

# Razvijanje modela kartiranja negativnog utjecaja odlagališta otpada na podzemne ekološke sustave na primjeru roda *Proteus* na području Istre

---

Kuharić, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:796751>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK**

**Razvijanje modela kartiranja negativnog utjecaja odlagališta otpada na  
podzemne ekološke sustave na primjeru roda *Proteus* na području Istre**

**Developing mapping model for negative impact of landfills on underground  
ecosystems on the example of the genus *Proteus* in Istria**

**Seminarski rad**

Nikolina Kuharić  
Preddiplomski studij znanosti o okolišu  
Mentorica: doc. dr. sc. Sanja Gottstein

Zagreb, 2012.

# SADRŽAJ

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. UVOD.....</b>                                                                                     | <b>1</b>  |
| <b>2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE RODA <i>Proteus</i> .....</b>                                              | <b>2</b>  |
| 2.1. Opis i biologija roda <i>Proteus</i> .....                                                         | 2         |
| 2.2. Rasprostranjenost i biogeografija roda <i>Proteus</i> .....                                        | 4         |
| 2.2.1. Rasprostranjenost.....                                                                           | 4         |
| 2.2.2. Neki podaci bitni za objašnjenje distribucije .....                                              | 5         |
| 2.2.3. Mogući scenariji distribucije.....                                                               | 6         |
| <b>3. KRIPTIČKA RAZNOLIKOST.....</b>                                                                    | <b>9</b>  |
| <b>4. GLAVNI OBLICI UGROŽAVANJA PODZEMNIH VODENIH STANIŠTA.....</b>                                     | <b>11</b> |
| <b>5. ISTARSKA ČOVJEČJA RIBICA, <i>Proteus anguinus</i> ssp. n. Parzefall, Durand i Sket, 1999.....</b> | <b>13</b> |
| 5.1. Rasprostranjenost.....                                                                             | 13        |
| 5.2. Razlozi ugroženosti i stupanj zaštite.....                                                         | 13        |
| 5.3. Zakonska zaštita svojte .....                                                                      | 15        |
| <b>6. ZAKLJUČAK .....</b>                                                                               | <b>19</b> |
| <b>7. LITERATURA.....</b>                                                                               | <b>21</b> |
| <b>8. SAŽETAK .....</b>                                                                                 | <b>23</b> |
| <b>9. SUMMARY .....</b>                                                                                 | <b>23</b> |

## 1. UVOD

*Proteus anguinus* Laurenti 1768 prva je poznata specijalizirana špiljska životinjska vrsta (Sket, 1997) i nastanjuje slatkovodna špiljska staništa do 300 m dubine (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009; Arntzen i sur. 2009 preuzeto iz [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)). Biogeografija roda *Proteus* je tipično holodinarska, tj. uključuje gotovo čitavo područje dinarskog krša, a distribucija jasno ukazuje na politopsku i vjerojatno nesinkroniziranu i ponovljenu imigraciju (dijela) populacija u špilje (Sket 1997).

Pretpostavlja se da je rod *Proteus*, zajedno sa sunazočnim vrstama, za vrijeme posljednjeg glacijala, ili preživio u lokalnim površinskim vodama za vrijeme režima niskih zimskih, ali prihvatljivo visokih ljetnih temperatura, ili imigrirao na to područje iz južnijeg refugija netom nakon glacijala (Sket 1997). Stvarne špiljske populacije mogle su nastati spajanjem nekih prostorno i vremenski odvojenih valova imigracije s drugačijim strukturama genskih zaliha. Takva fuzija je vrlo moguća za vrijeme progresivnog okršavanja (Carson 1990 preuzeto iz Sket 1997).

Podzemne vode, pogotovo one u kršu, poznate su kao okoliši izuzetno visokog endemizma. Filogenetske analize vrste *Proteus anguinus* grupirale su haplotipove u šest jasnih i dobro potkrijepljenih grupa. Linije haplotipova geografski su definirane bez preklapanja u područjima. Također nije postojalo dijeljenje haplotipova između linija (Trontelj i sur. 2009). Kriptička linija istarskog poluotoka najviše odstupa i najvjerojatniji je kandidat za sestrinsku grupu svih ostalih linija roda *Proteus* (Gorički i Trontelj 2006).

Populaciji čovječe ribice u Istri na globalnoj razini kategorije ugroženosti pridružen je status rizične svojte (VU), a na nacionalnoj razini status ugrožene svojte (EN) (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

U ovom radu se pokušalo dovesti u vezu lokalitete istarske čovječe ribice s registriranim odlagalištima otpada i smjerom toka podzemnih voda, u svrhu određivanja ugroženosti pojedinih lokaliteta.

## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE RODA *Proteus*

### 2.1. Opis i biologija roda *Proteus*

Vrsta *Proteus anguinus* Laurenti 1768 podzemni je vodeni repaš blijedog (bjelkastog, sivkastog, žućkastog ili ružičastog) izduženog, vitkog i cilindričnog tijela, a rep je bočno spljošten. Odrasle jedinke najčešće dosežu 20 – 25 cm dužine, iznimno do 35 cm. Tijekom cijeloga života zadržavaju grmolike ružičastocrvene vanjske škrge na bazi glave. Imaju male, slabo razvijene noge s po tri prsta na prednjima i dva na stražnjim nogama. Tamne očne pjege dobro su vidljive kod mladih jedinki i gotovo nestaju kod odraslih, iako mogu zadržati fotoosjetljivost (Slika 1.) (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

*Proteus anguinus* Laurenti 1768 prva je poznata specijalizirana špiljska životinjska vrsta. U literaturi je prvi puta spomenuta prije više od 300 godina (Valvasor 1689 preuzeto iz Sket 1997). Međutim, izvor Bela blizu Vrhnike u Sloveniji kojeg spominje Valvasor vjerojatno nije pravi lokalitet vrste, na što već 1847. upućuje Freyer. Lokalitet se hidrografski nalazi izvan potvrđenog areala, te se geološki i morfološki razlikuje od svih potvrđenih lokaliteta. Nakon određenih komplikacija oko određivanja tipskog lokaliteta, 1926. godine Freyer tipskim lokalitetom određuje Črnu jamu, dio Postojna – Planina špiljskog sustava. Odluka je prihvaćena i od herpetologa 1940. godine (Sket 1997).

U novijoj literaturi najčešće se spominju dvije podvrste. Podzemna *P. a. anguinus* blijede boje i *P. a. parkelj* Sket i Arntzen, 1994 koja nastanjuje limnokrene izvore Bele krajine (jugozapadna Slovenija) i tamnijeg je obojenja (Sket 1993, 1997).

Rod *Proteus* nastanjuje slatkovodna krška špiljska staništa bogata podzemnom faunom (tekuće i ujezerene vode) u vapnencima i dolomitima (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009, Arntzen i sur., 2009 preuzeto iz [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)). Za naglo povišenog vodostaja pojedine jedinke dotokom bujica bivaju povremeno izbačene izvan tipičnog staništa, tako da dospjevaju i u krške izvorišne vode (Sket 1997; Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009), ili ulaze špilja (Arntzen i sur. 2009 preuzeto iz [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)). Mnoge špilje u kojima obitavaju povezane su s rijekama ponornicama. Populacije se mogu pronaći blizu površine, ali i do 300m dubine, ovisno o debljini okšene formacije stijena (Arntzen i sur. 2009 preuzeto iz [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)).

