

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

ZAKLJUČNA NALOGA

OCENA VELIKOSTI POPULACIJE JAMSKE KOZICE
TROGLOCARIS ANOPHTHALMUS SONTICA
(CRUSTACEA: DECAPODA: CARIDEA) V VIPAVSKI
JAMI

EVA PRAPROTNIK

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

**Ocena velikosti populacije jamske kozice *Troglocaris anophthalmus
sontica* (Crustacea: Decapoda: Caridea) v Vipavski jami**

(Population size estimate for cave shrimps *Troglocaris antophthalmus sontica* (Crustacea:
Decapoda: Caridea) in Vipavska jama)

Ime in priimek: Eva Praprotnik

Študijski program: Biodiverziteteta

Mentor: doc. dr. Jure Jugovic

Koper, avgust 2014

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Eva PRAPROTNIK

Naslov zaključne naloge: Ocena velikosti populacije jamske kozice *Troglocaris anophthalmus sontica* (Crustacea: Decapoda: Caridea) v Vipavski jami

Kraj: Koper

Leto: 2014

Število listov: 38 Število slik: 13 Število preglednic: 4

Število referenc: 45

Mentor: doc. dr. Jure Jugovic

Ključne besede: metoda lova in ponovnega ulova, *Troglocaris*, Vipavska jama, dolžina kljunca, velikost telesa

Izvleček:

Čeprav veljajo slovenske jame za ene izmed najboljše raziskanih in popisanih jam, so študije velikosti populacij majhnih vodnih jamskih nevretenčarjev še vedno maloštevilne. Namen naše raziskave je bil določiti populacijske parametre jamske kozice *Troglocaris anophthalmus sontica* Jugovic, Jalžić, Prevorčnik in Sket, 2012 v Vipavski jami (JZ Slovenija), ki je hkrati njena tipska lokaliteta. Uporabili smo metodo lova in ponovnega ulova (ang. mark–release–recapture, MRR), ki je precej pogosta izbira pri ocenjevanju številčnosti populacij. Velikost populacije smo ocenili z uporabo Schnablovega modela in z Lincoln-Petersenovim modelom, pri katerem smo uporabili Baileyjevo korekcijo, ki jo dodamo v primeru majhnega števila ponovnih ulovov. S pridobljenimi podatki smo določili velikost populacije, razmerje med spoloma in starostno sestavo. Vzorec jamskih kozic smo tudi morfometrično obdelali in jih primerjali z že pridobljenimi podatki iz Vipavske jame in drugih jam, ki so rezultat pretekle raziskave (Jugovic 2010b). Razlik v velikosti populacije med poznoletno (Schnabel: 1257 živali, 95% interval zaupanja = 723–4834; Lincoln-Petersen: 846 živali, standardna napaka = 411) in zimsko sezono (Schnabel: 1201 živali, 95% interval zaupanja = 205, zgornje meje ni bilo mogoče izračunati; Lincoln-Petersen: 351 živali, standardna napaka = 195) z gotovostjo ne moremo potrditi. Opazili smo, da so v populaciji samice številčnejše (predstavljale so 80% ujetih živali). Ovigere samice imajo okoli deset relativno velikih jajc. Juvenilne živali in ovigere samice so bile prisotne tekom obeh sezon, zaradi česar smo izključili močno izraženo sezonsko obnašanje. Jamske kozice, ki si habitat delijo z močerilom, so večje in imajo daljši kljunec z več zobci kot pa kozice, ki stika z močerilom nimajo. Vzorčenje in označevanje jamskih kozic v Vipavski jami se je izkazalo za uspešno, zato bi v nadaljnjih raziskavah lahko preizkusili tudi njihov morebitni bioindikatorski potencial.

Key words documentation

Name and SURNAME: Eva PRAPROTNIK

Title of the final project paper: Population size estimate for cave shrimps *Troglocaris antophthalmus sontica* (Crustacea: Decapoda: Caridea) in Vipavska jama

Place: Koper

Year: 2014

Number of pages: 38

Number of figures: 13

Number of tables: 4

Number of references: 45

Mentor: Assist. Prof. Jure Jugovic, PhD

Keywords: mark-release-recapture, *Troglocaris*, Vipavska jama, rostral length, body size

Abstract:

Even though caves in Slovenia are well studied, population size estimates of small cave-dwelling aquatic invertebrates are not very often an interest of study. We have estimated population size, sex ratio and age distribution of freshwater cave shrimp *Troglocaris anophthalmus sontica* Jugovic, Jalžić, Prevorčnik in Sket, 2012 from its type locality (Vipavska jama, SW Slovenia). We used mark-release-recapture (MRR) technique, furthermore for estimating the population size Schnabel method and Lincoln-Petersen estimation with Bailey correction were used. Morphometric characteristics of 28 cave shrimps from Vipavska jama were analysed and compared with already obtained data from Vipavska jama and other caves, which are the result of previous research (Jugovic 2010b). Differences in population size between summer (Schnabel: 1257 individuals, 95% confidence interval = 723–4834; Lincoln-Petersen: 846 individuals, standard error = 411) and winter period (Schnabel: 1201 individuals, 95% confidence interval = 205, no upper confidence interval could be calculated; Lincoln-Petersen: 351 individuals, standard error = 195) can not be confirmed with certainty. The population was dominated by females, furthermore no seasonality was shown based on population size estimation. Morphometric analysis showed that cave shrimps, who share their habitat with cave salamander *Proteus anguinus* (Laurenti, 1768) have elongated rostrum with more numerous teeth and bigger body size as those populations who live in caves where cave salamander is absent. Cave shrimps in Vipavska jama have abundant population number and are also relatively easy to collect and mark. Therefore they could be used as bioindicators in cave ecosystems.

ZAHVALA

Najlepša hvala mentorju doc. dr. Juretu Jugovicu za vse nasvete in predloge pri izdelavi zaključne naloge, s katero sem pridobila mnogo izkušenj in lepih spominov. Hvala tudi za vso pomoč in spodbudo na terenih – ustavil nas ni niti snežni vihar.

Za pomoč in popestritev terena se zahvaljujem tudi Alenki Mihelčič in Sari Zupan. Hvala, vsaka pomoč je bila dobrodošla.

Inštitutu za biodiverzitetne študije, Znanstveno-raziskovalnega središča Univerze na Primorskem se zahvaljujem za možnost izposoje in uporabe njihovih prostorov in opreme, s pomočjo katerih sem lahko opravila vse meritve.

Hvala tudi Domnu Trkovu za vse komentarje, predloge in pa seveda za vse skuhane kave, ki so mi pomagale pisati še pozno v noč.

Hvala tudi članoma komisije dr. Martini Lužnik in doc. dr. Andreju Sovincu.

Hvala vsem kolegom in prijateljem, ki ste mi na kakršenkoli način pomagali pri izdelavi zaključne naloge.

Raziskava je potekala znotraj projekta BioDiNet – Mreža za varovanje biotske pestrosti in kulturne krajine.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Vipavska jama.....	1
1.2 Problem onesnaževanja	2
1.3 Predstavitev rodu <i>Troglocaris</i>	3
1.3.1 Ekološke in morfološke lastnosti rodu <i>Troglocaris</i>	5
1.3.2 Prehranjevanje	6
1.3.3 Mladostni razvoj in spolni dimorfizem.....	7
1.3.4 Populacijska biologija.....	9
1.3.5 Varstveni status vrste <i>Troglocaris anophthalmus</i>	9
1.4 Odnosi med vrstami.....	9
1.5 Cilji in hipoteze.....	10
2 MATERIALI IN METODE DELA	11
2.1 Območje raziskovanja	11
2.2 Metoda lova in ponovnega ulova	11
2.3 Terensko delo.....	11
2.4 Laboratorijsko delo	13
2.5 Analiza podatkov	14
3 REZULTATI Z DISKUSIJO.....	16
3.1 Ocena velikosti populacije.....	16
3.2 Razmerje med spoloma in razmerje starostnih skupin	18
3.3 Primerjava morfoloških znakov	18
3.3.1 Primerjava dolžine koša med samci in samicami različnih monofiletskih skupin	18
3.3.2 Primerjava dolžine kljunca med samci in samicami znotraj monofiletske skupine »Soča«	20
3.3.3 Primerjava relativne dolžine kljunca in prisotnostjo močerila	21
3.4 Diskusija	24
4 ZAKLJUČEK	26
5 VIRI IN LITERATURA	27

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam meritev na vzorcu jamskih kozic iz Vipavske jame.....	14
Preglednica 2: Podatki o vzorčenju jamskih kozic v Vipavski jami v poznem poletju (september 2012) in pozimi (februar 2013). Legenda: n_i – število živali ujetih v i -tem vzorčenju; m_i – število ponovno ujetih živali v i -tem vzorčenju; $u_i = n_i - m_i$ – število neoznačenih živali v i -tem vzorčenju; M_i – število označenih živali pred i -tem vzorčenju; m_i/n_i – delež označenih živali v i -tem vzorčenju.....	16
Preglednica 3: Osnovni statistični opis osmih znakov pri samcih in samicah monofiletskih skupin <i>Troglocaris</i> aggr. <i>anophthalmus</i> . Zgornja vrstica: aritmetična sredina \pm standardna napaka; spodnja vrstica: (minimum) 12. percentil – 88. percentil (maksimum). Razlaga okrajšav je v Preglednici 1.....	22
Preglednica 4: Osnovni statistični opis devetih znakov pri samcih in samicah iz Vipavske jame in jame Vogršček. Zgornja vrstica: aritmetična sredina \pm standardna napaka; spodnja vrstica: (minimum) 12. percentil – 88. percentil (maksimum). Razlaga okrajšav je v Preglednici 1.....	23

KAZALO SLIK

- Slika 1:** Zemljevid profila Vipavske jame. Vzorčenje jamskih kozic je potekalo v Velikem jezeru, ki se nahaja na koncu 238 m dolgega umetnega rova (Rijavec in Remškar 2007). 2
- Slika 2:** Razširjenost endemičnih jamskih kozic v južni Evropi in njeni okolici (Sket in Zakšek 2009). 4
- Slika 3:** Razširjenost osmih taksonov podrodu *Troglocaris* s. str. Legenda: različni znaki določajo takson, barva znakov pa način analiz vzorcev: črna – molekularna in morfometrična analiza; siva – morfometrična analiza; bela – molekularna analiza (Jugovic in sod. 2012). 5
- Slika 4:** *Troglocaris anophthalmus* (Crustacea: Decapoda: Caridea) (Foto: Jure Jugovic). 6
- Slika 5:** I) Lateralni prikaz osnovne morfologije kozic (von Rintelen in Cai 2009). II) Endopodit prvega pleopoda jamske kozice rodu *Troglocaris* pri a) juvenilni samici; b) odrasli samici in c) ovigeri samici s povečanim številom in gostoto set (Jugovic 2010b). III) Spolne strukture samcev jamskih kozic A: prvi pleopod; B: endopodit prvega pleopoda; C: drugi pleopod; D: moški privesek drugega pleopoda (Jugovic 2010b). 8
- Slika 6:** Dolžina kljunca pri jamskih kozicah filogenetske skupine »Soča« (*Troglocaris anophthalmus sontica*) iz a: jame Vogršček; b: Vipavske jame, kjer imajo živali zaradi prisotnosti močerila daljši kljunc z več zobci (Jugovic in sod. 2010a). 10
- Slika 7:** Primera oznak na jamski kozici. Prikazana sta le označevanje kljunca in eksopoditov na uropodu (Jugovic 2010b, prirejeno). 12
- Slika 8:** Skice telesnih struktur jamskih kozic rodu *Troglocaris*. Pike označujejo meritvene točke. Legenda: CL–dolžina koša; CT–dolžina dela koša z zobci za očmi; RO–dolžina kljunca; PL–dolžina zadka; ROT1–št. zobcev na kljuncu pred očmi zgoraj; ROT2–št. zobcev na košu za očmi; ROT3–št. zobcev na kljuncu pred očmi spodaj (Jugovic 2010b, prirejeno). 13
- Slika 9:** Poletna in zimska ocena populacije jamskih kozic *Troglocaris a. sontica* v Vipavski jami, z zgornjo in spodnjo mejo 95% intervala zaupanja. 17
- Slika 10:** Razmerje med spoloma in starostnimi skupinami med jamskimi kozicami *Troglocaris anophthalmus sontica* v Vipavski jami. 18
- Slika 11:** a) Primerjava dolžine koša (CL) med samci in samicami jamskih kozic monofiletskih skupin »W SLO«; »E SLO«; »Adriatic« in »Soča«; b) primerjava dolžine koša med samci in samicami jamskih kozic podvrste *Troglocaris anophthalmus sontica* iz Vipavske jame in jame Vogršček. Osamelci (posamezne živali) so označene s krogci oziroma zvezdicami. Število živali iz posameznih skupin: »W SLO« (64 samcev in 106 samic), »E SLO« (61 samcev in 86 samic), »Adriatic« (30 samcev in 48 samic), »Soča« (33 samcev in 17 samic), Vipavska jama (28 samcev in 15 samic), jama Vogršček (5 samcev in 2 samici). 19
- Slika 12:** Primerjava dolžine kljunca (RO [mm]) med samci in samicami jamskih kozic podvrste *Troglocaris anophthalmus sontica* iz Vipavske jame in jame Vogršček. 20
- Slika 13:** Primerjava relativne dolžine kljunca (rcl [mm]) s prisotnostjo močerila med monofiletskimi skupinami »W SLO«; »E SLO«; »Adriatic« in »Soča«. Število živali iz posameznih skupin: »W SLO« (59 samcev in 95 samic), »E SLO« (53 samcev in 80 samic), »Adriatic« (25 samcev in 45 samic), »Soča« (32 samcev in 17 samic), Vipavska jama (27 samcev in 15 samic), jama Vogršček (5 samcev in 2 samici). 21

