



IZZIVI VAROVANJA SKRITE NARAVNE DEDIŠČINE PODZEMNIH VODA SLOVENIJE

**doc. dr. CENE FIŠER¹, dr. ŠPELA BORKO², dr. TEO DELIČ³, ANJA KOS⁴,
ESTER PREMATE⁵, prof. dr. PETER TRONTELJ⁶,
doc. dr. MAJA ZAGMAJSTER⁷, doc. dr. VALERIJA ZAKŠEK⁸**

Povzetek

Favna podzemnih vod predstavlja pomemben del slovenske naravne dediščine ter ima pomembno vlogo pri vzdrževanju ekosistemskih funkcij in storitev, kot je oskrba s pitno vodo. Cena prilagoditev, ki omogočajo življenje pod zemljo, je visoka, saj so te vrste zelo občutljive na motnje v okolju. Učinkovite varstvene ukrepe spremljajo številni izzivi, zlasti zahtevno vzorčenje te favne, nezadostno poznavanje njihove biologije in populacijsko genetske strukture ter gospodarjenje s prostorom, ki ne upošteva negativnih vplivov na podzemlje. Predpogoj učinkovitemu varstvu teh vrst vključuje sistematično zbiranje podatkov o njihovi razširjenosti in biologiji v urejenih in centraliziranih zbirkah, vključitev teh organizmov v monitoring podzemnih voda ter vrednotenje morebitnih negativnih vplivov posegov na površju.

Ključne besede: endemizem, monitoring, podzemna favna, zbirke podatkov.

Abstract

Groundwater fauna represents an important part of the Slovenian natural heritage and plays a crucial role in maintaining ecosystem functions and ecosystem services, like provisioning of the drinking water. Adaptations to subterranean environment make these species vulnerable to anthropogenic stressors. The conservation of these species is challenging due to physically and technically demanding field work, taxonomic incompleteness, incomplete knowledge on species' biology, unknown genetic structure of populations, and inappropriate management of anthropogenic activities on the surface. A prerequisite for its effective

- 1 Doc. dr. Cene Fišer, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 2 Dr. Špela Borko, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 3 Dr. Teo Deliĉ, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 4 Anja Kos, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 5 Ester Premate, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 6 Prof. dr. Peter Trontelj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 7 Doc. dr. Maja Zagmajster, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 8 Doc. dr. Valerija Zakšek, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo



conservation requires additional research, implementation of biological monitoring, centralized data collection and identification of the harmful anthropogenic activities on the surface.

Keywords: databases, endemism, monitoring, subterranean fauna.

1. UVOD

Podzemna voda obsega več kot 97 % utekočinjene neslane vode na svetu in tako predstavlja največji sladkovodni ekosistem (Gibert in Deharveng, 2002). Zaradi odsotnosti svetlobe in skromnih hranil je ta prostor reven z vrstami; ocenjujejo, da ga naseljuje le 5 do 10 % vseh znanih vrst večceličarjev (Gibert in Deharveng, 2002). Vendar štejejo podrobnosti: podzemna favna predstavlja zbirko ranljivih, a biološko zelo zanimivih in varstveno pomembnih vrst. Ljudje smo od ekosistema podzemne vode eksistencialno odvisni. Tega ekosistema ne znamo obnoviti, zato ga moramo skrbno varovati, kar je navsezadnje povezano s številnimi izzivi. V tem prispevku predstavljamo pomen in ranljivost podzemne favne, naslovimo raziskovalne in družbene izzive, ki spremljajo njeno varovanje, ter predlagamo korake za njeno učinkovitejše varovanje.

2. POMEN IN RANLJIVOST PODZEMNE FAVNE

Podzemne živali niso le naključen podvzorec svetovne vrstne pestrosti. V primerjavi s površjem pod zemljo najdemo manjše število vrst žuželk in vretenčarjev, sicer pa med večceličarji prevladujejo predvsem raki (Sket, 1999; Gibert in Deharveng, 2002). Med njimi najdemo številne skupine, ki živijo le pod zemljo in jih danes obravnavamo kot preživele predstavnike starodavnih skupin (Humphreys, 2000; Borko et al., 2021). Nekatere pomembne skupine, kot so postrance ali ceponožni raki, so v podzemlju zastopane celo v večjem številu kot na površju (Stoch in Galassi, 2010), tudi pri nas. Ob tem ne smemo prezreti, da so med prebivalci podzemlja številne vrste, ki živijo le znotraj meja Slovenije, torej t. i. nacionalni endemiti. Preživetje teh vrst je odvisno izključno od primernih strategij upravljanja s prostorom in naravnimi dobrinami, ki jih ureja zakonodaja.