U podzemlju zasićenom vlagom zabilježeni su izlasci pojedinih jedinki na kopno (Hochenwart 1838 preuzeto iz Sket 1997). To može biti objašnjeno boljim uvjetima hranjenja u površinskim vodama, međutim, frekvencija i važnost fenomena još nije istražena (Sket 1997; Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).



Slika 1. Habitus prednjeg dijela tijela vrste *Proteus anguinus*

Preuzeto iz <http://www.edgeofexistence.org/edgeblog/wp-content/uploads/2012/03/DusanJelicOlmblog11.jpg>

Čovječja ribica je relativno hladnovodna stenotermna svojta. Odrasle jedinke mogu preživjeti u rasponu temperature od 0 - 28°C (Briegleb 1962 preuzeto iz Sket 1997), dok se jaja i larve efektivno razvijaju samo na temperaturama 6 – 18°C s optimumom blizu gornje vrijednosti (Durand i Delay 1981 preuzeto iz Sket 1997).

Ne postoji puno objavljenih podataka o temperaturi vode lokaliteta gdje je rod pronađen, ali su gotovo svi oko izoterme od 8°C godišnjeg prosjeka temperature i to većinom oko 10°C (Sket 1997). Jedino se Rokina bezdana u Lici nalazi u području od 7°C. Njena temperatura dosta varira, te su zabilježene vrijednosti i ispod 5°C (Garašić 1980). U ostalim lokalitetima niže se temperature vjerojatno javljaju kao posljedica kopnjenja snijega ili nakon hladnih i jakih kiša u proljeće. U Sloveniji ne postoji lokalitet gdje rod duži period živi na temperaturama ispod 8°C. Najviša zabilježena temperatura staništa iznosila je 14°C u Istri (Radja 1980 preuzeto iz Sket 1997).

Hrane se detritusom i vodenim špiljskim beskralješnjacima, pri čemu prevladavaju rakovi iz raznih skupina, no povremeno mogu gutati mulj, a utvrđeno je da predator poput čovječje

ribice može gutati i izmet šišmiša te se smatra koprofagom (Culver i Pipan 2009). Ako su uznemirene skrivaju se u pukotinama ili pridnenom sedimentu. Vrsta dugo živi, spolno sazrije tek s 12 godina i sporo se razmnožava. Ženke liježu oko 70 pojedinačnih jaja koja polažu s donje strane kamenja u vodi, međutim, u nekim slučajevima jaja zadržavaju unutar tijela i razvijaju se dva potpuno razvijena mladunca (Sket 1993 preuzeto iz Sket 1997).

Briegleb (1962) pretpostavlja da se rod *Proteus* razmnožava u „glavnim staništima“, uglavnom nedostupnima čovjeku. Životinja se većinom pronalazi u rubnim dijelovima staništa koji su bogatiji hranom zbog kontakta s površinom. Razmnožavanje je (uglavnom) ograničeno na udaljene i hranom siromašne krške vode dubljih pukotinskih sustava. Jaja u prirodi nikada nisu pronađena na primarnom području, ali se u nekim špiljama redovito pronalaze juvenilni primjerci dužine 40 mm ili veći. Veći broj odraslih nikada nije pronađen u blizini položenih jaja (Sket 1997).

## **2.2. Rasprostranjenost i biogeografija roda *Proteus***

### **2.2.1. Rasprostranjenost**

Rod *Proteus* je endem dinarskog krša, proširen u sve tri biogeografske regije (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009). Dosadašnja mjesta nalaza roda *Proteus* nalaze se između slijeva rijeke Soče (Isonzo) u Italiji i slijeva rijeke Trebišnjice u Hercegovini (Sket 1983 preuzeto iz Sket 1997). Naseljava tršćanski krš u Italiji, južni dio Slovenije, Hrvatsku južno od Karlovca, područje uz obalu i u priobalju Jadranskog mora od Istre do Dubrovnika, te Hercegovinu do slijeva Trebišnjice u Bosni i Hercegovini (Slika 2.) (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

Samo dio špiljskih tokova u regiji ima izravne površinske kontakte s Jadranskim morem ili rijekom Savom i dalje Crnim morem. Mnogi su ograničeni na male, izolirane površinske drenažne sustave unutar krškog područja i areal je fragmentiran u više manjih izoliranih područja (Sket, 1997).

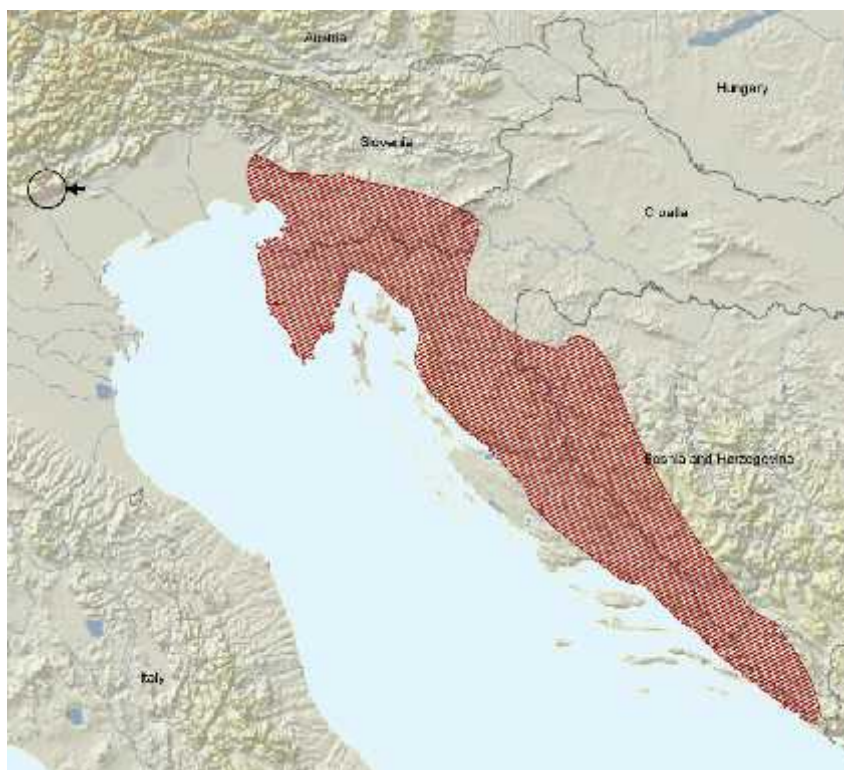
Prema trenutnim hidrološkim spoznajama Sket (1997) nalazišta čovječje ribice svrstava u deset izdvojenih grupa. No općenito gledano, biogeografija roda *Proteus* je tipično holodinarska, tj. uključuje (manje ili više) čitavo područje dinarskog krša (Sket, 1997).

### 2.2.2. Neki podaci bitni za objašnjenje distribucije

Alpe i Dinaridi emergirali su kao odvojeni otoci najkasnije u oligocenu prije 35 milijuna godina (Dercourt i sur. 1985 preuzeto iz Sket 1997). Početkom gornjeg oligocena (prije 25 milijuna godina) dinarski je otok bio periodički vezan prema istoku i zapadu (Dercourt i sur. 1985 preuzeto iz Sket 1997; Roegl i Steininger 1983 preuzeto iz Sket 1997), ali veza prema sjeveru nije postojala zbog Paratetisa, njegovih derivata i planinskih lanaca. Veći dijelovi kopna vjerojatno su periodički bili poplavljeni morem za vrijeme tercijara (Radinja 1972 preuzeto iz Sket 1997) i postojala su mnoga slatkovodna jezera duž te tropsko / suptropske regije od miocena duboko u kvartar (Prelogović i sur. 1975 preuzeto iz Sket 1997).