1 UVOD

Slovenska kraška terminologija opredeljuje kras kot obliko površja, za katerega sta značilna podzemno pretakanje vode ter kemično raztapljanje kamnin (korozija), te razmere pa omogočajo nastanek značilnih podzemeljskih kraških oblik; med slednjimi so tudi jame (Gams in sod. 1973). Jamsko okolje se močno razlikuje od okolja na površju, na kar se je morala prilagoditi tudi tamkajšnja favna (Gams 2003). Rastline skoraj izključno rastejo samo na vhodnem delu. Nekaj jih je lahko prisotnih tudi globlje v jamah, vendar je tam zaradi pomanjkanja svetlobe primarna produkcija, predvsem na račun fotosinteze, močno zmanjšana. V temnem delu jam svetlobe ni, razmere pa so bolj ali manj stalne (Poulson in White 1969). Povprečna temperatura jam v Sloveniji je okrog 10°C, vlaga pa je skoraj 100 % (Zupan Hajna 2006). Plenilcev je v jamskem okolju malo, vendar pa je omejena tudi razpoložljivost hrane (Gams 2003). Zaradi izoliranosti teh sistemov je pretok genov med populacijami počasen, po hitri začetni adaptaciji pa so genske spremembe upočasnjene (Sket 1996). Take specifične razmere so pri jamskih živalih sprožile nastanek določenih prilagoditev, ki jih lahko razdelimo na:

- morfološke prilagoditve: redukcija oči in pigmenta, podaljšanje okončin, specializacija čutilnih organov, tanjšanje kutikule, razvoj prehranjevalnih struktur (npr. ekstracelularno shranjevanje maščob (Vogt in Štrus 1999)),
- ekološke in fiziološke prilagoditve: upočasnjen metabolizem, odpornost na stradanje, redukcija cirkadianega cikla (cikel dneva in noči), daljše življenje, zmanjšano število jajc,
- vedenjske prilagoditve: izguba nagona po združevanju v jate, zmanjšanje kompeticije znotraj vrst, povečanje občutljivosti na vibracije (Aden 2005, Hüppop 2005, Howarth in Hoch 2005).

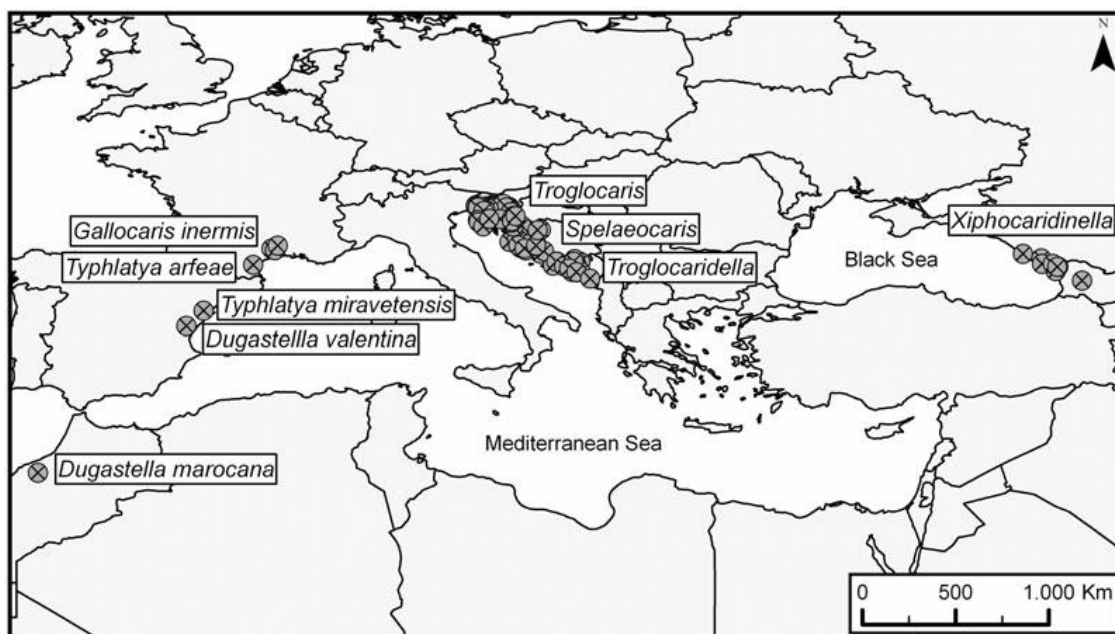
1.1 Vipavska jama

Vipavska jama (Slika 1) se nahaja v zahodnem delu Slovenije, kjer Furlanska nižina prehaja v osrednjo Slovenijo. To območje imenujemo Vipavska dolina (Univerza v Novi Gorici 2014). Vipavska jama predstavlja enega izmed izvirov reke Vipave in je bila do konca 19. stoletja dolga le nekaj metrov. Zaradi želje po živem srebru so ljudje pričeli s kopanjem vodoravnega rova in po 238 prekopanih metrih so naleteli na naravno dvorano Veliko jezero. Jezero v dvorani je elipsoidne oblike, s površino okoli 180 m². Ob desnem robu jezera se umetni rov nadaljuje še okoli 180 m, nakar so s kopanjem prenehali zaradi strahu pred zalitjem rova z vodo oziroma zaradi nedobičkonosne investicije. Približno na

cestišča izpirajo razna onesnaževala (Vidmar 2013). V raziskavi leta 1997 (Dobnikar Tehovnik in sod. 1998) so bile v sedimentu na izviru reke prisotne vse težke kovine, z izjemo živega srebra. Mejno vrednost je presegala predvsem koncentracija niklja.