Preživetje prebivalcev podzemnih voda nas še kako zadeva, saj ti zagotavljajo nemotene biotske procese v podzemni vodi. Kamnita podlaga, naj si bodo to skale ali prodniki, deluje kot orjaški filter, na katerem nastajajo bakterijski biofilmi, te pa objedajo večcelični organizmi (Schmidt et al., 2017). Tako potekata razgradnja in privzem organskih snovi iz vode, kar je osnova samočistilnim procesom ter zagotavljanju daleč najpomembnejše ekosistemske storitve – pitne vode (Griebler in Avramov, 2015).

Podzemne vrste so prilagojene na stabilno okolje brez svetlobe, ki je v primerjavi s površinskimi okolji revno s hranili (Culver in Pipan, 2019). V primerjavi s površinskimi sorodniki so metabolizem, rast in razmnoževanje teh vrst počasni, življenjska doba pa včasih osupljivo dolga (Fišer, 2019; Lunghi in Bilandžija, 2022). Številne vrste, zlasti v globljih delih vodo-

nosnikov, so občutljive na okoljska nihanja, npr. v temperaturi (Mermillod-Blondin et al., 2013). Disperzijski potencial in območja razširjenosti vrst so majhni (Bregović et al., 2019). Zaradi prilagoditev na okolje, v katerem živijo, so vrste iz podzemnih voda dovzetne za antropogene motnje.

Probleme, povezane z ranljivostjo podzemnih vrst, najlažje ilustriramo z izmišljenim, a verjetnim primerom, ko zaradi izlitja strupene snovi v podzemlje izumre lokalna favna. Zlasti v nekraških podzemnih vodah lahko strupi ostanejo zelo dolgo. Obnova združbe je odvisna od priseljevanje iz okolice, kar lahko traja več let, ter ponovne vzpostavitve lokalnih populacij, kar zaradi počasnega razmnoževanja in rasti dodatno podaljša čas obnove. Ti procesi so počasnejši v primerjavi s podobnimi procesi v površinskih vodah, kjer voda razredči in odnese strupe, organizmi pa razmeroma hitro naselijo prostor ter populacije v nekaj letih dodobra okreva. V času, ko se obnavljajo podzemna združba in biotski procesi, so ekosistemske storitve podzemne vode omejene.

3. RAZISKOVALNI IZZIVI

Raziskovanje podzemnih voda je težavno, saj je dostop do podzemne vode omejen. V kraški Sloveniji do podzemnih voda dostopamo prek jam in kraških izvirov, kar zahteva veliko časa kot tudi tehnične usposobljenosti. Dostop do nekraških podzemnih voda je še težavnejši, saj zahteva posebno opremo, s katero lahko črpamo vodo in njene prebivalce iz globin. Zahtevno in časovno zamudno vzorčenje pa je le vrh ledene gore, ki orje globoke vrzeli v našem poznavanju podzemne favne.

Taksonomska slika domala vseh skupin podzemnih živali je nepopolna. Genetske analize so nedvoumno pokazale, da je vrst znatno več, kot smo domnevali ob prelomu tisočletja; nedavna študija evropskih podzemnih rakov je ocenila, da se za vsakim vrstnim imenom skrivajo 2 do 3 še neopisane vrste (Eme et al., 2017). Tudi najbolj znane živali, kot je močeril, pri tem niso izjema, saj le v Sloveniji živi kar 5 potencialno samostojnih vrst (Trontelj et al., 2017). Vzrokov za neurejeno taksonomijo je veliko, izpostaviti pa velja izjemno morfološko podobnost med vrstami (Fišer et al., 2018). Ta je posledica okoljskih razmer, v katerih najdemo živali. Seleksijski pritiski v podzemnih vodah so podobni, zato so lahko tudi popolnoma nesorodne neverjetno podobne. Posledice nerazrešene taksonomije so daljnosežne, pri čemer ovirajo načrtovanje ohranjanja in spremljanja prostoživečih populacij.

Med drugim je posledica nerazrešene taksonomije tudi nepopolno razumevanje razširjenosti vrst. Če vrsta ni znana in opisana, njene razširjenosti v prostoru ne moremo raziskovati. Še več, zaradi morfološke podobnosti lahko območja razširjenosti posameznih vrst zanesljivo prepoznamo le z genetskimi metodami. Genetske analize razkrivajo, da imajo podzemne vrste večinoma majhna območja razširjenosti, ki neredko obsegajo le nekaj kvadratnih kilometrov (Delić et al., 2017; Bregović et al., 2019). Če take vrste zmotno obravnavamo kot splošno razširjene, lahko dovolimo posege, ki pripeljejo do nepovratnega izumiranja vrst. Taka izumiranja sicer ostanejo neopažena, vendar lahko občutimo posledice, ki jih ne znamo pojasniti.