Emergirana dinarska regija je bila prekrivena debelim slojem fliša. Okršavanje i razvoj podzemnih tokova praćen je progresivnim uklanjanjem vodonepropusnog fliša u kasnom pliocenu ili ranom pleistocenu, te se nastavlja i danas (Melik 1958 preuzeto iz Sket 1997; Radinja 1972 preuzeto iz Sket 1997). Inicijalno vrlo lokalizirani podzemni drenažni sustavi povećavali su se i spajali napretkom okršavanja.

S druge strane, tanki pojas južnih vapnenačkih Alpi i dalje je bio ograničen morskim zaljevom kroz rani kvartar, pa sve do tercijara.



Slika 2. Područje rasprostranjenosti roda *Proteus* na području Dinarskog krša (crveno isprugano područje) s označenim područjem u Italiji gdje je unešena

(Preuzeto i prilagođeno iz <http://science.naturalis.nl/media/293436/image001.png>).



Temperaturni uvjeti u sadašnjem arealu roda *Proteus* vjerojatno su bili izuzetno nepovoljni. Najsjeverniji lokalitet nalazi se samo 30 km od najjužnije pleistocenske granice ledenjaka. Pretpostavljena srednja godišnja temperatura u pojedinim područjima iznosila je blizu 0°C . To znači da su temperature u sjeverozapadnim dijelovima današnjeg areala morale biti daleko ispod prihvatljive razine za tu životinju. Jednako je bilo s temperaturama kroz godinu u podzemnim krškim vodama (Sket, 1997).

Nije nimalo vjerojatno da se izvorno tropska površinska životinja kao što je *Proteus* mogla prilagoditi znatno nižim temperaturama u pleistocenu, te da se nedavno ponovno prilagodila višim temperaturama. Međutim, vodozemci se općenito mogu prilagoditi etološki te mogu tražiti odgovarajuće razdoblje i područje kada i gdje je moguć embrionalni razvoj (Duellman i Trueb 1986 preuzeto iz Sket 1997).

### **2.2.3. Mogući scenariji distribucije**

Periodičke veze između kopnenih masa dopuštale su opsežne imigracije (Almacá 1990 preuzeto iz Sket 1997; Oosterbroek i Arntzen 1992 preuzeto iz Sket 1997) stare kontinentalne faune na tercijarno kopno Dinarida (Sket 1970 preuzeto iz Sket 1997). Površinski predstavnik porodice Proteidae mogao je nastaniti ta relativno izolirana područja u kasnom oligocenu sa zapada, ili u bilo koje vrijeme u miocenu s istoka. Prema podacima dobivenima istraživanjem alozima, neke populacije roda *Proteus* prekinule su izrazitu razmjenu gena barem u kasnom miocenu, puno prije postanka špiljskih sustava (Sket i Arntzen 1994 preuzeto iz Sket 1997), što znači da se to dogodilo u površinskim vodama (Sket 1997).

Većina današnjih troglobionata široko je nastanjivala površinska jezera i rijeke (Hadži 1965; Sket 1970 preuzeto iz Sket 1997) i postupno su prodirali u špiljska staništa koja su se počela razvijeti krajem pliocena. Suši klimatski režimi za vrijeme interglacijala pleistocena, kao i niske temperature glacijala, uništili su površinske dijelove nekih populacija dozvoljavajući špiljskim populacijama da se specijaliziraju i postanu troglomorfne (Sket 1997).

Rod *Proteus* teško da je mogao preživjeti zadnji glacijal u sjeverozapadnom području današnjeg areala. Vjerojatno su mu izvorno tropske karakteristike onemogućile dugoročno koloniziranje alpskih dijelova slovenskog krša koji je u pleistocenu i pliocenu bio pod ledenjacima. Uspješna barijera rasprostiranju u toplijim postglacijalnim periodima bio je prije spomenuti prekid u kontinuiranoj krškoj masi zapadne Slovenije.

Lakše je zamisliti da je rod *Proteus* zajedno sa sunazočnim vrstama, ili preživio u lokalnim površinskim vodama za vrijeme režima niskih zimskih, ali prihvatljivo visokih ljetnih temperatura, ili imigrirao na to područje iz južnijeg refugija netom nakon glacijala. Buduće filogenetičke analize vjerojatno će odgovoriti što je vjerojatnije (Sket 1997).

Distribucija roda *Proteus* jasno ukazuje na politopsku i vjerojatno nesinkroniziranu i ponovljenu imigraciju (dijela) populacija u špilje.

Sket (1997) predlaže slijedeći scenarij za rod *Proteus* (i njegove holodinarske sunazočne vrste):

U relativno izoliranom području Dinarida, drevni *Proteus* vjerojatno je bio izgurao u izolaciju od strane nekog kompetitivnog vodozemca. Kako pokazuje velika genetska raznolikost (Sket i Arntzen 1994 preuzeto iz Sket 1997), morale su se razviti već neke različite lokalne forme u površinskim vodama. Dijelom za vrijeme pleistocena, ali barem na sjeverozapadu netom nakon glacijacije, te forme (ili čak vrste) nastanile su špilje u nekim područjima i konvergentno se razvile u fenotipski slične troglobionske forme. Usporedba troglomorfnih formi s netroglomorfnim pokazuje da morfološke promjene nisu bile velikog opsega.

Komparativno važna genetika (Sket i Arntzen 1994 preuzeto iz Sket 1997) i neka važna morfološka raznolikost (istraživanja u tijeku) populacija Istre i Slovenije radije podupiru njihov reliktni karakter nego kasniju imigraciju s juga. Postglacijalni period nije bio prekratak za špiljsku specijalizaciju na što upućuju istraživanja na drugim podzemnim vrstama (Culver 1982 preuzeto iz Sket 1997). Predloženo je (Sket 1985 preuzeto iz Sket 1997) da kod velikih životinja ekonomiziranje strukturnog reduciranja za adaptaciju na nepovoljne špiljske uvjete napreduje brže nego kod malih životinja. Stoga, može se pretpostaviti da su mnoge populacije roda *Proteus* mogle živjeti na površini početkom pleistocena ili čak na njegovom kraju, što im daje bolje uvjete rasprostranjivanja (Sket 1997).

Ranije se smatralo da je glavni period imigracije dinaridske špiljske faune bio krajem pliocena / početkom pleistocena (Sket 1970 preuzeto iz Sket 1997), prije oko 2 milijuna godina. Noviji podaci upućuju da je proces bio centriran u puno mlađa vremena (Sket 1990).

Trontelj i sur. (2007) također su pokušali za različite svojte odrediti razdoblje naseljavanja podzemnih staništa. Za rod *Proteus* dokazali su maksimalno vrijeme od prije 4,4 – 5,6 milijuna godina za liniju Bosanska krajina. Međutim, ako se prikloni teoriji o višestrukim nezavisnim naseljavanjima špilja, teoretski se naseljavanje moglo dogoditi prije 8,8 – 16

milijuna godina. Autori međutim ističu kako datiranje ključnih događaja u evoluciji podzemnog života ostaje visokospekulativan poduhvat (Trontelj i sur. 2007).

Ove hipoteze o naseljavanju špilja najozbiljnije se mogu pobiti ili potvrditi paleoklimatskim podacima ovog dijela Europe koji još uvijek ne postoje (Sket 1997).