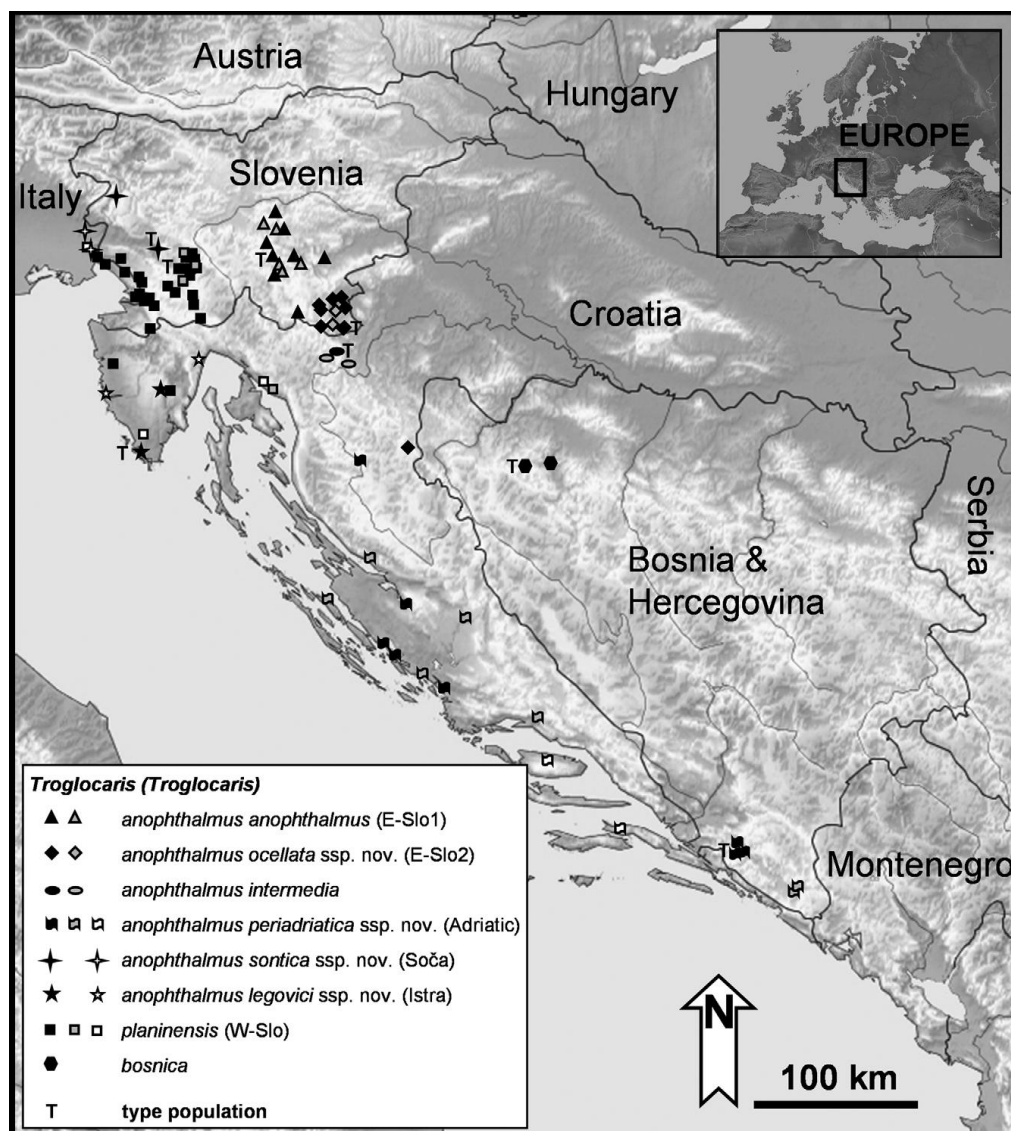
1.3 Predstavitev rodu *Troglocaris*

Ene izmed prvih odkritih jamskih živali v južni Sloveniji, takratni vojvodini Kranjski, so bile jamske kozice (Sket in Zakšek 2009). Rod *Troglocaris* je najbolj razširjen rod jamskih rakov deseteronožcev (Crustacea: Decapoda) v Evropi, z ločenim območjem razširjenosti v zahodnem Kavkazu (Sket in Zakšek 2009, Franjević in sod. 2010). Trenutno sestoji iz štirih podrodov: *Troglocaris* s. str. (*sensu* Sket in Zakšek 2009), *Spelaeocaris* (Matjašič 1956) in *Troglocaridella* (Babić 1922), ki so razširjene na območju Dinaridov (zahodni Balkan), ter podrod *Xiphocaridinella* (Sadovsky 1930), ki je značilen za območje Kavkaza (Sket in Zakšek 2009) (Slika 2). Vrste znotraj podrodov *Spelaeocaris* in *Troglocaridella* se lahko razvršča na podlagi morfoloških lastnosti, pri podrodu *Troglocaris*, pa je morfološka prepoznavna taksonov močno omejena. Razen vrste *T. bosnica*, so vse ostale populacije podrodu *Troglocaris* zato združili v agregat ozko sorodnih taksonov *Troglocaris* aggr. *anophthalmus* (Jugovic in sod. 2012). Mnoge lastnosti (npr. dolžina kljunca, število zobcev na njem, velikost pereopodov) znotraj istega taksona lahko močno variirajo, oziroma so podvrženi homoplaziji (znaki z neodvisno pridobljenimi enakimi stanji; Sket in Zakšek 2009), ki je v glavnem posledica prilagoditve na življenje v jamah. Tako so lahko podobne lastnosti prisotne tudi pri manj sorodnih rodovih kot je na primer *Caridina* (Sket in Zakšek 2009). Nadaljnje analize (Sket in Zakšek 2009) so pokazale, da je *Troglocaris* aggr. *anophthalmus* sestavljena iz štirih monofiletskih, geografsko ločenih skupin: iz jugozahodne Slovenije in hrvaške Istre (W SLO; vrsta *Troglocaris planinensis* Birštejn, 1948), jugovzhodne Slovenije in temu delu bližnjega območja Hrvaške (E SLO; podvrste *T. anophthalmus anophthalmus* (Kolar, 1848), *T. a. ocellata* Jugovic, Jalžić, Prevorčnik & Sket, 2012, *T. a. intermedia* Babić, 1922), porečja rek Soče in Vipave (Soča) in območja vzdolž jadranske obale na Hrvaškem ter v Hercegovini (Adriatic, podvrsta *T. a. periadriatica* Jugovic, Jalžić, Prevorčnik & Sket, 2012). Peto monofiletsko skupino morda sestavlja še nekaj populacij s področja hrvaške Istre (Istra, podvrsta *T. a. legovici* Jugovic, Jalžić, Prevorčnik & Sket, 2012), ki se v tem delu pojavljajo simpatrično s skupino iz jugozahodne Slovenije (W SLO; Slika 3).



Slika 2: Razširjenost endemičnih jamskih kozic v južni Evropi in njeni okolici (Sket in Zakšek 2009).

Monofiletski skupini Soča ustreza podvrsta *Troglocaris (Troglocaris) anophthalmus sontica* Jugovic, Jalžić, Prevorčnik in Sket, 2012, katere tipška lokaliteta je Vipavska jama (Vipava, Slovenija). Zaenkrat je podvrsta poznana le iz štirih lokacij znotraj rečnega sistema Vipava – Soča; iz dveh lokacij v Sloveniji (Vipavska jama in jama Vogršček) ter dveh v Italiji. Ta podvrsta je razširjena na skrajnem severozahodnem delu areala vrste *Troglocaris (Troglocaris) anophthalmus* (Jugovic in sod. 2012) (Slika 3).



Slika 3: Razširjenost osmih taksonov podrodu *Troglocaris* s. str. Legenda: različni znaki določajo takson, barva znakov pa način analiz vzorcev: črna – molekularna in morfometrična analiza; siva – morfometrična analiza; bela – molekularna analiza (Jugovic in sod. 2012).

1.3.1 Ekološke in morfološke lastnosti rodu *Troglocaris*

Mnogi podatki o deseteronožnih podzemnih rakah, kot so ekologija, evolucija in življenjski cikel, še niso dobro poznani (Hobbs 1978, 1981; Simon in Buikema Jr. 1977; Knapp in Fong 1999). Sladkovodne podzemne kozice rodu *Troglocaris* (Slika 4, Slika 5I) so 15–25 mm velike živali (Jugovic 2010b), mlečno bele barve in deloma prosojne, skozi njihov koš pa prosevajo velike kaplje rumenkaste maščobe. Pereopodi so podaljšani, specifična je zgradba prvega in drugega para pereopodov, ki imajo na distalnem robu šop mehkih ščetin. Prisotne so tudi dolge tipalke s povečanim številom senzoričnih receptorjev, od oči pa so se ohranili le peclji (Gottstein Matočec 2003, Sket 2003).

Na območju dinarskega krasa kozice rodu *Troglocaris* naseljujejo območja sladkovodnih in brakičnih podzemnih vod, katerih jame imajo povprečno temperaturo od 7 do 16°C. Preferirajo večje stoječe ali občasno tekoče vode, ki so povezane s površinsko vodo (Sket 1997). Za vrsto *Troglocaris anophthalmus* pa velja, da se najpogosteje nahaja v sladkih vodah (slanost ≤ 0.5 ‰), vendar se vzdolž jadranske obale pojavlja tudi v anhialinih jamah, neposredno ob morju, kjer prihaja do mešanja morske in sladke vode (slanost 1.6–5.9 ‰) (Gottstein Matočec 2003).



Slika 4: *Troglocaris anophthalmus* (Crustacea: Decapoda: Caridea). Foto: Jure Jugovic.

1.3.2 Prehranjevanje

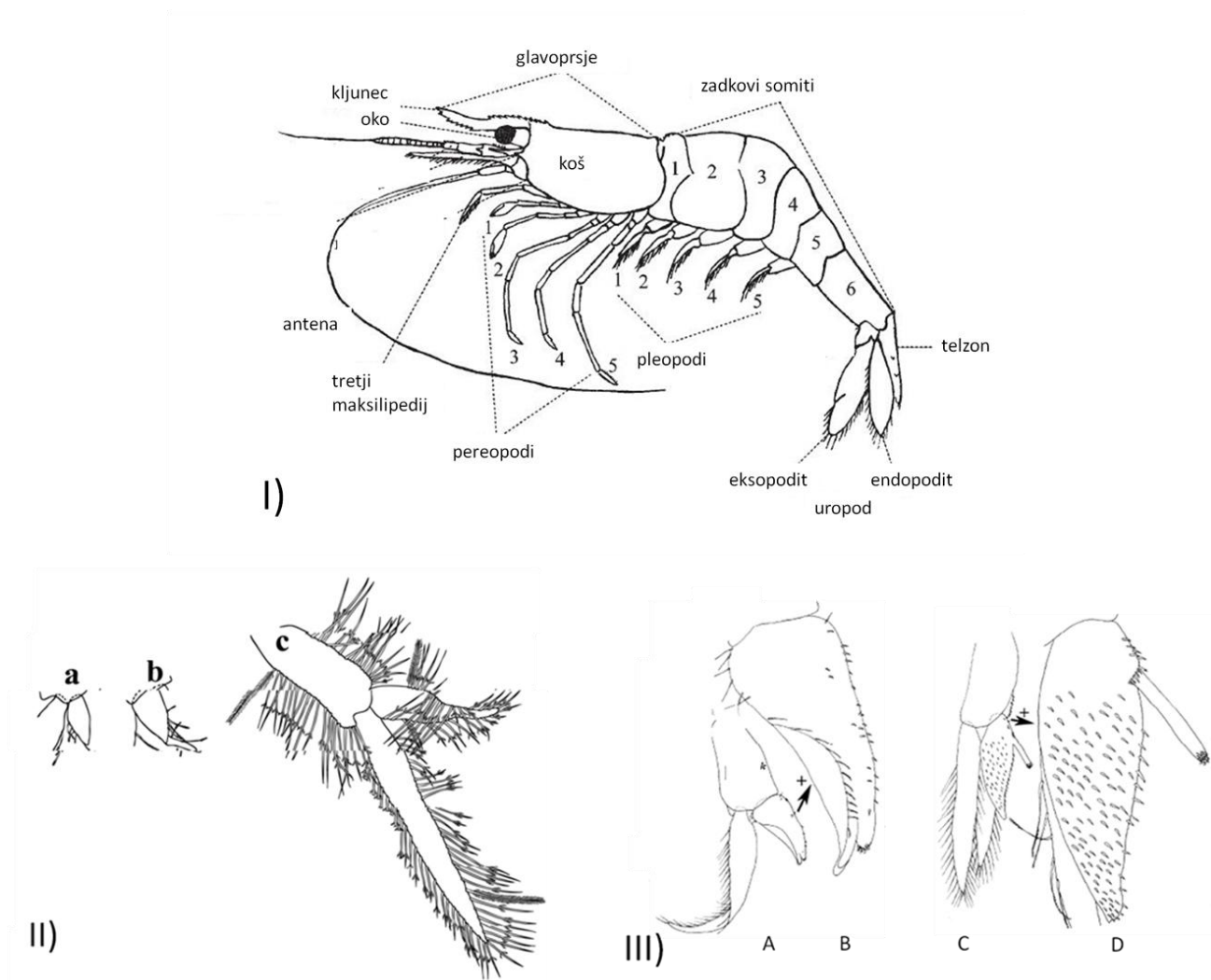
Za razliko od površinskih ekosistemov je energija v jamskih ekosistemih težje dostopna. Veliko število jamskih živali, med njimi tudi jamske kozice, se sooča s pomanjkanjem hrane, zaradi česar so se razvile številne morfološke, fiziološke in vedenjske prilagoditve, ki takim živalim omogočajo preživeti daljše obdobje stradanja. Določene morfološke prilagoditve omogočajo jamskim živalim, da hitreje in na večje razdalje zaznajo vir hrane, kar jim omogoča varčevanje z energijo. Tekom enega obroka so sposobne v telo sprejeti velike količine hrane, prav tako pa v telesu skladiščijo velike količine maščob (Hüppop 2005). Za razliko od ostalih deseteronožnih rakov, ki maščobo shranjujejo v R celicah hepatopankreasa (prebavna žleza členonožcev), *Troglocaris anophthalmus* večje količine maščob shranjuje v posebnih ekstracelularnih prostorčkih. Ta struktura omogoča kozicam, da preživijo brez hrane tudi več kot dve leti (Vogt in Štrus 1999).

Kozice rodu *Troglocaris* uvrščamo med neselektivne strgače, ki se prehranjujejo z detritom in deli živih organizmov, kot tudi z algami, glivami, bakterijami ter praživalmi. Hrano s pomočjo dlačic na površini klešč strgajo s podlage in jo ponesejo do ustne odprtine (Gottstein Matočec 2003, gl. tudi Leitheuser in Holsinger 1985).

1.3.3 Mladostni razvoj in spolni dimorfizem

Znotraj rodu *Troglocaris* obstaja visoka stopnja morfološke raznolikosti. Razloga za to sta predvsem starostni polimorfizem ter spolni dimorfizem. Juvenilne živali so manjše, prav tako pa še nimajo razvitih sekundarnih spolnih znakov. Najbolj zanesljiv znak za prepoznavo starostnih skupin pri samicah je oblika endopodita (notranjega priveska) na pleopodu I. Manjše in mlajše (juvenilne) samice imajo ozek endopodit jajčaste oblike. Med dozorevanjem samice se endopodit podaljšuje in je pri odraslih že dobro razvit ter pri nekaterih samicah tudi ukrivljen (Slika 5II). Značilnost ovigerih samic je podaljšanje in povečanje števila set (ščetin) na pleopodih I–III, na katere lahko prilepi jajca. Te sete so lahko prisotne tudi, ko se larve že izvalijo, vendar po naslednji levitvi izginejo (Juberthie-Jupeau 1974).

Za ločevanje odraslih samcev od juvenilnih živali so pomembne lastnosti pleopodov I–II in pereopodov III–IV (Slika 5III). Odrasli samci imajo dobro diferencirane pereopode, ki s starostjo postanejo daljši, širši in ukrivljeni, pojavijo pa se tudi številne sete. Pri odraslih samcih je dobro razvit tudi moški privesek na pleopodu II. Glede na predhodne faze ima moški privesek povečano število in gostoto set, prav tako pa postane občutno širši in daljši od notranjega priveska. Na pleopodu I pa se širina in dolžina endopodita povečata, prisotnih pa je tudi nekaj retinakularnih kaveljčkov, s katerimi si pomaga pri oploditvi samice (Jugovic 2010b).



Slika 5: I) Lateralni prikaz osnovne morfologije kozic (von Rintelen in Cai 2009). II) Endopodit prvega pleopoda jamske kozice rodu *Troglocaris* pri a) juvenilni samici; b) odrasli samici in c) ovigeri samici s povečanim številom in gostoto set (Jugovic 2010b). III) Spolne strukture samcev jamskih kozic: A: prvi pleopod; B: endopodit prvega pleopoda; C: drugi pleopod; D: moški privesek drugega pleopoda (Jugovic 2010b).