Šele v zadnjem desetletju smo se začeli zavedati velikih razlik v ekologiji podzemnih vrst. Podzemne vode niso enoten habitat. V grobem jih lahko razdelimo v kraške in nekraške, vendar mnoge študije kažejo, da so številne podzemne vrste še bolj specializirane. Tako npr. na krasu najdemo vrste, ki živijo v epikrasu, potokih neprežete cone, izviri in stalnih vodah prežete cone (Trontelj et al., 2012). Ti habitati so različno fragmentirani, zato imajo ekološki specialisti različno velika območja razširjenosti. Zaradi medsebojnih ekoloških razlik so podzemne vrste izpostavljene različnim dejavnikom tveganja oz. so različno občutljive za posamezne grožnje. Po eni strani je raba prostora v kraški in nekraški Sloveniji drugačna. Pomembne so zlasti razlike v obsegu intenzivnega kmetijstva, ki prevladuje v nekraški Sloveniji. V tem primeru predstavljajo glavne grožnje črpanje podtalnice (npr. namakanje, zalivanje), uporaba pesticidov in čezmerno gnojenje. Varovanje teh vrst zahteva ustrezen pregled in inšpekcijski nadzor nad dejavnostmi (Kostanjšek et al., 2022). Drugačne so grožnje vrstam v kraški Sloveniji. Kot primer, vrste v neprežeti coni kraških masivov so odvisne od zadostne količine vode. Te vrste so bolj izpostavljene vremenskim ujmam, zlasti suši, in jih utegnejo v prihodnje prizadeti tudi podnebne spremembe. Zadostne količine vode zagotavlja ustrezen vegetacijski pokrov, torej varovanje teh vrst zahteva smiselno gospodarjenje z gozdom. Navsezadnje redke razpoložljive študije kažejo, da se ekološko različne vrste razlikujejo v občutljivosti na kemične stresorje. Na kopičenje soli v podzemnih vodah, npr. zaradi soljenja cest (Zagmajster in Delić, 2021), so se izkazale bolj ranljive živali iz izvirov kot tiste iz globljih delov jam (Jemec Kokalj et al., 2022). Četudi imamo splošen vpogled v grožnje podzemni favni (Mammola et al., 2019), nam manjka lokalnih raziskav, ki bi omogočale identifikacijo groženj in ustrezne odzive nanje.

Še večji so izzivi, povezani z razumevanjem delovanja podzemnega ekosistema kot celote. Primarni viri hrane v podzemnih združbah so skromni, večinoma v obliki raztopljenega organske snovi in večjih ali manjših kosov odmrlega organskega materiala (Gibert in Deharveng, 2002). Posledica so preprosti prehranjevalni spleti, ki jih tvori razmeroma majhno število vrst, organiziranih v največ štiri trofične nivoje (Hutchins et al., 2016; Premate et al., 2021). Celotna združba je tako odvisna od detrita s površja in bakterijskega biofilma, ki uspeva na račun v vodi raztopljenih organskih snovi. Detritivori, večinoma raki, se hranijo tako z detritom kot biofilmom. Ti so hrana plenilcem prvega in drugega reda. Prav slednji so odvisni od zdrave združbe detritivorov (npr. rakov), ustreznega vnosa organske snovi in rasti biofilmov. Varovanje podzemnih ekosistemov zahteva dobro razumevanje funkcionalnih skupin organizmov v podzemlju, predvsem katere so te skupine in koliko jih je potrebnih, da pride do vzpostavitve ekosistemskih procesov.

4. DRUŽBENI IZZIVI

Vrzeli v razumevanju biologije podzemnih organizmov so le del izzivov. Varovanje podzemnih voda in organizmov v njih je tesno povezano z upravljanjem prostora. Družba je odvisna od številnih dejavnosti, kot so kmetijstvo, ohranjanje pitne vode, pridobivanje energije, umeščanje infrastrukture v prostor in ohranjanje kritičnega dela biodiverzitete, ki vzdržuje stabilnost ekosistemov. Umeščanje objektov in aktivnosti v prostor je v svoji srži nasprotujoče si, kjer varstvo biodiverzitete prepogosto potegne krajšo.