### 3. KRIPTIČKA RAZNOLIKOST

Više od 10% makrostigobiontskih vrsta nastanjuju relativno velika područja, od par stotina do 2000 km u dužinu. Te vrste predstavljaju izazov jer je njihova distribucija u suprotnosti s hidrografskim granicama i njihovi načini rasprostiranja i dugoročne razmjene gena su nepoznate (Trontelj i sur. 2009).

Podzemne vode, pogotovo one u kršu, poznate su kao okoliš izuzetno visokog stupnja endemičnosti faune. Sket i sur. (2004) pokazali su za Balkanski poluotok da kada god područje sadrži 20 ili više podzemnih vrsta, barem je 40 – 60% endemskih za to područje. Trontelj i sur. (2009) ponudili su nekoliko mogućih objašnjenja računajući visoke razine endemizma te uključujući ograničenu mogućnost rasprostiranja podzemne faune:

1. Mnogi slatkovodni stigobionti su, vjeruje se, morski relikti koji su postali izolirani za vrijeme regresije.
2. Mala područja posljedica su ili jedinstvene lokalizirane invazije podzemnih vodenih staništa nadzemnim precima, ili višestruke geografski odvojene invazije široko rasprostranjenog pretka. Oba scenarija su povezana s niskim mogućnostima i vjerojatnostima rasprostranjivanja.
3. Nakon što se stigobiont lateralno proširio širokim područjem podzemnih voda, populacije su postale odvojene vikarijanskom fragmentacijom (npr. za vrijeme hidrografske izolacije uzrokovane progresivnim okršavanjem).
4. Jaka hidrografska fragmentacija krških područja mogla je omogućiti izolaciju i posljedično inicirati specijaciju nadzemnog pretka, vodeći do visoke regionalne raznolikosti stigobionata.

Mnogi predstavnici različitih taksonomskih skupina koji su stenoendemi koegzistiraju s vrstama koje su široko rasprostranjene (Sket 1999 preuzeto iz Trontelj i sur. 2007), te se nameće pitanje kako je moguće da u istom setu ekoloških ograničenja, sposobnost disperzije i održavanja genetskog kontakta biološki sličnih stigobiontskih vrsta bude toliko različita. Stoch (1995) predlaže da široko rasprostranjene vrste mogu zapravo sadržavati neprepoznate sestrinske vrste.

Komparativne analize pokazuju da je odstupanje između kriptičnih linija roda *Proteus* bilo slično ili je premašivalo odstupanja između ustanovljenih sestrinskih vrsta iz porodice daždevnjaka. Kriptična stigobiontska raznolikost može nastati dvama različitim evolucijskim procesima.

1. Genetska diferencijacija među alopatrijskim kriptičkim sestrinskim linijama (tip 1 kriptičke raznolikosti). Sestrinske linije različitih područja pokazuju značajnu genetičku divergenciju uz međusobno isključenje haplotipova / alela. Pitanje je na kojoj razini genetičke divergencije se dvije linije mogu smatrati vrstama.
2. Konvergentna ili paralelna evolucija neseestrinskih linija (tip 2 kriptičke raznolikosti) koja se odnosi na morfološku sličnost neseestrinskih linija zbog nedostatka morfoloških diferencijacija ili konvergentne evolucije pod sličnim ekološkim uvjetima.

Filogenetske analize vrste *Proteus anguinus* grupirale su haplotipove u šest jasnih dobro potkrijepljenih grupa. Linije haplotipova geografski su definirane bez preklapanja u područjima. Također nije postojalo dijeljenje haplotipova između linija. Područja pokrivena kriptičnim linijama bila su mnogo manja od područja nominalne vrste, najviše 205 km (Trontelj i sur. 2009).

Kriptička linija istarskog poluotoka najviše odstupa i najvjerojatniji je kandidat za sestrinsku grupu svih ostalih linija roda *Proteus* (Gorički i Trontelj 2006).

Uz genetički izdvojenu populaciju u Istri (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009), u Hrvatskoj žive još najmanje dvije izolirane subpopulacije: prva u Kordunu i Lici (možda i Gorskom kotaru), u slijevu Mrežnice i Gacke, a druga u Dalmaciji, u slijevu Krke, Zrmanje, Cetine, Neretve i Trebišnjice, čije vode podzemnim tokom dolaze do izvora Omble (Sket 1997; Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

#### **4. GLAVNI OBLICI UGROŽAVANJA PODZEMNIH VODENIH STANIŠTA**

Izvori hranjivih tvari s površine izuzetno su bitni za podzemne ekosustave. Vodeni tok nosi otopljene organske tvari i organske čestice te na taj način osigurava hranjive tvari podzemnim ekosustavima. Organski materijal može biti donesen i vjetrom i gravitacijom do ulaza u špilje i jame. Krčenje šuma, šumski požari i promjena riparijske zone uz tekućice smanjuju ukupnu količinu organske tvari na površini i izravno smanjuju dotok hrane u podzemlje (Culver i Pipan 2009).

Većina okolišnih katastrofa u površinskim staništima ujedno predstavljaju i okolišne katastrofe podzemnih staništa zbog povezanosti vodotokova (Culver i Pipan 2009).

Organsko onečišćenje može imati drastične utjecaje na podzemna vodena staništa.

Pritom treba spomenuti najbitniji negativni okolišni čimbenik, a to je poljoprivreda i uz nju vezano gotovo globalno prekomjerno korištenje gnojiva i pesticida. Količine nitrata u podzemnim vodama diljem Europe stalno rastu i redovito se nalaze u plitkim podzemnim vodama. Organsko onečišćenje i sniženje kvalitete vode prati naseljavanje vrsta karakterističnih za onečišćene vode i time dolazi do promjena u sastavu zajednica podzemnih ekosustava.

Prilikom izuzetno jakog onečišćenja podzemnih voda organskim tvarima ponekad dolazi do potpunog uništenja prisutne stigobionske faune. Za ponovno naseljavanje istraživanih područja iz uzvodnih staništa koja nisu pretrpila onečišćenje bilo je potrebno oko 15 godina (Culver i Pipan 2009).

Poseban problem u dubljim vodonosnicima predstavljaju netopivi onečišćivači (poput naftnih derivata) koji se zadržavaju u sedimentu više desetljeća (čak i duže). Većina intersticijskih stigobionata su u neposrednom kontaktu sa sedimentom i ti se organizmi moraju nositi s kroničnim okolišnim stresom (Culver i Pipan 2009).

Antropogeni izvori teških metala široko su rasprostranjeni, a u krške vodonosnike mogu ući iz površinskih izljevanja, reakcijama u zoni tla i disolucijom naliježućih geoloških formacija. Kada jednom uđu u krški sustav, skladištenje i transport teških metala ovisi o fizičkim procesima, njihovoj kemiji i kemiji okoliša (Vesper 2012).

Odlagališta otpada također mogu biti izvor teških metala i drugih anorganskih onečišćenja podzemnih voda, a opasnosti leže u procjeđivanju otpadnih voda s neadekvatno izgrađenih odlagališta (Culver i Pipan 2009).

Izgradnja brana može imati neposredan negativan utjecaj na podzemnu faunu. Nakon konstrukcije brane i kanaliziranja rijeke Trebišnjice, rijeka je prestala ponirati i okolne špilje su izgubile dotok hranjivih tvari. Populacija čovječje ribice koja je spadala među najveće u Dinaridima sada je devasirana (Culver i Pipan 2009). Također, izgradnja injekcijskih zavjesa može uzrokovati izolaciju određenih populacija te time dovesti do njihovog izumiranja ili injekcijske zavjese mogu spriječiti procjeđivanje hranjivih tvari u podzemlje, što može imati dalekosežne posljedice za strukturu i brojnost podzemne faune koja je ključan izvor hrane za čovječju ribicu (Bonacci i sur. 2009).