1.3.4 Populacijska biologija

Teritorialnost in kakršnokoli periodično obnašanje za jamske kozice rodu *Troglocaris* nista značilni. Enako velja za migracije v ožjem pomenu. Je pa za njih značilna velika stopnja aktivnega in pasivnega gibanja (Gottstein Matočec 2003). Območje razširjenosti jamskih kozic, ki spadajo v monofiletsko skupino »Adriatic« se razteza čez 310 km, kar je znotraj vrste *T. anophthalmus* daleč največ. Ena izmed možnih razlag je, da sezonske poplave kraških polj omogočajo migracijo jamskih kozic v druge jame, kljub fragmentiranemu kraškemu območju, kar pa lahko nakazuje na njihovo migracijsko sposobnost (Zakšek in sod. 2009).

1.3.5 Varstveni status vrste *Troglocaris anophthalmus*

Na splošno kraško območje ogrožajo promet, prekomerna raba vode, kamnolomi, industrija ter kmetijstvo. Ker ima vrsta dokaj veliko območje razširjenosti in poleg tega ni znano, da bi te grožnje ogrožale točno določene jame, kjer se ta vrsta nahaja, je *Troglocaris anophthalmus* uvrščena v IUCN kategorijo »Najmanj ogrožena vrsta« (LC – Least concern). Podvrsta *Troglocaris anophthalmus sontica* pa je zaradi svoje lokalne razširjenosti uvrščena v IUCN kategorijo »Potencialno ogrožena vrsta« (NT – Near threatened) (De Grave 2013).

1.4 Odnosi med vrstami

V jamah, kjer so razširjene jamske kozice rodu *Troglocaris*, je pogosto prisoten tudi močeril *Proteus anguinus* (Laurenti, 1768), eden njihovih glavnih plenilcev, kateremu jamske kozice predstavljajo pomemben vir prehrane (Sket 1997). Velikost kljunca in število zobcev na njem znotraj rodu *Troglocaris* močno variira. Raziskava, ki so jo opravili Jugovic in sod. (2010a), je pokazala, da obstaja povezava med velikostjo kljunca in številom zobcev pri jamskih kozicah ter prisotnostjo oziroma odsotnostjo močerila. Dva močerila so v ločenih akvarijih hranili z jamskimi kozicami s kljuncem oziroma brez njega ter opazovali učinkovitost njunega hranjenja. V večini primerov sta močerila potrebovala več časa in truda za zaužitje jamske kozice z dolgim kljuncem kot za kozico brez kljunca.

Na območju severnih Dinaridov večina populacij jamskih kozic z majhnim kljuncem živi le v jamah, kjer močeril ni prisoten. Osebki podvrste *Troglocaris anophthalmus sontica* v Vipavski jami imajo dolg in ozek kljunec z ravno konico in večjim številom zobcev (Slika 6), kar je verjetno posledica prisotnosti močerila v jami. V jamah, kjer močeril ni prisoten,

imajo populacije te podvrste verjetno značilen kratek in ozek kljunec z ravnim oziroma rahlo konveksnim dorzalnim robom (Jugovic in sod. 2010a).



Slika 6: Dolžina kljunca pri jamskih kozicah filogenetske skupine »Soča« (*Troglocaris anophthalmus sontica*) iz a: jame Vogršček; b: Vipavske jame, kjer imajo živali zaradi prisotnosti močerila daljši kljunec z več zobci (Jugovic in sod. 2010a).

1.5 Cilji in hipoteze

Cilj naše raziskave je bil raziskati populacijske parametre jamske kozice *Troglocaris anophthalmus sontica* v Vipavski jami. Določevali smo velikost populacije, razmerje med spoloma, starostno strukturo ter zmožnost migracije.

Testirali smo naslednje hipoteze: (1) velikost populacije se med poletno in zimsko sezono razlikuje; (2) velika stopnja ponovnega ulova kaže na majhno zmožnost migracije; (3) razmerje v številčnosti med spoloma je 1:1; (4) populacije jamskih kozic, ki živijo ob prisotnosti močerila, imajo daljši kljunec in so večje.

2 MATERIALI IN METODE DE LA

2.1 Območje raziskovanja

Raziskava jamske kozice *T. anophthalmus sontica* je potekala v Velikem jezeru v Vipavski jami. Jezero trenutno velja za edino lokacijo, kjer se ta podvrsta jamskih kozic nahaja v večjem številu. Obdajajo ga skoraj vertikalne stene, zato nam je bilo dostopno le približno 6 m² površine. Dva metra stran od jezera se nahaja skalna razpoka, ki je povezana z jezerom. Ta nam je omogočila še dodatna 2 m² za vzorčenje.

2.2 Metoda lova in ponovnega ulova

Za ocenjevanje velikosti populacije jamskih kozic *Troglocaris anophthalmus sontica* v Vipavski jami smo uporabili metodo lova in ponovnega ulova (ang. mark–release–recapture, MRR). Ta metoda se pogosto uporablja za mobilne živali, katerih število živali v populaciji je praktično nemogoče prešteti. Ujete živali se označi z dobro vidnimi oznakami, ki ne odpadejo oziroma se ne izbrišejo, hkrati pa živali ne ovirajo. Označene živali spustimo nazaj v okolje, pri čemer predvidevamo, da se pred ponovnim vzorčenjem enakomerno razporedijo znotraj populacije. Po določenem času se vzorčenje zopet ponovi. Zabeleži se število ujetih in ponovno ujetih (že označenih) živali. Postopek lahko večkrat ponovimo, pri tem pa spreminjamo oznake, ki so značilne za določene dneve vzorčenja (Lettink in Armstrong 2003).

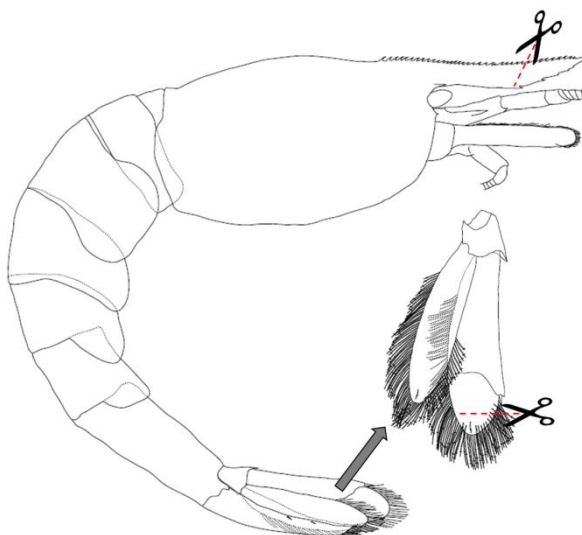
2.3 Terensko delo

Jamske kozice so omnivori/detritovori (Gottstein Matočec 2003), zato bi bilo postavljanje pasti neučinkovito. Za vzorčenje smo uporabljali dve vodni mrežici; za vzorčenje v večji globini smo uporabili mrežo z dolžino ročaja 1,5 m, za plitvejše predele pa smo uporabili krajšo vodno mrežico. Terensko delo sta opravljali dve osebi. Poznopoletno vzorčenje je potekalo od 22. do 29. septembra 2012, ko je bilo pet vzorčnih dni združenih v štiri vzorčenja, zimsko vzorčenje pa je potekalo od 18. do 24. februarja 2013, ko je bilo pet vzorčnih dni združenih v tri vzorčenja (Preglednica 1). Vzorčenje je potekalo vsak drugi dan, čas vsakega vzorčenja pa je trajal od 8 do 10 ur. Naš cilj je bil uloviti najmanj 25 živali na vzorčenje, saj smo predvidevali, da bomo tako lahko zagotovili podatke za zanesljivo statistično obdelavo. Če je bil dnevni ulov manjši, smo živali iz prvega dne

označili, čez noč shranili v posodi, vzorčenje ponovili naslednji dan in nato podatke združili v eno vzorčenje. Na ta način smo hkrati tudi ugotavljali morebitni negativni vpliv označb na živali. Vsaki ujeti živali smo določili spol in starostno skupino (odrasel samec, odrasla samica, ovigera samica, juvenilna žival; Jugovic 2010b), nato pa smo jih z medicinskimi škarjicami označili z oznako, ki se je med vzorčenji razlikovala (Slika 7). Odlomili smo najmanjši možni delček (1) levega uropodovega eksopodita; (2) desnega uropodovega eksopodita; (3) levega uropodovega endopodita; (4) kljunca (poletne oznake), (5) desnega uropodovega endopodita; (6) telzona (zimске oznake). Prejšnje raziskave (Jugovic in sod. 2010a) so pokazale, da omenjene oznake (vsaj tiste na kljuncu) nimajo izrazitega vpliva na preživetje jamskih kozic.

Ob vsakem vzorčenju smo s firenškim termometrom izmerili tudi temperaturo zraka in vode.

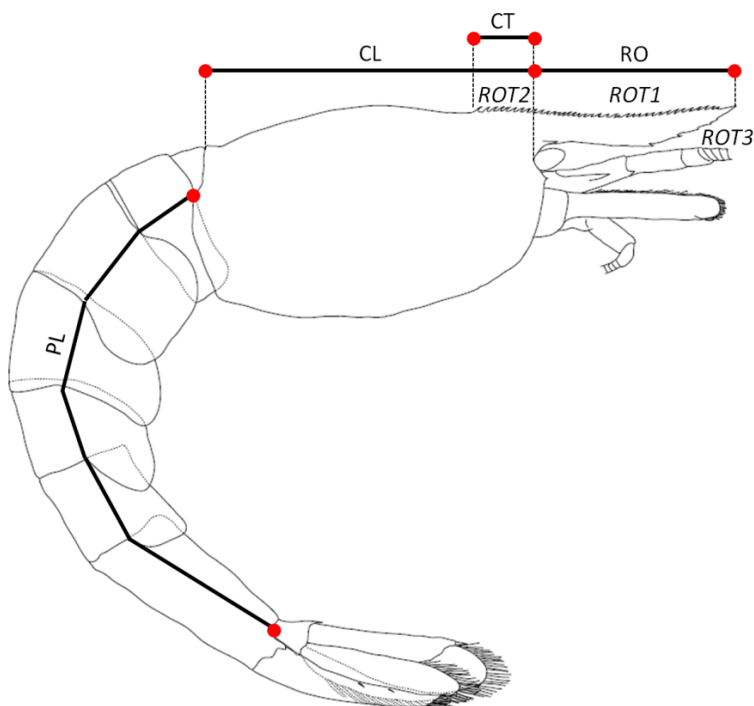
Na koncu zadnjega dneva vzorčenja (24. februarja 2013), smo 28 kozic shranili v 70% alkoholu in shranili za morfometrijske raziskave.



Slika 7: Primera oznak na jamski kozici. Prikazana sta le označevanje kljunca in eksopoditov na uropodu (Jugovic 2010b, prirejeno).

2.4 Laboratorijsko delo

Na 28 živalih iz zadnjega vzorčenja smo v laboratoriju opravili meritve enajstih morfoloških znakov. Pod lupo (Leica MZ 12.5) smo vsako žival posneli s kamero (Nikon). Z uporabo programa ImageJ smo na fotografijah izmerili dolžino koša, kljunca in zadkovih somitov ter prešteli število zobcev na kljuncu (Slika 8, Preglednica 1).



Slika 8: Skice telesnih struktur jamskih kozic rodu *Troglocaris*. Pike označujejo meritvene točke. Legenda: CL–dolžina koša; CT–dolžina dela koša z zobci za oči; RO–dolžina kljunca; PL–dolžina zadka; ROT1– št. zobcev na kljuncu pred očmi zgoraj; ROT2–št. zobcev na košu za oči; ROT3–št. zobcev na kljuncu pred očmi spodaj (Jugovic 2010b, prirejeno).