Ustrezno razreševanje konfliktov zahteva celovit pregled nad naravnimi danostmi, torej, kaj je smiselno umestiti kam, ter medresorsko usklajene strategije razvoja posameznih področij, torej, katero od možnih aktivnosti bomo umestili v izbrano območje. Zdi se, da celovite vizije upravljanja prostora pri nas ni. Najočitnejši primer je gradnja hidroelektrarn na območjih z visoko vrstno pestrostjo. O škodljivih učinkih hidroelektrarn je bilo prelitega veliko črnila. Negativne učinke jezov so zaznali gor- in dolvodno, tako v obrežjih kot tudi v podzemnih vodnih telesih (Poff in Zimmerman, 2010; Fan et al., 2022). Eden ključnih dokumentov evropskega zelenega dogovora, Strategija za biotsko raznovrstnost do leta 2030 (European Commission, 2020), med drugim načrtuje odstranjevanje jezov, kar naj bi zagotovilo vsaj 25.000 kilometrov prosto tekočih rek po vsej Evropi. Isti dokument predlaga tudi znatno razširitev območij Nature 2000 in obnovo prostoživečih populacij. Ob tem evropski dokumenti ne izpostavljajo hidroelektrarn kot pomembnega vira zelene energije. V Sloveniji tem smernicam ne sledimo. Še več, nekatere hidroelektrarne so načrtovane znotraj območij Nature 2000, kar je v neskladju s smernicami Strategije za biotsko raznovrstnost do 2030. Podobno in manj znano je, da so nekatere hidroelektrarne načrtovane na območjih z izjemno visoko pestrostjo podzemnih vrst. Severni Dinaridi (južna Slovenija, del Hrvaške) so ena globalnih vročih točk podzemne biotske pestrosti, načrti za hidroelektrarne pa so umeščeni neposredno v »vroče točke znotraj vročih točk« (Fišer et al., 2022). Podobne težave se nanašajo tudi na druge dejavnosti, med drugim je zlasti zahtevno usklajevanje s kmetijstvom.

Verjetno je temeljna težava pri varstvu narave usmerjenost družbe v dobiček, četudi so že številne študije pokazale, da varstvo narave ustvarja ogromne prihranke (Balmford et al., 2002). Navkljub številnim opozorilom se ob tem premalo zavedamo, da so posegi v prostor nepovratni ali le delno povratni, podzemna favna pa je v tem oziru med najbolj ranljivimi.

5. STROKOVNI PREDLOGI REŠITEV

Del nakopičenih izzivov lahko razrešimo z dodatnim raziskovanjem in spremljanjem prostoživečih populacij, centralizacijo zbirk podatkov ter učinkovitim posodabljanjem smernic varovanja. V nadaljevanju obravnavamo vse tri smeri rešitev.

Večina podatkov izvira iz raziskovalnega dela oz. manjših praktičnih nalog. Tovrstno zbiranje podatkov je razmeroma nesistematično, kar otežuje objektivno kartiranje podzemne biotske pestrosti. Varovanje podzemnih habitatov najprej zahteva sistematično kartiranje podzemne favne ter trajni monitoring izbranih območij in vrst. Trenutni monitoring podzemnih vod vključuje le spremljanje njihove količine in kakovosti, biotska komponenta pa je v celoti izvzeta. V okviru projekta LIFE IP NATURA.SI (LIFE17 IPE/SI/000011) trenutno izvajamo raziskave, v kakšni obliki bi lahko implementirali dva tipa monitoringa: i) monitoring habitatnega tipa jam, ki vključuje tudi monitoring podzemnih kraških voda, in ii) monitoring izbranih podzemnih vrst. Izvedljivost obeh monitoringov zahteva prostorsko opredelitev vzorčnih točk, frekvenco vzorčenja, cenovno sprejemljiv način identifikacije nabranih vrst in ustrežno interpretacijo podatkov. Trenutni razvoj shem monitoringov je usmerjen v kraški del Slovenije. Ob njegovi vzpostavitvi sta možni nadgradnja in razširitev na nekraška območja.



Prostorska opredelitev vzorčnih točk monitoringa zahteva identifikacijo naravnih geografskih enot, v okviru katerih se lahko vrste razmeroma neovirano premikajo. Jame kot take ne predstavljajo edinega habitata, ki ga podzemne vrste naseljujejo, temveč le okno v habitat, kjer te lahko vzorčimo. Identifikacija takih enot je možna na več načinov. Poleg sledenja vode lahko analiziramo strukturo podzemnih združb oz. za posamezne vrste lahko analiziramo genetsko strukturo populacij. Taka območja so osnova, kjer lahko natančneje odredimo območja vzorčenja oz. vzorčne točke. Analize so v teku.