Crpljenje vode za vodoopskrbu, navodnjavanje i industriju dovodi do promjena i smanjenja povezanosti površinskih i podzemnih voda uz promjene u dotoku hranjivih tvari. Razine vodnog lica pale su u mnogim područjima, ponegdje čak i za 30 m.

Izgradnja cesta može doprionijeti otkrivanju novih speleoloških objekata ali dovodi i do njihovog razaranja i uništenja podzemnih ekosustava. Detalji u lokaciji velikih cesta (poput autocesta) mogu značiti veliku razliku vezanu za utjecaj na okoliš. Malo pomicanje ceste može zaštititi ili pak ugroziti pojedine populacije.

Najizravniji ljudski utjecaj na podzemnu faunu uzrokovan je posjetama speleološkim objektima prilikom kojih dolazi do uznemiravanja, ubijanja i prekomjernog sakupljanja vrsta (Culver i Pipan 2009).

## **5. ISTARSKA ČOVJEČJA RIBICA, *Proteus anguinus* ssp. n. Parzefall, Durand i Sket, 1999**

Morfologijom i biologijom istarska čovječja ribica vrlo je slična ostalim nepigmentiranim populacijama. Istražena populacija iz Pincinove jame razlikuje se samo po manjim morfološkim specifičnostima (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009), međutim, genetičke razlike su značajne (Gorički i Trontelj 2006).

### **5.1. Rasprostranjenost**

Rod *Proteus* u Istri pripada sjevernodinarskoj biogeografskoj regiji i stenoendem je Hrvatske i Istarske županije. Na području Istre prvi je put pronađena 1894. i 1895. godine u bunaru na Velom Vrhu, a sve do ponovnog otkrića roda u Puli pretpostavljano je da je na području južne i jugoistočne Istre vjerojatno izumrla (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

Ukupno je zabilježeno 8 nalazišta (Slika 3.). Najsjevernije zabilježeno stanište je Pincinova jama kod Poreča, a najjužnije izvor Nimfej u Puli, te su ta dva nalazišta jedina aktivna nalazišta danas. Pincinova jama je podzemno jezero u jami izvan naseljenog mjesta, a izvor Nimfej je kaptiran izvor u centru Pule, nekad korišten kao izvor pitke vode, a danas zbog onečišćenja samo povremeno kao izvor tehničke vode. Jama u Vodnjanu, izvor Rakonek uz rijeku Rašu, rudnik Raša i umjetni podzemni kanal u Čepićkom polju nedostupna su iz raznih razloga (zatvoren ili zatrpan ulaz, nedostupnost potopljenih rudničkih galerija i sl.), te nije moguće utvrditi postoje li danas u njima aktivne populacije čovječje ribice (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

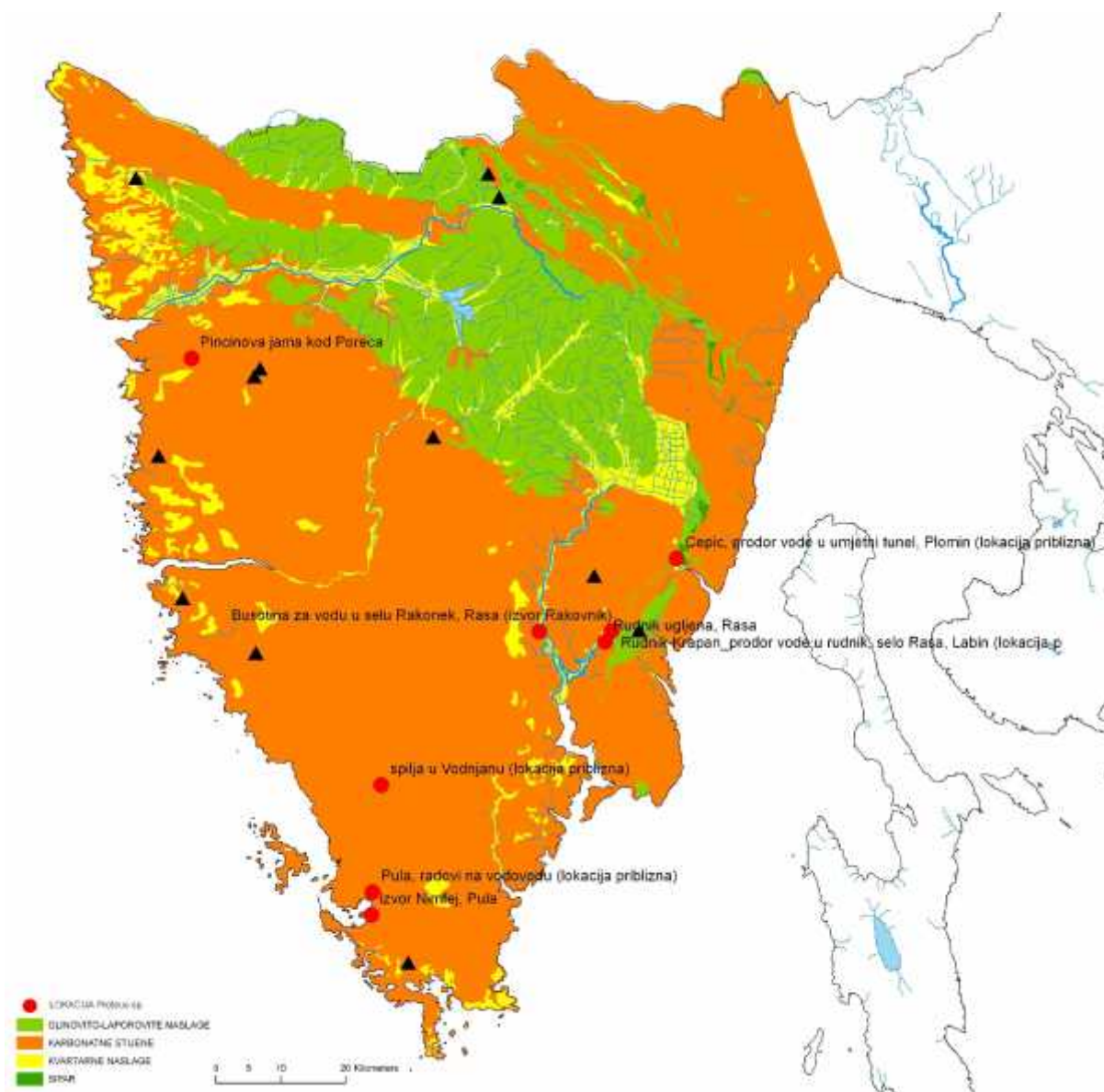
### **5.2. Razlozi ugroženosti i stupanj zaštite**

Populaciji čovječje ribice u Istri na globalnoj razini kategorije ugroženosti pridružen je status rizične svojte (VU), a na nacionalnoj razini status ugrožene svojte (EN) (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

Kao direktne prijetnje populaciji čovječje ribice u Istri, Kletečki (2009) navodi za Pincinovu jamu smanjenje populacije zbog prekomjernog sakupljanja jedinki i mogućnost uništenja staništa zbog vandalizma. Požari također imaju značajan negativni utjecaj na prijenos hranjivih tvari oborinskom vodom iz epikrške zone u dublje dijelove podzemnih staništa. Kod izvora Nimfej navedena je promjena režima podzemnih voda zbog hidrotehničkih



zahvata i crpljenja vode. U negativne učinke za sve lokacije spadaju degradacija podzemnog ekološkog sustava i podzemnih staništa zbog promjene režima podzemnih voda i oborina, te direktno uništenje vrste zbog nekontroliranog i nestručnog sakupljanja (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).