Preglednica 1: Seznam meritev na vzorcu jamskih kozic iz Vipavske jame

Regija, struktura	Znak	Okrajšava	Tip znaka	Opombe
Telo	celotna dolžina	TL	merjeni	CL + PL
Kljunec	dolžina kljunca	RO	merjeni	
	št. zobcev na kljuncu pred očmi zgoraj	ROT1	štet	vzdolž dolžine RO
	št. zobcev na košu za očmi	ROT2	štet	vzdolž dolžine CT
	št. zobcev na kljuncu pred očmi spodaj	ROT3	štet	vzdolž dolžine RO
	relativna dolžina kljunca	rcl	razmerje	RO/CL
Koš	relativna dolžina dela koša z zobci za očmi	ctcl	razmerje	CT/CL
	dolžina koša	CL	merjeni	
	dolžina koša z zobci za očmi	CT	merjeni	
	relativna dolžina koša	cltl	razmerje	CL/TL
Zadek	dolžina zadka	PL	merjeni	

2.5 Analiza podatkov

Podatke smo obdelali v programih Microsoft Office Excel 2007 in SPSS 20.0. Najprej smo uporabili G statistiko, s pomočjo katere smo preverili, ali so se označene živali pomešale z ostalo populacijo. Za določanje odprtosti/zaprтости populacije, torej če so živali tekom vzorčenja vstopale ali izstopale iz populacije, smo uporabili Spearmanov koeficient korelacije. Izračun smo uporabili za vsako sezono posebej. Ker se je število ujetih živali med sezonama precej razlikovalo, smo za oceno velikosti populacije uporabili Schnablov model za zaprte populacije, saj model ni občutljiv na variacije v številčnosti ulova tekom vzorčenj. Prav tako je model natančnejši, če je vzorčevalni napor (*sampling effort*) enak tekom celega vzorčenja. Za Schnablov model smo z uporabo χ^2 testa in G statistike izračunali tudi ujemanje naših podatkov z modelom (*goodness of fit*). Če je vrednost G statistike večja od vrednosti χ^2 testa, je priporočljivo izbrati nov model (Greenwood in Robinson 2006).

Uporabili smo tudi Lincoln-Petersenov indeks za zaprte populacije, kateremu smo dodali Baileyevo korekcijo, s katero lahko ocenimo velikost populacije (N) kljub manjšemu številu ponovnih ulovov ($r \leq 20$): $N = a(n+1) / (r+1)$, standardna napaka: $S.E. = [a^2(n+1)(n-r) / (r+1)^2(r+2)]^{0.5}$, kjer a in n označujeta število ujetih živali v prvem in drugem vzorčenju (Knapp in Fong 1999). Oceno velikosti populacije smo izračunali za

vsako sezono posebej, uporabili pa smo podatke le iz prvih dveh vzorčenj vsake sezone. Metoda velja za manj zanesljivo kot so drugi, kompleksnejši modeli, vendar nam na preprost in hiter način poda okvirno oceno populacije (Greenwood in Robinson 2006).

Za morfometrične meritve 28 kozic iz Vipavske jame, ter podatke iz monofiletskih skupin »W SLO« (170 živali), »E SLO« (147 živali), »Adriatic« (78 živali) in »Soča« (7 živali iz jame Vogršček in 15 živali iz Vipavske jame) iz predhodne raziskave (Jugovic 2010b) smo pripravili osnovni statistični opis. Za vsako izmed monofiletskih skupin smo izračunali aritmetično sredino, standardno napako ter minimum in maksimum za naslednje znake: dolžino koša (CL), dolžino koša z zobci za očmi (CT), dolžino kljunca (RO), število zobcev na kljuncu (*ROT1*, *ROT2*, *ROT3*), relativno dolžino dela koša z zobci za očmi (ctcl) ter relativno dolžino kljunca (rcl). Z uporabo škatle z ročaji (ang. box plot) smo grafično ponazorili naslednje parametre:

- dolžino koša v odvisnosti od spola, kjer je bilo vključenih 188 samcev in 257 samic iz monofiletskih skupin »W SLO«, »E SLO«, »Adriatic« in »Soča«,
- dolžino koša v odvisnosti od spola, kjer je bilo vključenih 33 samcev in 17 samic iz Vipavske jame in jame Vogršček (skupina Soča),
- dolžino kljunca v odvisnosti od spola, kjer je bilo vključenih 32 samcev in 17 samic iz območja Vipavske jame in jame Vogršček (skupina Soča),
- relativno dolžino kljunca v odvisnosti od prisotnosti/odsotnosti močerila, kjer je bilo vključenih 169 samcev in 237 samic iz monofiletskih skupin »W SLO«, »E SLO«, »Adriatic« in »Soča«.

3 REZULTATI Z DISKUSIJO

3.1 Ocena velikosti populacije

Tekom štirih poletnih vzorčenj smo ujeli 199 živali. V prvem poletnem vzorčenju smo ujeli še tri dodatne živali, ki smo jih shranili za nadaljnje laboratorijske raziskave. V zimski sezoni smo opravili tri vzorčenja, v katerih smo ujeli le 81 živali. Odstotek ponovnega ulova je bil majhen; za poletno sezono je znašal 6%, za zimsko pa 2,5%. Med zimskim vzorčenjem nismo zasledili nobene živali, ki bi bila predhodno že označena v poletni sezoni (Preglednica 2).

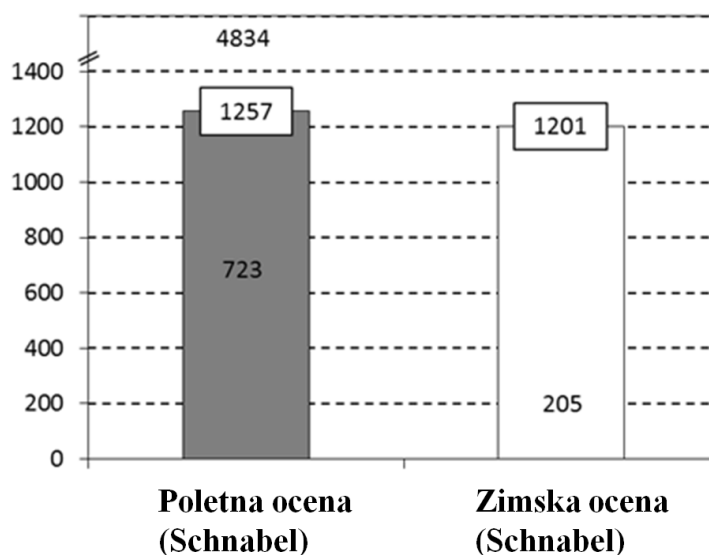
Preglednica 2: Podatki o vzorčenju jamskih kozic v Vipavski jami v poznem poletju (september 2012) in pozimi (februar 2013). Legenda: n_i – število živali ujetih v i -tem vzorčenju; m_i – število ponovno ujetih živali v i -tem vzorčenju; $u_i = n_i - m_i$ – število neoznačenih živali v i -tem vzorčenju; M_i – število označenih živali pred i -tem vzorčenju; m_i/n_i – delež označenih živali v i -tem vzorčenju.

	Datum	n_i	m_i	u_i	M_i	m_i/n_i
Poletna vzorčenja	22.9.*	44	0	44	0	0
	24.9.	53	2	51	44	0,038
	26.–27.9.	60	6	54	95	0,1
	29.9.	42	4	38	149	0,095
Vsota (poletje)		199	12	187		0,06
Zimska vzorčenja	18.2.	27	0	27	0	0
	20.–21.2.	25	1	24	27	0,04
	23.–24.2.	29	1	28	51	0,034
Vsota (zima)		81	2	79		0,025
Vsota(poletje+zima)		280	14	266		0,05

* ta dan je bilo ujetih 47 živali, od tega smo 44 živali spustili nazaj.

Označene živali so se med posameznimi vzorčenji pomešale s preostankom populacije (G statistika; poletje: $df = 2$, $p = 0,05$, $G = 1,99 < \chi^2 = 5,99$; zima: $df = 1$, $p = 0,05$, $G = 0,01 < \chi^2 = 3,84$). Med obema sezonama je bila populacija po vsej verjetnosti odprta ($N = 6$, kritična vrednost = 0,9; Spearmanov koeficient korelacije = 0,952), tekem vzorčenja v posamezni sezoni pa zaprta. Enakost ulovov je z izračunom Spearmanovega koeficienta korelacije prišla približno enaka tako za zimsko kot tudi poletno sezono (poletje: $df = 3$, $p = 0,05$, $G = 3,573 < \chi^2 = 7,81$; zima: $df = 2$, $p = 0,05$, $G = 0,296 < \chi^2 = 5,99$).

Ocena številčnosti populacije, izračunana s Schnablovim modelom, je bila med obema sezonama precej podobna, sezoni sta se razlikovali predvsem v intervalu zaupanja (Slika 9). Poletni rezultati so podali oceno 1257 živali (95% interval zaupanja = 723–4834), zimska ocena številčnosti populacije pa je 1201 žival (95% interval zaupanja, spodnja meja = 205; zgornja meja ni bila določljiva).



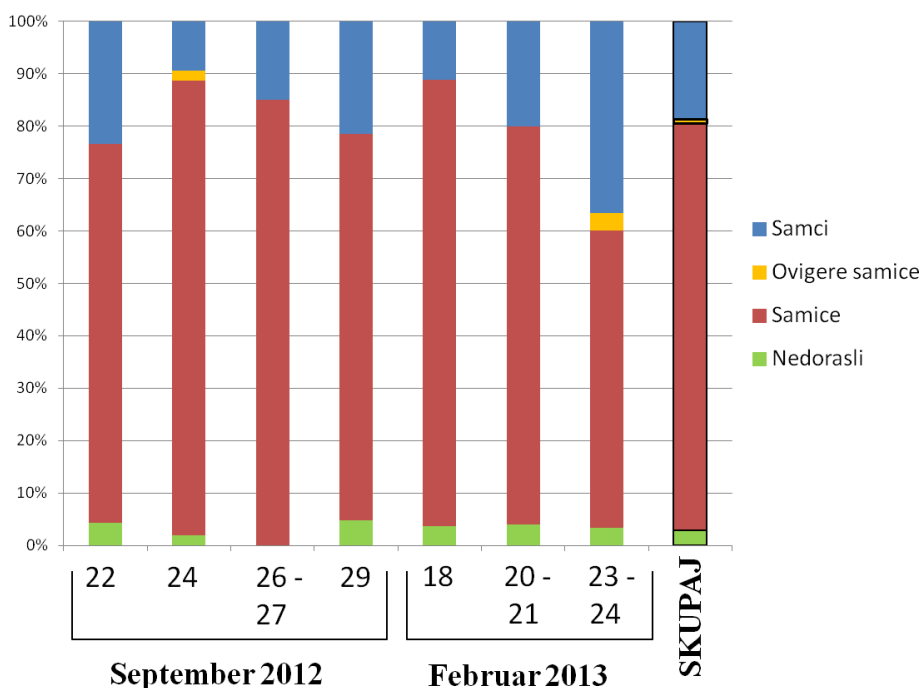
Slika 9: Poletna in zimska ocena populacije jamskih kozic *Troglocaris a. sontica* v Vipavski jami, z zgornjo in spodnjo mejo 95% intervala zaupanja.

Lincoln-Petersenov indeks za zaprte populacije, z dodano Baileyevo korekcijo, je pri prvih dveh vzorčenjih podal oceno populacije 846 živali (S.E. = 411) poleti in 351 živali (S.E.= 195) pozimi.

Temperatura vode (10 °C) se med sezonama ni razlikovala. Prav tako je bila skoraj stalna tudi temperatura zraka; povprečna temperatura izmerjena poleti je bila 11°C, pozimi pa 9°C.

3.2 Razmerje med spoloma in razmerje starostnih skupin

V obeh sezonah je bilo število samic bistveno večje od števila samcev (Slika 10). Skupno smo ujeli le okoli 20% samcev in 3% juvenilnih živali. Ovigere samice smo našli v obeh sezonah (ujeta je bila ena ovigera samica vsako sezono). Jajca so bila relativno velika, vendar v majhnem številu (približno 10 jajc na samico, prešteta *in vivo*).

