation perspective of the *Niphargus tatrensis* species complex (Crustacea: Amphipoda). *Organisms Diversity & Evolution*, 1: 5–22

- Ford D.C., Williams P. W. 1989. Karst geomorphology and hydrology. London, Chapman and Hall: str. 601
- Galassi D.M.P., Huys R., Reid J.W. 2009. Diversity, ecology and evolution of groundwater copepods. *Freshwater Biology*, 54: 691–708
- Gams I. 1974. Kras: zgodovinski, naravoslovni in geografski oris. Ljubljana. Slovenska matica: 7–359
- Gams I. 1998. Klima. V: Geografija Slovenije. Gams I., Vrišer I. (ur.). Ljubljana. Slovenska matica: str. 91
- Gams I. 2004. Kras v Sloveniji v prostoru in času. 2. Izdaja. Ljubljana. ZRC SAZU. Založba ZRC: str. 11, 12, 411–413
- Geodetski inštitut Slovenije. Interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije. 2011. Dostopno na: Geopedia.si (pregledano 19.6.2012 in 24.8.2012).
- Gibert J. 2001. Basic Attributes of Groundwater Ecosystems. V: Groundwater ecology: a tool for management of water resources. Griebler C. (ur.). Luxembourg. European Commission: 39–52
- Giller P.S., Malmqvist B. 1998. The biology of streams and rivers. Oxford, Oxford University Press: 56–57
- Gunn J. 2004. Enciklopedia of Caves and Karst Science. New York, London, Fitzroy Dearborn, Taylor and Francis Group: str. 902
- Habič P. 1969. Hidrografska rajonizacija krasa v Sloveniji. *Krš Jugoslavije*, 6: 79–91
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 1: 1–9
- Hancock P.J., Boulton A.J. 2009. Sampling groundwater fauna: efficiency of rapid assessment methods tested in bores in eastern Australia. *Freshwater Biology* 54: 902–917
- Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije. 2011. Parametri po prilogi I pravilnika o pitni vodi, del C, indikatorski parametri. Ur.l. RS, št. 19/2004
- Janetzky W., Enderle R., Noodt W. 1996. Crustacea: Copepoda: Gelyelloida und Harpacticoida. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart: 1–288
- Kejžar Z. 2003. Favna ceponožnih rakov (Crustacea: Copepoda) v izviri Triglavskega narodnega parka. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.
- Knez M., Kranjc A. 2009. Kras. V: Geologija Slovenije. Pleničar M., Ogorelec B., Novak M. (ur.). Ljubljana. Geološki zavod Slovenije: str. 563–574
- Kovačič G., Ravbar N. 2005. A review of the potential and actual sources of pollution to groundwater in selected karst areas in Slovenia. *Natural Hazards and Earth Systems Science*, 5: 225–233

Krajnc M., Lapajne V., Smaka Kincl V. 2008. Stanje in trendi kakovosti podzemne vode. Agencija RS za okolje. Zavod za zdravstveno varstvo Maribor. Mestna občina Maribor.

http://fk.uni-mb.si/fkweb-datoteke/kat_ekopolj/Krajnc%20-%20SLO%20dolgo.doc

(pregledano 5. marca 2013)

Lajovic A. 1988. Janez Vajkard Valvasor – naš prvi »speleolog«. *Naše Jame*, 30: 34–40

Malard F. 2001. Groundwater Contamination and Ecological Monitoring in a Mediterranean Ecosystem in Southern France. V: Groundwater ecology: a tool for management of water resources. Griebler C. (ur.). Luxembourg. European Commission: 183–194

Malard F. 2002. Sampling manual for the assessment of regional groundwater biodiversity. Lyon. Université Claude Bernard: 32–51

Malard F., Boutin C., Camacho A.I., Ferreira D., Michel G., Sket B., Stoch F. 2009. Diversity patterns of stygobiotic crustaceans across multiple spatial scales in Europe. *Freshwater Biology*, 54: 756–776

McCabe D.J. 1998. Biological communities in springbrooks. V: Studies in crenobiology: the biology of springs and springbrooks. Botosaneanu L. (ur.). Leiden. Backhuys Publishers: 220–228

Meisch C. 2000. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. Schwoerbel J., Zwick P. (ur.). Süßwasserfauna von Mitteleuropa 8/3. Spektrum Akademischer Verlag. Berlin: 1–522

Meybeck M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science*, 282: 401–450

Mihorko P. 2011. Hranila v rekah. Kazalci okolja v Sloveniji. Agencija RS za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=410 (pregledano 25. februarja 2013)

Mihorko P. 2012. Nitrati v podzemni vodi. Kazalci okolja v Sloveniji. Agencija RS za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=457 (pregledano 5. marca 2013)

Mori N. 2001. Prisotnost velikih vodnih nevretenčarjev v izviri ob vznožju Julijskih Alp. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.