Slika 3. Nalazišta svojte *Proteus anguinus* ssp. n. Parzefall, Durand i Sket, 1999 na području Istre (crveni krugovi) te odlagališta komunalnog otpada (crni trokut) (podaci o rasprostranjenosti preuzeti su iz baze podataka DZZP-a, a podaci o odlagalištima komunalnog otpada iz baze podataka Agencije za okoliš).

U Istri postoji 12 registriranih odlagališta komunalnog otpada od kojih se njih 3 (Griža, Mašimova Škulja i Streljana) nalaze na flišnoj podlozi, Donji Picudo na kontaktu fliša i kvartarnih naslaga, Basilika Mondelako na kontaktu kvartarnih naslaga i gornjojurskih karbonata, a ostala su na karbonatima (Slika 4.).

Karbonate, pogotovo one okršene kakve naseljava čovječja ribica, karakterizira pukotinsko – disolucijska poroznost s vrlo varijabilnim protocima i vrlo složenim podzemnim tokovima.

Iz Slike 5. vidljivo je da većina odlagališta nije u blizini lokaliteta čovječje ribice i da podzemne vode uglavnom ne teku iz smjera odlagališta prema lokalitetima.

Kod odlagališta Streljana situacija je znatno drugačija. Odlagalište se nalazi na nepropusnom flišu i na relativno višoj nadmorskoj visini. Vode s tog područja dreniraju se dijelom prema moru, a dijelom prema rijeci Raši prelazeći s flišne podloge na okršene karbonate. Na putu podzemnih voda nalaze se dva lokaliteta čovječje ribice (rudnik ugljena uz rijeku Rašu i rudnik Karpan) koja su time izravno ugrožena onečišćenim procijednim vodama s odlagališta.

Odlagališta Pavlovac i Šuma Dubrava nalaze se na karbonatima i generalni smjer tečenja podzemnih voda je prema lokalitetu Pincinova jama, te postoji realna opasnost od onečišćenja procijednim vodama.

Kletečki (2009) navodi da je u svim nalazištima prisutno onečišćenje podzemnih voda krutim i tekućim komunalnim otpadom zbog divljih odlagališta. Iako su podzemni tokovi u kršu izuzetno kompleksni, u većini slučajeva onečišćenje koje navodi ne bi trebalo dolaziti od ovdje navedenih odlagališta nego je najvjerojatnije riječ o lokalnim nezabilježenim deponijima (npr. bacanje komunalnog otpada u jame).

Također je u svim nalazištima zabilježeno onečišćenje vodama opterećenim različitim toksičnim kemijskim sredstvima koja se koriste u poljodjelstvu (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

### **5.3. Zakonska zaštita svojte**

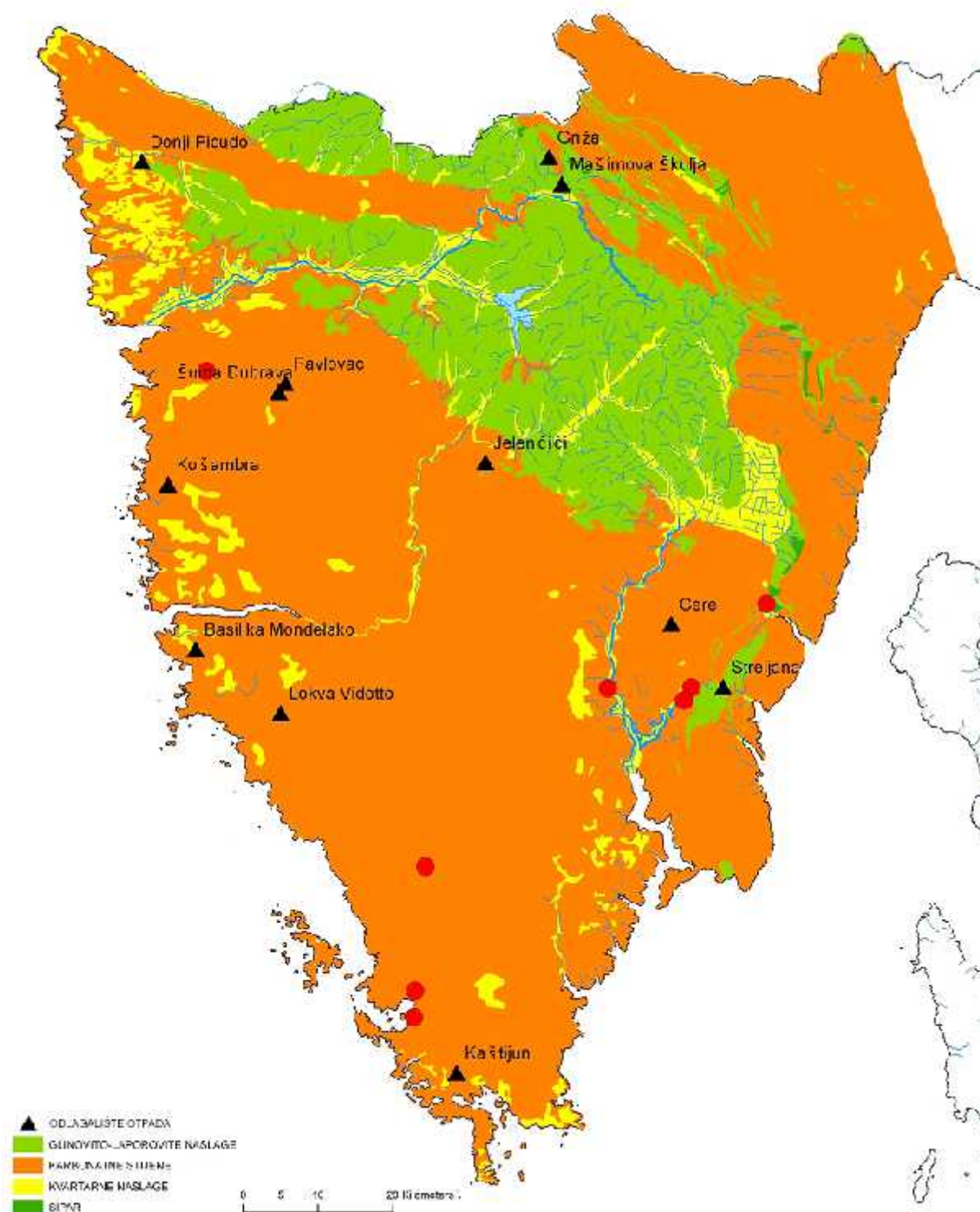
Kletečki (2009) navodi da prema Zakonu o zaštiti prirode (NN 70 / 05, 139 / 08) istarska populacija spada u kategoriju „Strogo zaštićena vrsta i špiljska staništa“. Vrsta se također nalazi na Dodatku II Direktive o staništima, tj. zbog njene zaštite nužno je određivanje Posebnih područja zaštite (SAC) kao dijela europske ekološke mreže NATURA 2000.