Monitoring habitatnega tipa jame je zahtevnejši od obeh monitoringov. Letni čas vzorčenja ni nepomemben. Predhodne študije kažejo, da sestava združb v jamah niha skozi leto. V teku so tudi raziskave, ki preizprašujejo, ali je učinkovitejše večkratno vzorčenje manjšega števila jam ali enkratno vzorčenje večjega števila jam. Prav tako potekajo analize, ki bodo ocenile, pri kolikšnem deležu biotske pestrosti izbranega območja in ob znanem naporu vzorčenja (ang. *sampling effort*) smemo sklepati, da je habitat v dobrem stanju. Zbiranje vzorcev predstavlja le terenski del monitoringa. V laboratoriju je treba vrste identificirati. Četudi se omejimo na identifikacijo izbranih vrst, je treba v delo vključiti strokovnjake, ki lahko identificirajo organizme. Alternativno lahko vrste prepoznamo s pomočjo genetskih metod in uporabo t. i. črtnih kod, tj. odčitavanjem sekvenc, značilnih za posamezno vrsto. Žal to delo ni brez omejitev, saj zahteva predhodno vzpostavitev knjižnic kod, v katerih so imena opisanih vrst povezana s pripadajočimi diagnostičnimi sekvencami. Trenutno so te knjižnice delno vzpostavljene za nekatere skupine podzemnih rakov (Zagmajster et al., 2022), žal pa je več pomembnih skupin, za katere nimamo ne strokovnjakov ne knjižnic črtnih kod. Prav vse obstoječe knjižnice kod so stranski produkt raziskovalnega dela, kar onemogoča napoved, kdaj bodo te zbirke podatkov izpopolnjene. Dolgoročno bi bilo smiselno podpreti ciljne projekte in raziskave za oblikovanje tovrstnih knjižnic.

Evropska Direktiva o habitatih države EU zavezuje k ustreznemu upravljanju prostora za varstvo evropsko pomembnih vrst. Ta vključuje tudi dve vrsti iz podzemnih voda, močerila (*Proteus anguinus*) in jamsko školjko (*Congeria jalzici*). Močeril je po Direktivi prednostna vrsta za ohranjanje, naveden v prilogah II in IV Direktive o habitatih. Jamska školjka je prav tako navedena v prilogi II in IV Direktive o habitatih. Prostoživeče populacije vrst s teh seznamov je treba spremljati. Monitoring posameznih vrst je lahko specifičen in možen z različnimi metodami oz. s kombinacijo metod. Pri močerilu so doslej uspešno testirali dve neinvazivni metodi. Za ugotavljanje velikosti populacij so z neinvazivnimi genetskimi metodami posodobili klasično metodo ulova-označevanja-ponovnega ulova (Trontelj et al., 2017). Za ugotavljanje prisotnosti vrste so testirali postopke, ki temeljijo na vzorčenju okoljske DNK, torej DNK, ki jo organizmi puščajo kot sled v okolju (Gorički et al., 2017). Pripravljamo tudi metodologijo za spremljanje jamske školjke.