Mori N., Brancelj A. 2006. Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the Southern Limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). *Aquatic Ecology*, 40: 69–83

Mori N., Brancelj A. 2008. Distribution and habitat preferences of species within the genus *Elaphoidella* Chappuis, 1929 (Crustacea: Copepoda: Harpacticoida) in Slovenia. *Zoologische Anzeiger*, 247: 85–94

Mori N., Meisch C., Brancelj A. 2011a. Morphology, ecology and distribution of *Typhlocypris cavicola* (KLIE, 1935) and *Fabaeformiscandona aemonae* (KLIE, 1935), two triangularly shaped ostracods from Slovenia (Crustacea, Ostracoda). *Joannea – Geologie und Paläontologie*, 11: 144–146

Mori N., Oz B., Kanduč T., Kocman D. 2011b. Ostracoda in South-eastern Alps (Slovenia): assemblages in ground waters, springs and adjacent spring brooks. *Joannea – Geologie und Paläontologie*, 11: 147–150

Mori N., Meisch C. 2012. Prispevek k poznavanju dvoklopnikov (Ostracoda, Crustacea) v Sloveniji. *Natura Sloveniae*, 14(2): v tisku

Mösslacher F., Griebler C., Notenboom J. 2001. Biomonitoring of Groundwater Systems: Methods, Applications and Possible Indicators among the Groundwater Biota. V: Groundwater ecology: a tool for management of water resources. Griebler C. (ur.). Luxembourg. European Commission: 173–182

Notenboom J., Hendrix W., Folkerts A.J. 1996. Meiofauna assemblages discharged by springs from a phreatic aquifer system in the Netherlands. *Aquatic Ecology*, 30: 1–13

Notenboom J., Plénet S., Turquin M.-J. 1994. Groundwater contamination and its impacts on groundwater animals and ecosystems. V: Groundwater ecology. Gibert J., Danielopol D. L., Stanford J. A. (ur.). Academic Press. San Diego: 477–504

Odlok o določitvi varstvenih pasov in ukrepov za zavarovanje vodnega zajetja Ovčja jama, Ur.l. RS št. 43/1999 in 61/2001

Pesce G.L. 1994. The genus *Diacyclops* Kiefer in Italy: a taxonomic, ecological and biogeographical up-to-date review (Crustacea Copepoda Cyclopidae). *Arthropoda Selecta*, 3: 13–19

Petkovski T.K., Meisch C. 1994. *Cypria bicolor* n. sp., a new crenobiont freshwater ostracod (Crustacea, Ostracoda) from Slovenia. *Bulletin de la Société des Naturalistes luxembourgeois*, 95: 229–236

Pipan T., Brancelj A. 2001. Ratio of copepods (Crustacea: Copepoda) in fauna of percolation water in six karst caves in Slovenia = Delež ceponožcev (Crustacea: Copepoda) v favni preniklih voda v šestih kraških jamah v Sloveniji. *Acta carsologica*, 30: 257–265

Pipan T., Brancelj A. 2004. Distribution Patterns of Copepods (Crustacea: Copepoda) in Percolation Water of the Postojnska Jama Cave System (Slovenia). *Zoological Studies*, 43: 206–210

Pipan T., Culver D.C. 2007. Copepod distribution as an indicator of epikarst system connectivity. *Hydrogeology Journal*, 15: 817–822

Plut D. 2000. Geografija vodnih virov. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 137–143

Pospisil P. 1992. Sampling methods for groundwater animals of unconsolidated sediments. V: The natural history of biospeleology. Camacho A. I. (ur.). Madrid. Museo

Nacional de Ciencias Naturales. Consejo superior de investigaciones científicas: 107–134

Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja, Ur.l. RS št. 64/2004, 5/2006 in 58/2011

Pravilnik o monitoringu podzemnih voda, Ur.l. RS št. 31/2009

Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda, Ur.l. RS št. 10/2009 in 81/2011

Pravilnik o pitni vodi, Ur.l. RS št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006 in 25/2009

Ravbar N. 2007. Vulnerability and risk mapping for the protection of karst waters in Slovenia. Application to the catchment of the Podstenjšek springs. Doktorska disertacija. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica: str. 7–38

Rejic M., Smolej I. 1988. Sladkovodni ekosistemi, varstvo voda in gozdna hidrologija. Ljubljana. Biotehniška fakulteta. VTOZD za gozdarstvo: str. 225

Shannon C.E., Weaver W. 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, University of Illinois Press: str. 117

Simpson E.H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature*, 163: str. 688

Sinreich M. 2004. Properties of contaminants and related processes. V: COST Action 620. Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karstic) Aquifers. Final report COST Action 620. Zwahlen F. (ur.). Brüssel, Luxemburg, European Commission, Directorate-General for Research: 34–36