Iako su svi podzemni objekti u Hrvatskoj zaštićeni Zakonom o zaštiti prirode, pravilnicima i uredbama, potrebno je uvrstiti zaštitu svojte i njezinih staništa u vodoprivrednu i poljodjelsku osnovu. Povremeno treba nadzirati odabrana poznata nalazišta radi praćenja statusa i procjene gustoće populacija, dovršiti započeta populacijsko – genetička istraživanja i oformiti banku

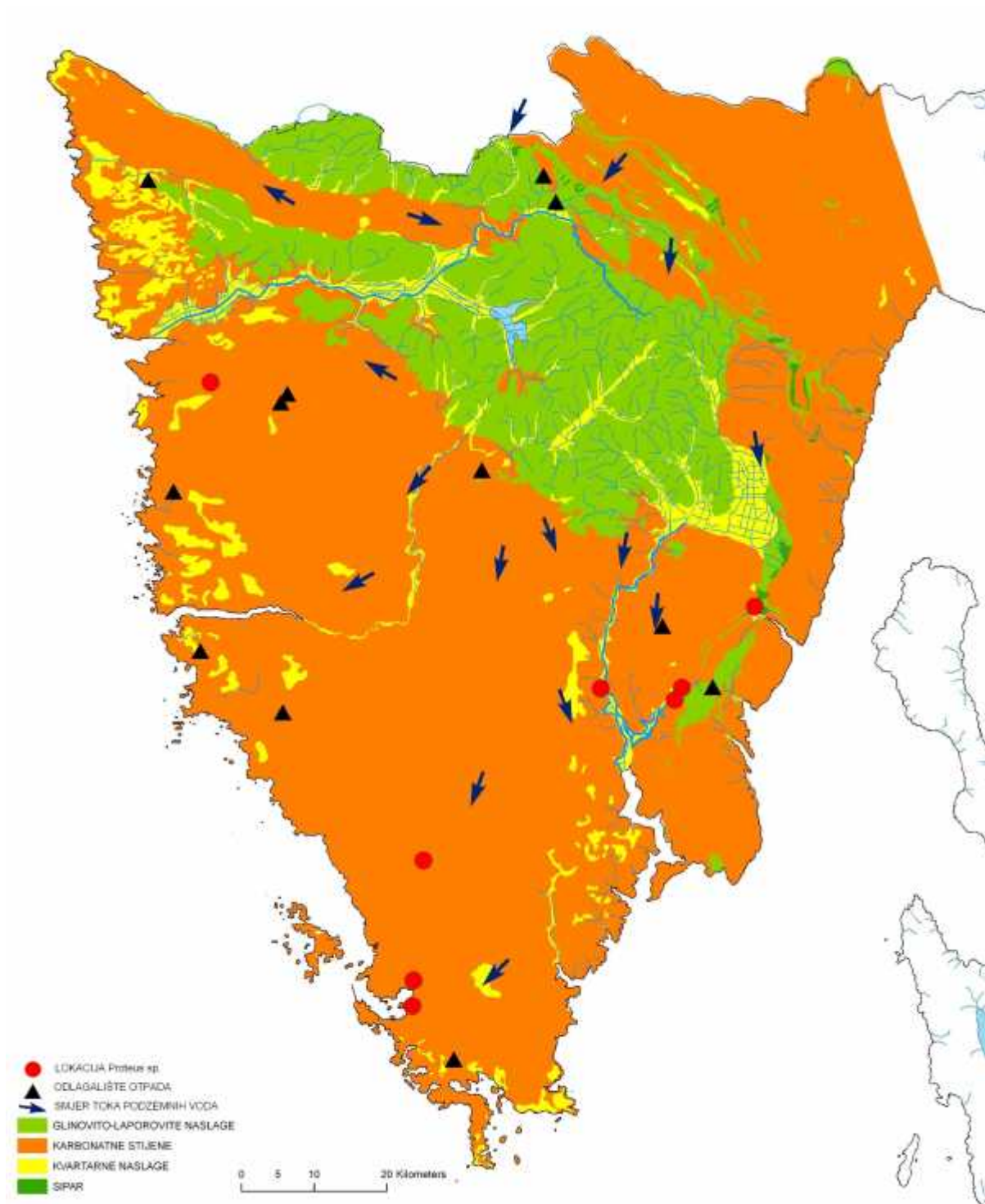
gena, te kartirati nalazišta i utvrditi moguće podzemne veze između pojedinih subpopulacija (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

Također, bilo bi potrebno sanirati postojeća odlagališta otpada kako bi se maksimalno smanjio budući utjecaj na podzemne ekosustave, te educirati domaće stanovništvo o prihvatljivom odlaganju otpada uz razvoj infrastrukture zbrinjavanja komunalnog otpada.

Za buduću zaštitu podzemne faune (pa tako i roda *Proteus*) bitno je u obzir uzeti dvije činjenice. Prvo, pošto je gotovo sva stigobiontska makrofauna endemična za male ili srednje hidrografske podzemne bazene, podzemna voda kao stanište zaslužuje veću pažnju kod konzervacije. Iako nisu bogata vrstama kao površinske, neke od podzemnih voda predstavljaju vruće točke europskog endemizma. Drugo, zbog gotovo potpunog nedostatka preklapanja faune među regijama, konzervacijske strategije temeljene na zaštiti najznačajnijih lokaliteta nisu učinkovite. Bilo koja konzervacijska strategija za rod *Proteus* fokusiranjem na najjače populacije izostavila bi izolirnu i divergentnu svojtu u Istri (Trontelj i sur. 2009).



Slika 4. Dokumentirana odlagališta komunalnog otpada na području Istre (crni trokuti) s označenim nalazištima svoje *Proteus anguinus* ssp. n. Parzefall, Durand i Sket, 1999 (crveni krugovi) (podaci o rasprostranjenosti preuzeti su iz baze podataka DZZP-a, a podaci o odlagalištima komunalnog otpada iz baze podataka Agencije za okoliš).



Slika 5. Smjer strujanja podzemnih voda (plave strelice) u odnosu na dokumentirana odlagališta komunalnog otpada (crni trokuti) i nalazišta svojte *Proteus anguinus* ssp. n. Parzefall, Durand i Sket, 1999 u Istri (crveni krugovi) (podaci o rasprostranjenosti preuzeti su iz baze podataka DZZP-a, podaci o odlagalištima komunalnog otpada iz baze podataka Agencije za okoliš 2012., a smjerovi strujanja podzemnih voda iz Hrvatskih voda, VGO Rijeka, 2009.).

## 6. ZAKLJUČAK

Iako je čovječja ribica prva opisana stigobionska vrsta, o njenoj biologiji i filogeniji relativno se malo zna. Stigobionske vrste s velikim arealima (kakva je i vrsta *Proteus anguinus*) često su „stare“, tradicionalne vrste i znatan ih je udio opisan prije 1900. godine. Često je riječ o svojstama kojima je potrebna taksonomska revizija prema današnjim kriterijima.

Novija istraživanja pokazuju da skrivena kriptička raznolikost nije neobična u podzemnim vodama, a u slučaju roda *Proteus* uzimanje u obzir kriptičkih linija dovelo bi do šesterostrukog povećanja u regionalnoj raznolikosti (Trontelj i sur. 2009).

Kriptička linija Istarskog poluotoka najviše odstupa i najvjerojatniji je kandidat za sestrinsku grupu svih ostalih linija roda *Proteus* (Gorički i Trontelj 2006).

Populaciji čovječje ribice u Istri na globalnoj razini kategorije ugroženosti pridružen je status rizične svojte (VU), a na nacionalnoj razini status ugrožene svojte (EN) (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009).