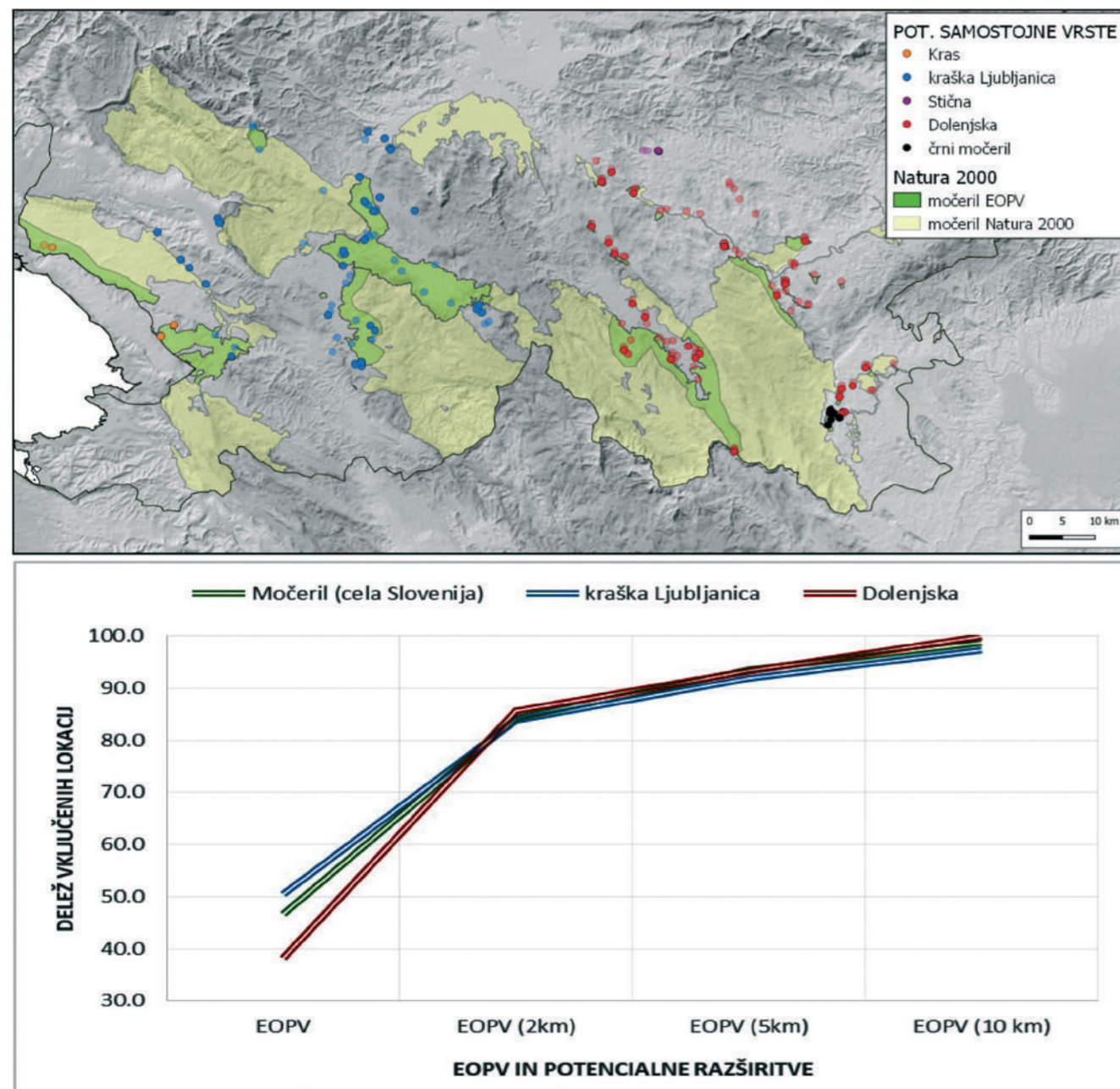
Zbiranje podatkov je le prvi korak k učinkovitejšemu upravljanju s prostorom. Podatke je treba hraniti tako, da do njih dostopamo enostavno in jih nato lahko znova uporabimo. Trenutno so podatki zbrani v več lokalnih zbirkah, v naši skupini vzdržujemo zbirko SubBioDB. Zbirka pokriva zlasti območje Dinarskega krasi in vzhodnih apneniških Alp, za določene skupine pa celoten evropski prostor. Vključuje lastne terenske in literaturne podatke. Trenutno celotna zbirka obsega več kot 63.000 podatkov (podatek označuje kombinacijo takson-lokaliteta-vir).

V Sloveniji poteka projekt za vzpostavitev centraliziranega naravovarstvenega informacijskega sistema, imenovan Life NarcIS (LIFE19 GIE/SI/000161), ki ga vodi Agencija RS za okolje skupaj s še osmimi partnerji. Naravovarstveni informacijski sistem združuje tri tipe dodatkov: podatke o naravi in njenem stanju, naravovarstvene ter podporne podatke. Sistem bo zajemal podatke iz 70 zbirk, vključno s podatki iz SubBioDB. Trenutno obsega informacije o več kot 18.000 vrstah in več kot 200.000 podatkov o vrstah. Dostop do podatkov bo omogočen prek uporabniškega vmesnika. Pod vnaprej določenimi pogoji bo podatke mogoče tudi naložiti in jih analizirati s pomočjo programov za obdelavo prostorskih podatkov.

Tak informacijski sistem bo omogočal učinkovitejši dostop do informacij, potrebnih za upravljanje s prostorom, upoštevajoč ustrezno varovanje vrst in habitatov. Nazoren primer prikazuje načrtovanje opredelitve Ekosistemov, odvisnih od podzemne vode (EOPV). Prvotni načrti so sledili območjem Nature 2000. Tako opredeljeni EOPV povzamejo približno 40 % znanih lokacij močerila. Razširitev območja le za 2 oz. 5 kilometrov bi vključila že približno 80 oz. 95 % znanih lokacij in znatno izboljšala varovanje te vrste (Slika 1). Primer nazorno ilustrira, kako učinkoviteje lahko varujemo podzemno vrstno pestrost, če pomembne podatke o vrstah zbiramo in posodabljammo v centralni zbirki podatkov.