Sket B., Bole J., Benović A., Brancelj A., Brglez J., Čuček M., Čurčić B., Jaklin A., Karaman G., Katavić I., Kerovec M., Kos I., Legac M., Mršić N., Malej A., Novak T., Petkovski S., Petkovski T., Polenec A., Potočnik F., Pujin V., Radujković B., Štević Z., Tarman K., Travizi A., Velikonja M., Velkovrh F., Vidaković J., Zavodnik D. 1991. Bogastvo in raziskanost jugoslovanske favne: nižji nevretenčarji (Metazoa Invertebrata, ex. Insecta). *Biološki vestnik*, 39: 37–52

Sket B., Brancelj A. 1992. Rdeči seznam ogroženih sladkovodnih nižjih rakov (Entomostraca: Anostraca, Cladocera, Copepoda, Ostracoda) v Sloveniji. *Varstvo narave*, 17: 165–172

Sket B. 1996a. Podzemeljski habitati v Sloveniji – ogroženost in varstvo. V: Narava Slovenije, stanje in perspektive. Gregori J., Martinčič A., Tarman K., Urbanc-Berčič O., Tome D., Zupančič M. (ur.). Ljubljana. Društvo ekologov Slovenije: 19–28

Sket B. 1996b. Višji raki (brez potočnih rakov in prašičkov; Malacostraca, ex. Astacidae, Oniscida) – sestava favne in njena ogroženost. V: Narava Slovenije, stanje in perspektive. Gregori J., Martinčič A., Tarman K., Urbanc-Berčič O., Tome D., Zupančič M. (ur.). Ljubljana. Društvo ekologov Slovenije: 222–227

Sket B. 1999a. High biodiversity in hypogean waters and its endangerment – the situation in Slovenia, the Dinaric karst, and Europe. *Crustaceana*, 72, 8: 767–779

Sket B. 1999b. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity and Conservation*, 8: 1319–1338

Sket B. 2003. Raki – Crustacea. V: *Živalstvo Slovenije*. Sket B., Gogala M., Kuštor V. (ur.). Ljubljana. Tehniška založba Slovenije: 188–224

Snyder G. 2011. Water temperature effects on fish and aquatic life. Science Fair Water Basics 101 information.

<http://sciencefairwater.com/physical-water-quality-parameters/water-temperature/water-temperature-effects-on-fish-and-aquatic-life/>

(pregledano 13. decembra 2012)

Stoch F. 1998. *Moraria alpina* n.sp. and redescription of *Moraria radovnae* Brancelj 1988, new rank, from Italian and Slovenian Alps (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida). *Acta biologica*, 73: 135–145

Torkar A., Brenčič M., Vreča P. 2012. Analyses of spring dynamics with the application of stable isotopes: preliminary results of case study in river Radovna Valley (NW Slovenia). V: European Geoscience Union, General Assembly, Vienna, Austria, 22-27 April 2012, Geophysical Research Abstracts, 14. Vienna, European Geoscience Union, 14: str. 5212

Ugland K.I., Gray J.S., Ellingsen K.E. 2003. The species-accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology*, 72: 888–897

Urbanič G., Toman M.J. 2003. *Varstvo celinskih voda*. Ljubljana. Študentska založba: str. 14

Uredba o kemijskem stanju površinskih voda, Ur.l. RS št. 14/2009 in 98/2010

Uredba o standardih kakovosti podzemne vode, Ur.l. RS št. 100/2005, 25/2009

Van Loon G.W., Duffy S.J. 2010. *Environmental Chemistry: A global perspective*. Third edition. New York. Oxford University Press Inc: 254–272

Zakon o Triglavskem narodnem parku, Ur.l. RS št. 52/2010- ZTNP-1 in 7/2010-EPA 806-V

Zakon o vodah, Ur.l. RS št. 67/2002-ZV-1, 110/2002-ZGO-1, 2/2004-ZZdrI-A, 41/2004-ZVO-1, 57/2008-ZV-1A in 57/2012-ZV-1B

Zamfirescu O., Zamfirescu S.R. 2003. Diversity analysis of *Festuco rubrae-Agrostetum capillaris* Horv. 1951 grasslands from the Stânișoara mountains SW slopes. *Revue Roumaine de Biologie - Série de Biologie Vegetale*, 48: 105–113

Zupan Hajna N. 2004. Karst in Slovenia. V: *Slovenia: a Geographical Overview*. Orožen Adamič M. (ur.). Ljubljana. Association of the Geographical Societies of Slovenia. Založba ZRC: 39–44

Zupan Hajna N., Mihevc A., Pruner P., Bosák P. 2008. Palaeomagnetism and Magnetostratigraphy of Karst Sediments in Slovenia. Postojna. ZRC SAZU. Založba ZRC: str. 31

Žemva K. 2007. Okoljevarstveni problemi in sonaravni razvoj turizma na Pokljuki. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: str. 26, 38