Na svih 8 nalazišta Istarske čovječje ribice prisutno je onečišćenje podzemnih voda krutim i tekućim komunalnim otpadom zbog divljih odlagališta (Kletečki 2009 preuzeto iz Ozimec i sur. 2009). Od 12 registriranih odlagališta komunalnog otpada u Istri njih 3 uzrokuju (ili mogu uzrokovati) onečišćenje spomenutih nalazišta.

Odlagalište Streljana nalazi se na nepropusnoj podlozi i na relativno višoj nadmorskoj visini. Vode s tog područja dijelom dreniraju prema rijeci Raši prelazeći s nepropusne podloge na vrlo propusne okršene karbonate. Na putu podzemnih voda nalaze se dva lokaliteta čovječje ribice (rudnik ugljena uz rijeku Rašu i rudnik Karpan) koja su time izravno ugrožena onečišćenim procijednim vodama s odlagališta.

Odlagališta Pavlovac i Šuma Dubrava nalaze se na karbonatima i generalni smjer tečenja podzemnih voda je prema lokalitetu Pincinova jama, te postoji realna opasnost od onečišćenja procijednim vodama.

Iako su podzemni tokovi u kršu izuzetno kompleksni, u većini slučajeva onečišćenje koje se navodi ne bi trebalo dolaziti od registriranih odlagališta nego je najvjerojatnije riječ o lokalnim nezabilježenim deponijima (npr. bacanje komunalnog otpada u jame), kao što i navodi Kletečki (2009).



Za buduću zaštitu roda *Proteus* važno će biti uzeti u obzir kriptičku liniju istarskog poluotoka, kao i specifičnosti terena na kojima će se odvijati daljnji urbani razvoj. Jednako bitna bi trebala biti edukacija lokalne zajednice i poboljšanje infrastrukture zbrinjavanja komunalnog otpada. U daljnjoj zaštiti roda *Proteus* na području Hrvatske osobitu pozornost bi trebalo posvetiti razvijanju posebnih akcijskih mjera zaštite izoliranih populacija istarske čovječje ribice, koje bi uključivale kontinuirani monitoring kvalitete podzemnih voda, praćenje kretanja podzemnih voda tijekom različitih sezona, uvjetovanje visokih sanitarnih standarda za trenutna registrirana odlagališta komunalnog otpada te kartiranje ilegalnih odlagališta otpada i prijedlog za njihovu sanaciju.

## 7. LITERATURA

Arntzen, J. W., Denoël, M., Miaud, C., Andreone, F., Vogrin, M., Edgar, P., Crnobrnja Isailović, J., Ajtic, R., Corti, C. (2009): *Proteus anguinus*. U: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Verzija 2012.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Preuzeto 19. srpnja 2012.

Bonacci, O., Gottstein, S., Roje-Bonacci, T. (2009): Negative impacts of grouting on the underground karst environment. *Ecohydrology*, 2: 492 – 502.

Culver, D., Pipan, T. (2009): The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats. Oxford University Press, Oxford, str. 1-254.

Garašić, M. (1980): Pronađena čovječje ribica (*Proteus anguinus*) u podzemnoj rijeci Rokine bezdane kod Jezerana u Lici. 7. Kong. *Speleol. Jugosl.* (Herceg Novi, 1976), str. 127 – 133.

Gorički, Š., Trontelj, P. (2006): Structure and evolution of the mitochondrial region and flanking sequence in the European cave salamander *Proteus anguinus*. *Gene*, 387: 31 – 41.

Hadži, J. (1965): Bemerkungen zu einigen biospelaologischen Problemen des dinarischen Karstes. *Naše Jame*, 7: 21 – 31.

Kletečki, E. (2009): Istarska čovječja ribica, str. 202 - 203. U: Ozimec, R., Bedek, J., Gottstein, S., Jalžić, B., Slapnik, R., Štamol, V., Bilandžija, H., Dražina, T., Kletečki, E., Komerički, A., Lukić, M., Pavlek, M. (2009): Crvena knjiga špiljske faune Hrvatske. Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode, Republika Hrvatska. Zagreb.

Sket, B. (1993) *Proteus* – skrivnostni vladar kraške teme. Vitrum, Ljubljana, str. 1-75.

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

Trontelj, P., Douady, C., Fišer, C., Gibert, J., Gorički, Š., Lefebure, T., Sket, B., Zakšek, V. (2009): A molecular test for cryptic diversity in ground water: how large are the ranges of macro-stygobionts?. *Freshwater Biology*, 54: 727 – 744.



Trontelj, P., Gorički, Š., Polak, S., Verovnik, R., Zakšek, V., Sket, B. (2007): Age estimates for some subterranean taxa and lineages in the Dinaric karst. *Acta Carsologica*, 36 (1): 183 – 189.

Vesper, D.J. (2012): Contamination of cave waters by heavy metals, str. 161 – 172. U: White, W. B., Culver, D. C. (ur.) Encyclopedia of caves. Elsevier, Academic Press, Amsterdam.

Korištene web stranice:

<http://science.naturalis.nl/media/293436/image001.png>

<http://www.edgeofexistence.org/edgeblog/wp-content/uploads/2012/03/DusanJelicOlmblog11.jpg>

## 8. SAŽETAK

Iako je čovječja ribica, *Proteus anguinus* Laurenti 1768, prva opisana stigobiontska vrsta, još uvijek se relativno malo zna o njoj biologiji i filogeniji. Novija istraživanja pokazuju da je zapravo riječ o više kriptičkih linija od kojih se ona na istarskom poluotoku najviše razlikuje i najvjerojatniji je kandidat za sestrinsku grupu svih ostalih linija roda *Proteus*.

Kao jedna od prijetnji opstanku populacije na području Istre, navodi se onečišćenje lokaliteta procjednim vodama s odlagališta komunalnog otpada. U ovom radu pokušala se utvrditi povezanost između zabilježenih lokaliteta roda *Proteus* s lokacijama registriranih odlagališta otpada i sa smjerom toka podzemnih voda na području Istre. Zaključeno je da su u većini slučajeva divlja odlagališta ta koja predstavljaju najveću prijetnju populacijama roda *Proteus*.

U daljnjoj zaštiti roda *Proteus* na području Hrvatske osobitu pozornost bi trebalo posvetiti razvijanju posebnih akcijskih mjera zaštite izoliranih populacija istarske čovječje ribice, koje bi uključivale kontinuirani monitoring kvalitete podzemnih voda, praćenje kretanja podzemnih voda tijekom različitih sezona, uvjetovanje visokih sanitarnih standarda za trenutna registrirana odlagališta komunalnog otpada te kartiranje ilegalnih odlagališta otpada i prijedlog za njihovu sanaciju.

## 9. SUMMARY

Although olm, *Proteus anguinus* Laurenti 1768, is the first described stigobiontic species, its biology and phylogeny is still relatively unknown. Recent studies reveal how there are more cryptic lineages of which one in Istria peninsula is the most distinguished and the most probable candidate for sister group of all other lineages of the genus *Proteus*.

One of threats to Istrian population survival is groundwater pollution by percolating water from landfills. In this paper an attempt for correlation between recorded sites of *Proteus* sp.,

documented landfills and groundwater flows in Istria peninsula has been made. It was concluded how in most cases illegal landfills cause the biggest threat.

In future conservation of the genus *Proteus* in Croatia, particular concern should be dedicated in developing of special action measures for protection of isolated istrian olm population, which would include continuous water quality monitoring, underground water flow monitoring over different seasons, conditioning of high sanitary standards for current registreted landfills and mapping illegal landfills with proposal for their sanation.