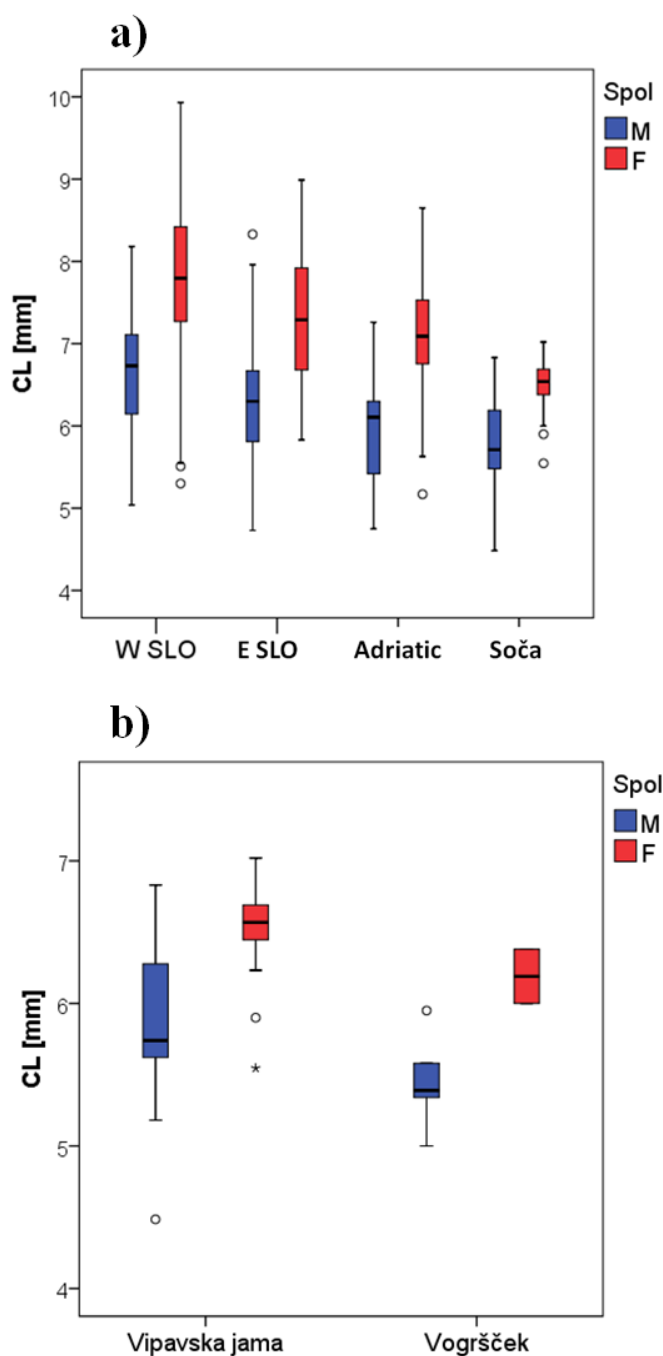


Slika 10: Razmerje med spoloma in starostnimi skupinami med jamskimi kozicami *Troglocaris anophthalmus sontica* v Vipavski jami.

3.3 Primerjava morfoloških znakov

3.3.1 Primerjava dolžine koša med samci in samicami različnih monofiletskih skupin

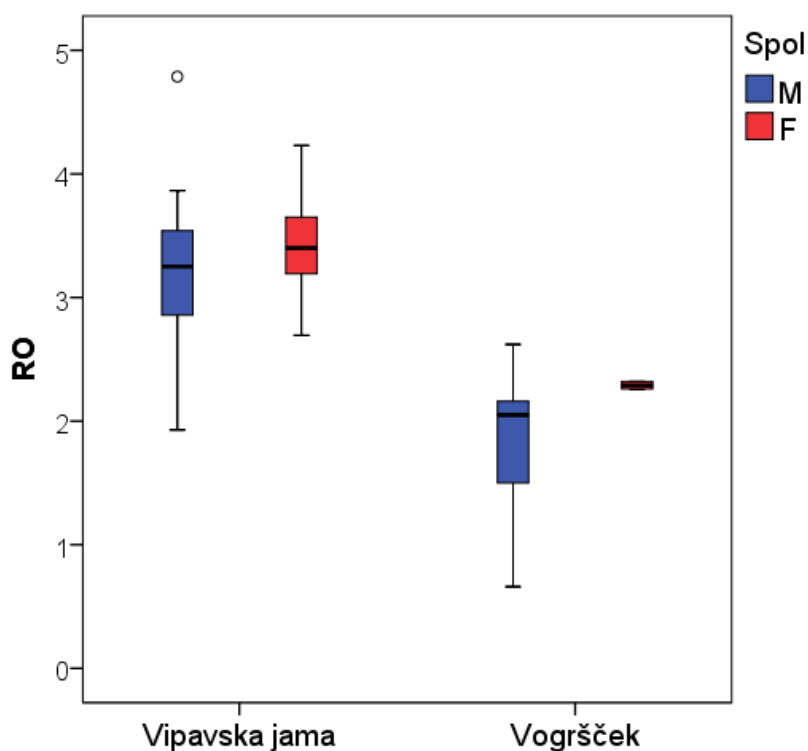
Dolžina koša je večja pri samicah. Največjo dolžino koša imajo kozice monofiletske skupine »W SLO«, najmanjšo pa kozice skupine »Soča« (Slika 11 a). Znotraj monofiletske skupine »Soča« imajo živali iz jame Vogršček krajši koš kot živali iz Vipavske jame (Slika 11b).



Slika 11: a) Primerjava dolžine koša (CL) med samci in samicami jamskih kozic monofiletskih skupin »W SLO«; »E SLO«; »Adriatic« in »Soča«; b) primerjava dolžine koša med samci in samicami jamskih kozic podvrste *Troglocaris anophthalmus sontica* iz Vipavske jame in jame Vogršček. Osamelci (posamezne živali) so označene s krogi oziroma zvezdicami. Število živali iz posameznih skupin: »W SLO« (64 samcev in 106 samic), »E SLO« (61 samcev in 86 samic), »Adriatic« (30 samcev in 48 samic), »Soča« (33 samcev in 17 samic), Vipavska jama (28 samcev in 15 samic), jama Vogršček (5 samcev in 2 samic).

3.3.2 Primerjava dolžine kljunca med samci in samicami znotraj monofiletske skupine »Soča«

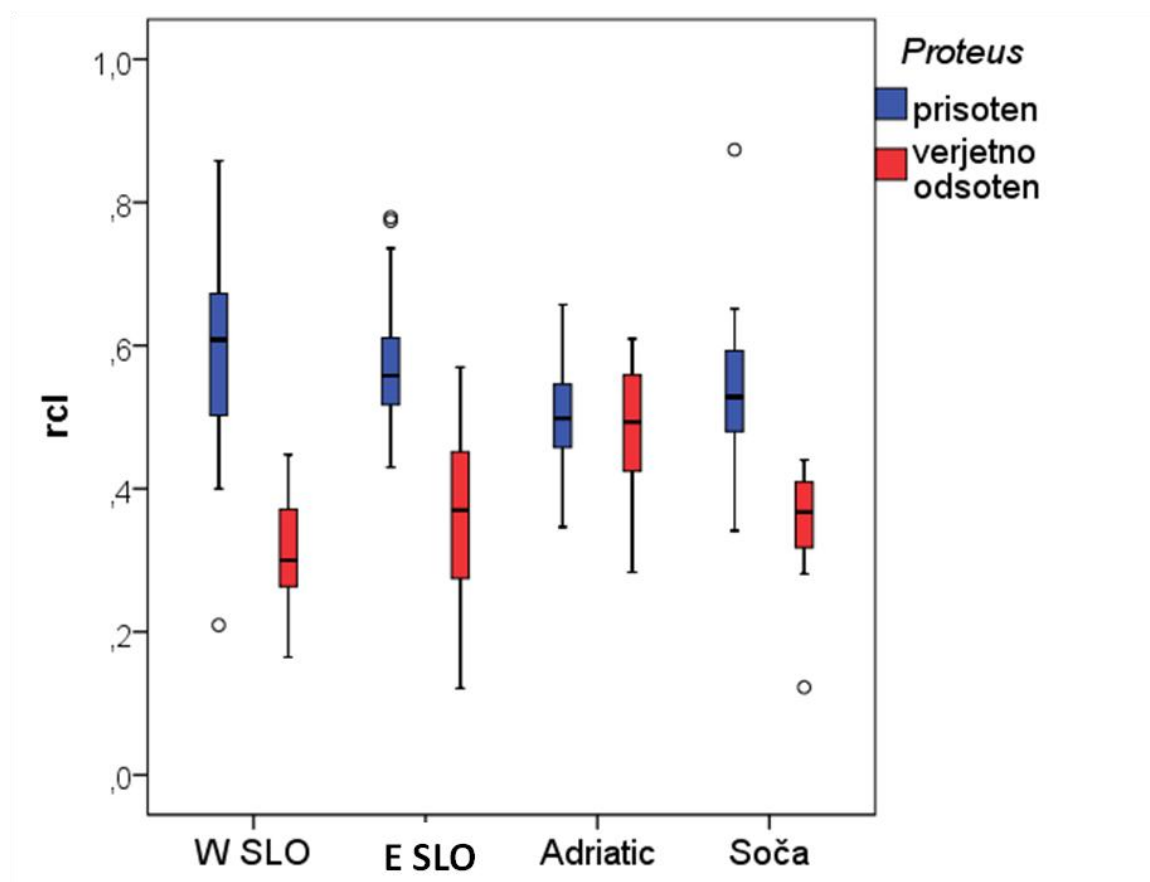
Dolžina kljunca je večja pri samicah. Znotraj podvrste *Troglocaris anophthalmus sontica*, imajo živali iz jame Vogršček krajši kljunec kot živali iz Vipavske jame (Slika 12). To se ujema s podatki o prisotnosti močerila v Vipavski jami, medtem ko v jami Vogršček močerila verjetno ni.



Slika 12: Primerjava dolžine kljunca (RO [mm]) med samci in samicami jamskih kozic podvrste *Troglocaris anophthalmus sontica* iz Vipavske jame (27 samcev in 15 samic) in jame Vogršček (5 samcev in 2 samici).

3.3.3 Primerjava relativne dolžine kljunca in prisotnostjo močerila

Jamske kozice, ki si delijo habitat z močerilom, imajo daljše kljunce. Razlike so dobro razvidne pri vseh monofiletskih skupinah, izjema je le skupina »Adriatic« (Slika 13). Ob večji dolžini kljunca smo zasledili tudi več zobcev na njem; to velja tako za število zobcev na kljuncu dorzalno pred očmi (*ROT1*), na košu za očmi (*ROT2*) in na kljuncu ventralno pred očmi (*ROT3*) (Preglednica 3).



Slika 13: Primerjava relativne dolžine kljunca (rcl) s prisotnostjo močerila med monofiletskimi skupinami »W SLO«; »E SLO«; »Adriatic« in »Soča«. Število živali iz posameznih skupin: »W SLO« (59 samcev in 95 samic), »E SLO« (53 samcev in 80 samic), »Adriatic« (25 samcev in 45 samic), »Soča« (32 samcev in 17 samic), Vipavska jama (27 samcev in 15 samic), jama Vogršček (5 samcev in 2 samici).

Statistični opis zgoraj omenjenih znakov za posamezne monofiletske skupine prikazujeta Preglednica 3 in Preglednica 4.

Preglednica 3: Osnovni statistični opis osmih znakov pri samcih in samicah monofiletskih skupin *Troglocaris* aggr. *anophthalmus*. Zgornja vrstica: aritmetična sredina ± standardna napaka; spodnja vrstica: (minimum) 12. percentil – 88. percentil (maksimum). Razlaga okrajšav je v Preglednici 1.