6. ZAKLJUČEK

Podzemna favna je svetovna naravna in slovenska kulturna dediščina, ki smo jo dolžni varovati. Ta obveza ni le moralna in zakonska, temveč je povezana tudi z ohranjanjem ekosistemskih storitev podzemne vode ter našim preživetjem. Kot tako je varstvo podzemne favne prednostna naloga, ki še zdaleč ni enostavna. Prepreke so tako tehnično raziskovalne narave kot tudi v premajhnem zavedanju o njenem pomenu. Ob tem lahko optimistično sklenemo, da razvoj metodologije in digitalne infrastrukture omogoča, da bi lahko v razmeroma kratkem času vzpostavili ustrezno spremljanje in varovanje podzemne favne. Nikoli ni prepozno, vendar bi bil dobrodošel kanec dobre volje.



Slika 1: Zgoraj: Razširjenost močerila in cone vrste, ki so skladne z EOPV. Razširjenost močerila prikazujemo le s potrjenimi ali zanesljivimi podatki o pojavljanju (točke predstavljajo lege vhodov v jame, kraških izvirov ali naplavljenih osebkov). Barva točk označuje pripadnost različnim potencialno samostojnim vrstam (PSV). Točke intenzivnih barv predstavljajo genetsko preverjeno pripadnost posamezni PSV, svetlejši odtenki pa verjetno pripadnost, ocenjeno glede na geografijo in hidrografijo lokacije. Spodaj: Delež vključenih lokacij o pojavljanju močerila v obstoječa EOPV območja ter hipotetično razširjena EOPV z razdaljo 2, 5 in 10 kilometrov. Zelena črta prikazuje vse podatke, modra le podatke za vrsto *kraška Ljubljana* in rdeča za vrsto *kraška Dolenjska*. Povzeto po Zakšek in Fišer (2021).

LITERATURA IN VIRI

- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamy, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, M., Rosendo, S., Roughgarden, J., Trumper, K. in Turner, R. K., 2002. Ecology: Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 2002, 297, 950–953.
- Borko, Š., Trontelj, P., Seehausen, O. in Fišer, C., 2021. A subterranean adaptive radiation of amphipods in Europe. *Nature communications*, 2021, 12: 3688.
- Bregović, P., Fišer, C. in Zgamažster, M., 2019. Contribution of rare and common species to subterranean species richness patterns. *Ecology and Evolution*, 2019, 9, 11606–11618.
- Culver, D. C. in Pipan, T., 2019. *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. Oxford: Oxford University Press.
- Delić, T., Trontelj, P., Rendoš, M. in Fišer, C., 2017. The importance of naming cryptic species and the conservation of endemic subterranean amphipods. *Scientific Reports*, 2017, 7: 3391.
- Eme, D., Zgamažster, M., Delić, T., Fišer, C., Flot, J. F., Konecny-Dupre, L., Palsson, S., Stoch, F., Zakšek, V., Douady, C. J. in Malard, F., 2017. Do cryptic species matter in macroecology? Sequencing European groundwater crustaceans yields smaller ranges but does not challenge biodiversity determinants. *Ecography*, 2017, 40, 1–13.
- European Commission, 2020. Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions: EU Biodiversity Strategy for 2030. Brussels.
- Fan, P., Cho, M. S., Lin, Z., Ouyang, Z., Qi, J., Chen, J. in Moran, E. F., 2022. Recently constructed hydropower dams were associated with reduced economic production, population, and greenness in nearby areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2022, 119.
- Fišer, C., 2019. Life histories. V: White, W. B., Culver, D. C., Pipan, T. (ur.). *Encyclopedia of Caves*. London, San Diego, Cambridge, Oxford: Academic Press 652–657.
- Fišer, C., Borko, Š., Delić, T., Kos, A., Premate, E., Zgamažster, M., Zakšek, V. in Altermatt, F., 2022. The European Green Deal misses Europe's subterranean biodiversity hotspots. *Nature Ecology and Evolution*, 2022, v tisku.
- Fišer, C., Robinson, C. T. in Malard, F., 2018. Cryptic species as a window into the paradigm shift of the species concept. *Molecular Ecology*, 2018, 27, 613–635.
- Gibert, J. in Deharveng, L., 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience* 2002, 52, 473–481.
- Gorički, Š., Stanković, D., Snoj, A., Kuntner, M., Jeffery, W. R., Trontelj, P., Pavičević, M., Grizelj, Z. in Năpăruș-Aljančić, M., 2017. Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for . *Scientific Reports*, 2017, 91–93.
- Griebler, C. in Avramov, M., 2015. Groundwater ecosystem services: a review. *Freshwater Science*, 2015, 34, 355–367.
- Humphreys, W. F., 2000. Relict faunas and their derivation. V: Wilkens, H., Culver, D. C., Humphreys, W. F. (ur.), *Ecosystems of the World: Subterranean ecosystems*. Amsterdam [etc.]: Elsevier. 417–432.
- Hutchins, B. T., Summers Engel, A., Nowlin, W. H. in Schwartz, B. F., 2016. Chemolithoautotrophy supports macroinvertebrate food webs and affects diversity and stability in groundwater communities. *Ecology*, 2016, 97, 1530–1542.
- Jemec Kokalj, A., Fišer, Ž., Dolar, A., Novak, S., Drobne, D., Bračko, G. in Fišer, C., 2022. Screening of NaCl salinity sensitivity across eight species of subterranean amphipod genus . *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2022, 236, 113456.
- Kostanjšek, R., Aljančić, G., Bizjak Mali, L., Fišer, C., Hudoklin, A., Mulec, J., Năpăruș-Aljančić, M., Pipan, T., Prelovšek, M., Zgamažster, M., Zakšek, V. in Žvikart, M., 2022. Podzemni ekosistemi. V: Šumrada, T., Rac, I., Udovč, A., Čelik, T. (ur.). *Varstvo okolja in biotske pestrosti v kmetijski krajini: Kmetijsko-okoljska politika v Sloveniji*. Ljubljana: ZRC SAZU. V tisku.
- Lunghi, E. in Bilandžija, H., 2022. Longevity in Cave Animals. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2022, 10, 1–7.
- Mammola, S., Cardoso, P., Culver, D. C., Deharveng, L., Ferreira, R. L., Fišer, C., Galassi, D. M. P., Griebler, C., Halse, S., Humphreys, W. F., Isaia, M., Malard, F., Martinez, A., Moldovan, O. T., Niemiller, M. L., Pavlek, M., Reboleira, A. S. P. S., Souza-Silva, M., Teeling, E. C., Wynne, J. in Zgamažster, M., 2019. Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. *BioScience*, 2019, 69, 641–650.