Spol	Znak	W SLO (<i>T. planinensis</i>)	E SLO (<i>T. a. anophthalmus</i> + <i>T. a. ocellata</i> + <i>T. a. intermedia</i>)	ADRIATIC (<i>T. a. periadriatica</i>)	SOČA (<i>T. a. sontica</i>)
Samci	CL	6,62 ± 0,09	6,27 ± 0,06	5,94 ± 0,11	5,79 ± 0,09
		(5,04) 5,6–7,5 (8,18)	(4,73) 5,37–7,05 (8,33)	(4,75) 5,22–6,68 (7,26)	(4,49) 5,24–6,45 (6,83)
	CT	1,07 ± 0,1	0,81 ± 0,06	0,89 ± 0,07	0,46 ± 0,05
		(0,0) 0–1,85 (4,25)	(0,0) 0,22–1,3 (1,64)	(0,0) 0,35–1,3 (1,61)	(0,0) 0–0,73 (1,06)
	RO	3,36 ± 0,17	2,86 ± 0,14	2,75 ± 0,11	2,98 ± 0,14
		(0,16) 0,26–0,85 (0,72)	(0,76) 1,51–4,08 (4,8)	(1,66) 2,13–3,5 (3,94)	(0,66) 2,05–3,77 (4,79)
	ROT1	19,39 ± 0,61	17,68 ± 0,91	18,92 ± 0,79	16,53 ± 1,24
		(7) 14–25 (29)	(1) 10–26 (32)	(12) 14,12–26 (26)	(0) 11–23 (30)
	ROT2	5,19 ± 0,41	5,65 ± 0,36	6,57 ± 0,61	3,55 ± 0,31
		(0) 0–9 (11)	(0) 2–9 (11)	(0,0) 3–10 (14)	(0) 0–5 (6)
ROT3	4,93 ± 0,32	2,75 ± 0,32	3,68 ± 0,35	3,72 ± 0,33	
	(0) 2–8 (11)	(0) 0–5 (12)	(0) 2–5 (9)	(0) 2–6 (7)	
rcl	0,5 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,46 ± 0,02	0,51 ± 0,02	
	(0,16) 0,26–0,85 (0,72)	(0,12) 0,24–0,59 (0,78)	(0,3) 0,35–0,59 (0,61)	(0,12) 0,39–0,61 (0,87)	
ctcl	0,16 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,08 ± 0,01	
	(0,0) 0–0,26 (0,65)	(0,0) 0,04–0,2 (0,25)	(0,0) 0,06–0,21 (0,26)	(0,0) 0–0,12 (0,19)	
Samice	CL	7,79 ± 0,09	7,34 ± 0,09	7,11 ± 0,1	6,47 ± 0,09
		(5,3) 6,67–8,91 (9,93)	(5,83) 6,38–8,5 (8,99)	(5,17) 6,3–7,92 (8,65)	(5,55) 5,92–6,95 (7,02)
	CT	1,38 ± 0,06	1,07 ± 0,04	1,17 ± 0,06	0,59 ± 0,08
		(0,0) 0,4–2 (2,72)	(0,12) 0,57–1,54 (2,37)	(0,0) 0,64–1,66 (1,83)	(0,0) 0,02–0,91 (0,93)
	RO	3,9 ± 0,13	3,57 ± 0,14	3,6 ± 0,09	3,32 ± 0,13
		(1,11) 2,38–5,51 (6,7)	(1,16) 1,82–5,12 (5,86)	(1,81) 2,93–4,5 (5,01)	(2,26) 2,38–4,16 (4,23)
	ROT1	19,44 ± 0,41	18,45 ± 0,67	20,27 ± 0,58	17,59 ± 1,62
		(6) 15–24 (29)	(5) 11–26 (30)	(13) 17–24 (37)	(0) 5–23 (25)
	ROT2	6,88 ± 0,34	6,83 ± 0,3	7,85 ± 0,49	3,53 ± 0,5
		(0) 2–11 (14)	(2) 3–10 (14)	(0) 4–12 (15)	(0) 0,16–6 (7)
ROT3	4,52 ± 0,23	3,11 ± 0,22	4,47 ± 0,18	4,41 ± 0,38	
	(0) 2–7 (13)	(0) 1–6 (9)	(2) 3–6 (8)	(1) 3–7 (8)	
rcl	0,5 ± 0,01	0,48 ± 0,02	0,51 ± 0,01	0,51 ± 0,02	
	(0,21) 0,32–0,68 (0,86)	(0,16) 0,28–0,65 (0,8)	(0,28) 0,42–0,59 (0,66)	(0,35) 0,39–0,62 (0,65)	
ctcl	0,17 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,09 ± 0,01	
	(0,0) 0,06–0,26 (0,29)	(0,02) 0,08–0,2 (0,32)	(0,0) 0,09–0,23 (0,25)	(0,0) 0,003–0,14 (0,14)	

Preglednica 4: Osnovni statistični opis devetih znakov pri samcih in samicah iz Vipavske jame in jame Vogršček. Zgornja vrstica: aritmetična sredina ± standardna napaka; spodnja vrstica: (minimum) 12. percentil – 88. percentil (maksimum). Razlaga okrajšav je v Preglednici 1.

Spol	Znak	VIPAVSKA JAMA (<i>T. a. sontica</i>)	JAMA VOGRŠČEK (<i>T. a. sontica</i>)
Samci	CL	5,85 ± 0,1	5,45 ± 0,16
		(4,49) 5,27–6,52 (6,83)	(5,00) 5,00–5,77 (5,95)
	CT	0,54 ± 0,04	Ni podatkov
		(0,01) 0,32–0,75 (1,06)	Ni podatkov
	RO	3,19 ± 0,11	1,8 ± 0,34
		(1,93) 2,39–3,82 (4,79)	(0,66) 0,66–2,4 (2,62)
	ROT1	18,7 ± 0,9	4,8 ± 2,75
		(11) 13,36–24,28 (30)	(0,0) 0–11,52 (12)
	ROT2	4,18 ± 0,2	Ni podatkov
		(2) 3–5 (6)	Ni podatkov
	ROT3	4,07 ± 0,32	1,8 ± 0,74
		(1) 2–6 (7)	(0,0) 0–3 (3)
rcl	0,54 ± 0,02	0,33 ± 0,06	
	(0,34) 0,42–0,63 (0,87)	(0,12) 0,12–0,44 (0,44)	
ctcl	0,09 ± 0,01	Ni podatkov	
	(0,01) 0,06–0,12 (0,19)	Ni podatkov	
ctfl	0,37 ± 0,005	Ni podatkov	
	(0,33) 0,33–0,39 (0,4)	Ni podatkov	
Samice	CL	6,51 ± 0,1	6,19 ± 0,19
		(5,55) 5,87–6,98 (7,02)	(6,00) 6,00–6,33 (6,38)
	CT	0,67 ± 0,06	Ni podatkov
		(0,13) 0,36–0,91 (0,93)	Ni podatkov
	RO	3,45 ± 0,11	2,29 ± 0,03
		(2,69) 3,00–4,22 (4,23)	(2,26) 2,26–2,31 (2,32)
	ROT1	19,73 ± 0,77	1,5 ± 1,5
		(15) 15,92–23,16 (25)	(0,0) 0– 2,64 (3)
	ROT2	4,0 ± 0,44	Ni podatkov
		(1) 1,92–6,08 (7)	Ni podatkov
	ROT3	4,6 ± 0,41	3 ± 0,0
		(1) 2,84–7,08 (8)	(3) 3–3 (3)
rcl	0,53 ± 0,02	0,37 ± 0,02	
	(0,41) 0,46–0,62 (0,65)	(0,35) 0,35–/ (0,39)	
ctcl	0,1 ± 0,01	Ni podatkov	
	(0,02) 0,05–0,14 (0,14)	Ni podatkov	
ctfl	0,37 ± 0,004	Ni podatkov	
	(0,35) 0,36–0,39 (0,39)	Ni podatkov	

3.4 Diskusija

Osnovni namen naše raziskave je bil oceniti številčnost populacije jamske kozice *Troglocaris anophthalmus sontica* z metodo MRR (metoda lova in ponovnega ulova) v Velikem jezeru v Vipavski jami in ugotoviti morebitne spremembe v številčnosti populacije med poletno in zimsko sezono. Vipavska jama je bila za to vrsto raziskave primerna iz več razlogov: (1) jezersko okolje je s svojimi mirnejšimi vodami primernejši habitat za jamske kozice kot pa hitri rečni tokovi (Sket 1997); (2) v Velikem jezeru se jamske kozice pojavljajo v velikem številu (lastna opažanja s terena); (3) jamske kozice rodu *Troglocaris* so velike od 15–25mm (Jugovic 2010b), kar jih uvršča med večje jamske živali. Zaradi velikosti so primerne tako za lov kot za označevanje; (4) regeneracijska sposobnost jamskih kozic je dokaj visoka (Jugovic, osebna opažanja 2010). Glede na to, da kozice preživijo v okolju, kjer na njih preži nevarnost močerila, majhne fizične poškodbe, ki bi jih sicer lahko pridobile tudi ob napadu plenilca, ne vplivajo močno na njihovo vitalnost.

Rezultate, ki smo jih dobili tekom raziskave, smo vključili v več modelov. Schnablov model za oceno številčnosti populacije se je izkazal za najprimernejšega, saj model ni občutljiv na razlike v številčnosti ulova, kar je bila težava, s katero smo se morali spopasti. Dostopno nam je bilo le približno 8 m² površine za vzorčenje, saj jezero obdajajo strme stene, prav tako pa iz jezera vodita še dva rova velikih dimenzij, ki sta brez ustrezne potapljaške opreme in znanja, nedostopna (JDDR Ajdovščina 2007). Zaradi težke dostopnosti do ustreznih jamskih mikrohabitatov, je zanesljiva ocena velikosti populacije močno otežena (Buhay in Crandall 2005). Kljub razliki v številčnosti ulova med in tekom obeh sezon, razlik v ocenah velikosti populacije na podlagi Schnablovega modela med sezonama nismo zaznali. Hkrati je ocena precej velika glede na majhnost vzorčnega območja.

Delež ponovnih ulovov je nizek, kar lahko kaže na veliko število jamskih kozic oziroma na njihovo zmožnost skrivanja med kamni in skalnimi razpokami. Ker so jamske kozice izpostavljene nihanju vodne gladine, so prilagojene na odnašanje z vodnim tokom, sposobne pa so tudi aktivne migracije (Sket 1997). Na podlagi tega lahko sklepamo, da je populacija jamskih kozic v Vipavski jami verjetno celo številčnejša od dobljenih rezultatov.

Tekom raziskave pri jamskih kozicah nismo zaznali sezonskega vedenja. Ovigere samice so bile prisotne v obeh sezonah; v vsaki sezoni smo ujeli po eno ovigero samico, ki je imela okoli 10 velikih jajc. Večja jajca shranjujejo večje količine rumenjaka, ta pa omogoči razvoj večje ličinke (Hüppop 2005). V primerjavi s sorodno vrsto *Troglocaris planinensis*, za katero je značilno 20–45 jajc, je število jajc pri *Troglocaris anophthalmus*

sontica bistveno manjše. Na podlagi te lastnosti so kozice iz Vipavske jame bolj podobne jamski vrsti *Gallogocaris inermis* (8–12 jajc na samico) (Juberthie-Jupeau 1974), ki naseljuje območje južne Francije.

Pri večini nevretenčarjev je razmerje med samci in samicami 1:1, kar je ena izmed lastnosti r-strategov (Encyclopedia Britannica 2014). Pri podvrsti *Troglocaris anophthalmus sontica* pa je število samcev manjše od števila samic; le 20% ujetih živali je bilo moškega spola. Čez celo leto smo zabeležili tudi prisotnost juvenilnih živali. Poleg tega imajo jamske kozice v Vipavski jami značilne ekstracelularne prostorčke (Vogt in Štrus 1999), kjer shranjujejo večje količine maščob, ki jim omogočajo preživeti daljša obdobja stradanja. Na podlagi teh lastnosti lahko podvrsto *Troglocaris anophthalmus sontica* štejemo med K-stratege.

Relativna dolžina kljunca je spolno neodvisen znak (Jugovic 2010b), zato smo pri primerjavi prisotnosti močerila in relativno dolžino kljunca jamskih kozic lahko združili podatke samcev in samic. Za jamske kozice, ki si delijo habitat z močerilom je značilna večja relativna dolžina kljunca, ki ima hkrati tudi večje število zobcev. Te kozice so v povprečju večje od tistih, ki živijo v okolju brez močerila, torej imajo večji koš (Jugovic in sod. 2010a). Tudi znotraj filogenetske skupine »Soča«, kjer so živali večinoma manjše od ostalih monofiletskih skupin, je prisotna razlika v telesni velikosti, kjer je oziroma ni stika z močerilom; živali iz Vipavske jame so imele daljši kljunec in večji koš kot živali iz jame Vogršček, kar smo potrdili z meritvami novih vzorcev živali iz Vipavske jame. Le pri populacijah vzdolž jadranske obale (»Adriatic«) razlike v relativni dolžini kljunca med populacijami, ki so močerilu izpostavljene, in tistimi, kjer vpliva močerila verjetno ni, ni bilo opaziti. Ena izmed mogočih razlag bi lahko bili pomanjkljivi in nezanesljivi podatki o prisotnosti oziroma odsotnosti močerila na območju razširjenosti te skupine. O morfoloških spremembah, ki so posledica plenjenja, poročajo tudi pri drugih taksonih; v tolmunih pod slapovi, kjer so prisotne plenilske ribe, imajo diadromne kozice *Xiphocaris elongata* značilno povečano velikost telesa (predvsem na račun večjega kljunca) kot pa v tolmunih nad slapovi, kjer teh rib ni (Covich in sod. 2009).

Na podlagi dobljenih rezultatov so jamske kozice v Vipavski jami ustrezen organizem za uporabo MRR metode. Kakršnekoli spremembe v številčnosti populacije bi lahko pripisali spremembam njihovega habitata, predvsem zaradi človeškega vpliva. Zaradi svojih lastnosti, kot so velikost, številčnost, trdoživost in dolga življenjska doba, so lahko primeren organizem za oceno kvalitete vode. Do sedaj so le redke raziskave preučevale jamske organizme kot potencialne bioindikatorje čistosti vodnih habitatov (npr. Job in Simons 1994; Paoletti in sod. 2009). Da vrsti določimo status bioindikatorja pa je nujni predpogoj predhodno natančno poznavanje ekologije, vedenja in razširjenost vrste.

4 ZAKLJUČEK

Z raziskavo lova in ponovnega ulova ter morfometrično analizo jamskih kozic v Vipavski jami smo ugotovili naslednje:

1. Razlik v številčnosti populacije jamskih kozic med poletno in zimsko sezono ne moremo potrditi, odsotnost sezonskosti pa podpirata stalna prisotnost ovigerih samic in juvenilnih živali.
2. Nizka stopnja ponovnega ulova kaže na zmožnost skrivanja jamskih kozic med skalnimi razpokami in kamni, morda pa tudi na zmožnost aktivne migracije.
3. Samice so večje in številčnejše od samcev.
4. Samice imajo majhno število relativno velikih jajc.
5. Jamske kozice, ki si delijo habitat s plenilcem močerilom, imajo daljši kljunec z večjim številom zobcev, hkrati pa imajo tudi daljši koš in so večje.
6. Uporaba metode lova in ponovnega ulova na primeru jamskih kozic se zdi primerna za vrednotenje vpliva okoljskih sprememb na vodno jamsko okolje, vendar bi bilo potrebno preveriti zanesljivost ocen velikosti populacije še z dodatnimi cenilkami.

5 VIRI IN LITERATURA

Aden E. 2005. Adaptation to Darkness. V: Culver D.C., White W.B. (ur). Encyclopedia of caves. Elsevier Academic Press: 1–3.

Buhay J.E., Crandall K.A. 2005. Subterranean phylogeography of freshwater crayfishes shows extensive gene flow and surprisingly large population sizes. *Molecular Ecology* 14: 4259–4273.

Caronna P., Rusjan S., Barontini S., Grossi G., Brilly M., Ranzi R. 2013. Karst aquifers recharge and its relation with flood formation in the Vipava/Vipacco basin. *Geophysical Research Abstracts* 15.

Covich A.P., Crowl T.A., Hein C.L., Townsend M.J., McDowell W.H. 2009. Predator-prey interactions in river networks: comparing shrimp spatial refugia in two drainage basins. *Freshwater Biology* 54: 450–465.

Culver D.C., Christman M.C., Sket B., Trontelj P. 2004. Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. *Biodiversity and Conservation* 13: 1209–1229.

De Grave S. 2013. *Troglocaris anophthalmus* ssp. *sontica*. V: IUCN 2014. IUCN Red List of Threatened Species. Verzija 2014.1. www.iucnredlist.org. (datum dostopa 26.5.2014).

Dobnikar Tehovnik M., Mihorko P., Zupan M. 1998. Kakovost kraških izvirov. Mišičev vodarski dan: 63–67.

Encyclopedia Britannica: r-selected species.

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/487821/r-selected-species> (datum dostopa: 13.6.2014)

Ford D.C., Williams P.W. 1989. Karst Geomorphology and Hydrology. London, Chapman & Hall: 127–140.

Franjević D., Kalafatić M., Kerovec M., Gottstein S. 2010. Phylogeny of cave-dwelling atyid shrimp *Troglocaris* in the Dinaric Karst based on sequences of three mitochondrial genes. *Periodicum Biologorum* 112(2): 159–166.

Gams I. in sod. 1973. Slovenska kraška terminologija. Zbirka: TERMIN03.DOC. http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.student-info.net%2Fsis-mapa%2Fskupina_doc%2Fntf%2Fknjiznica_datoteke%2F537353_gams_terminologija_05

[.doc&ei=H1V-U--lDcqE4gS9gYHwDw&usg=AFQjCNFYD3K3wyYmOD71w-7VHX-HBLvwoA&sig2=FmpIOK96Oeztldh6WSmiQA](#) (datum dostopa: 24.5.2014)

Gams I. 2003. Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana, Založba ZRC, ZRC SAZU: 11, 34, 154.

Gottstein Matočec S. 2003. Intraspecijska i interspecijska varijabilnost podzemnih kozica roda *Troglocaris* (Crustacea, Natantia, Atyidae) u Dinarskom kršu. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.

Greenwood J.J.D., Robinson R.A. 2006. General census methods. V: Sutherland W.J. (ur). Ecological census techniques: a handbook. Cambridge University Press: 87–185.

Hobbs H.H. III. 1978. Studies of the cave crayfish, *Orconectes inermis inermis* Cope (Decapoda, Cambaridae). Part IV: Mark-recapture procedures for estimating population size and movements of individuals. International Journal of Speleology 10: 303–322.

Hobbs H.H. III. 1981. Investigations of the Troglobitic Crayfish *Orconectes inermis testii* (Hay) in Mayfield's Cave, Monroe County, Indiana. International Journal of Speleology 11: 21–32.

Howarth F.G., Hoch H. 2005. Adaptive Shifts. V: Culver D.C., White W.B. (ur). Encyclopedia of caves. Elsevier Academic Press: 17–24.

Hüppop K. 2005. Adaptation to Low Food. V: Culver D.C., White W.B. (ur). Encyclopedia of caves. Elsevier Academic Press: 4–10.

JDDR Ajdovščina: Vipavska jama. <http://www.jddr.org/kataster/vipavska/index.html> (datum dostopa: 23.5.2014)

Job C.A., Simons J.J. 1994. Ecological Basis for Management of Groundwater in the United States: Statues, Regulations, and a Strategic Plan. V: Gibert J., Danielopol D.L., Stanford J.A. (ur). Groundwater Ecology. New York, Academic Press: 523–540.

Juberthie-Jupeau L. 1974. Les caractères liés a l'incubation chez *Troglocaris anophthalmus* et *T. inermis* crustacés decapodés hypogés. Annales de Spéléologie 29(3): 389–401.

Jugovic J., Prevorčnik S., Aljančič G., Sket B. 2010a. The atyid shrimp (Crustacea: Decapoda: Atyidae) rostrum: phylogeny versus adaptation, taxonomy versus trophic ecology. Journal of Natural History 44 (41): 2509–2533.

Jugovic J. 2010b. Vrstna in rasna morfološka diferenciacija jamskih kozic *Troglocaris* aggr. *anophthalmus* (Crustacea: Decapoda: Atyidae) na Dinarskem krasu. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani.

Jugovic J., Jalžić B., Prevorčnik S., Sket B. 2012. Cave shrimps *Troglocaris* s. str. (Dormitzer, 1853), taxonomic revision and description of new taxa after phylogenetic and morphometric studies. *Zootaxa* 3421: 1–31.

Knapp S.M., Fong D.W. 1999. Estimates of population size of *Stygobromus emarginatus* (Amphipoda: Crangonyctidae) in a headwater stream in Organ cave, West Virginia. *Journal of Cave and Karst Studies* 61(1): 3–6.

Leitheuser A.T., Holsinger J.R. 1985. Ecological analysis of the Kentucky cave shrimp, *Palaemonias ganteri* Hay, at Mammoth Cave National Park (Phase V). *Old Dominion Univ. Res. Found.*, Norfolk, VA: 1–102.

Lettink M., Armstrong D.P. 2003. An introduction to using mark-recapture analysis for monitoring threatened species. *Department of Conservation Technical Series 28A*: 5–32.

Paoletti M.G., Celi M., Cipolat C., Tisat L., Faccio A., Del Re A.A.M., Boccelli R. 2009. Cave dwelling invertebrates: possible bioindicators of cave pollution – an Italian case. *Contributions to Natural History* 12: 1029–1047.

Pavlič U., Brenčič M. 2011. Application of sequential trend analysis for discharge characterisation of Vipava karstic springs, Slovenia. *Acta Carsologica* 40.2: 283–291.

Poulson T.L., White W.B. 1969. The Cave Environment. *Science* 165 (3897): 971–981.

Ravbar N. 2006. Ocenjevanje in kartiranje onesnaževalcev kraških vodonosnikov na matičnem krasu. *Acta geographica Slovenica* 46-2: 169–189.

Simon K.S., Buikema Jr. A.L. 1997. Effects of Organic Pollution on an Appalachian Cave: Changes in Macroinvertebrate Populations and Food Supplies. *American Midland Naturalist* 138: 387–401.

Sket B. 1996. The ecology of anchihaline caves. *Tree* 11(5): 221–225.

Sket B. 1997. Distribution of *Proteus* (Amphibia: Urodela: Proteidae) and its possible explanation. *Journal of Biogeography* 24: 263–280.

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

Sket B., Zakšek V. 2009. European cave shrimp species (Decapoda: Caridea: Atyidae), redefined after a phylogenetic study; redefinition of some taxa, a new genus and four new *Troglocaris* species. *Zoological Journal of the Linnean Society* 155: 786–818.

Slovenia.info; Uradni slovenski turistični informacijski portal: Reka Vipava. http://www.slovenia.info/?naravne_znamenitosti_jame=7446&lng=1 (datum dostopa: 18.6.2014)

Tercafs R. 1992. The protection of the subterranean environment conservation principles and management tools. V: Camacho A.I. (ur). *The natural history of biospeleology*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas: 480–515.

Univerza v Novi Gorici: Vipavska dolina. <http://www.ung.si/sl/studij/studentski-vodnik/vipavska-dolina/> (datum dostopa: 23.5.2014)

Vidmar T. 2013. Ocena kakovosti vodotoka Vipava. Diplomsko delo, Univerza v Novi Gorici.

Vogt G., Štrus J. 1999. Hypogean life-style fuelled by oil. *Naturwissenschaften* 86: 43–45.

Von Rintelen K., Cai Y. 2009. Radiation of endemic species flocks in ancient lakes: systematic revision of the freshwater shrimp *Caridina* H. Milne Edwards, 1837 (Crustacea: Decapoda: Atyidae) from ancient lakes of Sulawesi, Indonesia, with the description of eight new species. *The Raffles Bulletin of Zoology* 57(2): 343–452.

Wood P.J., Gunn J., Rundle S.D. 2008. Response of benthic cave invertebrates to organic pollution events. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst* 18: 909–922.

Zakšek V., Sket B., Gottstein S., Franjević D., Trontelj P. 2009. The limits of cryptic diversity in groundwater: phylogeography of the cave shrimp *Troglocaris anophthalmus* (Crustacea: Decapoda; Atyidae). *Molecular Ecology* 18: 931–946.

Zupan Hajna N. 2006. Sadrini kristali v kraški jami južno od Velenja. *Scopolia Suppl.* 3: 216–218.