21. Mermillod-Blondin, F., Lefour, C., Lalouette, L., Renault, D., Malard, F., Simon, L. in Douady, C. J., 2013. Thermal tolerance breadths among groundwater crustaceans living in a thermally constant environment. *The Journal of Experimental Biology*, 2013, 216, 1683–1694.
22. Poff, N. L. in Zimmerman, J. K. H., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 2010, 55, 194–205.
23. Premate, E., Borko, Š., Delić, T., Malard, F., Simon, L. in Fišer, C., 2021. Cave amphipods reveal co-variation between morphology and trophic niche in a low-productivity environment. *Freshwater Biology*, 2021, 66: 1876–1888.
24. Schmidt, S. I., Schwientek, M. in Cuthbert, M. O., 2017. Towards an integrated understanding of how micro scale processes shape groundwater ecosystem functions. *Science of the Total Environment*, 2017, 592, 215–227.
25. Sket, B., 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity and Conservation* 1999, 8, 1319–1338.
26. Stoch, F. in Galassi, D. M. P., 2010. Stygobiotic crustacean species richness: A question of numbers, a matter of scale. *Hydrobiologia* 2010, 653, 217–234.
27. Trontelj, P., Blejcek, A. in Fišer, C., 2012. Ecomorphological Convergence of Cave Communities. *Evolution*, 2012, 66, 3852–3865.
28. Trontelj, P., Zakšek, V., Skrbinšek, T., Gabrovšek, F. in Kostanjšek, R., 2017. Znanstveni temelji za varstvo človeške ribice (*Proteus anguinus*): metodologija monitoringa, ocena izhodiščnega stanja ter identifikacija varstveno pomembnih enot. Zaključno poročilo projekta.
29. Zagmajster, M. in Delić, T., 2021. Discovery of subterranean amphipod (Schiødte, 1847) (Amphipoda: Niphargidae) in a cave drip pool with increased salinity. *Natura Sloveniae*, 21, 57–59.
30. Zagmajster, M., Borko, Š., Delić, T., Douady, C. J., Eme, D., Malard, F., Trontelj, P. in Fišer, C., 2022. Availability of DNA barcodes in subterranean amphipods of Europe. V: Malard F., Deharveng, L. (ur.). 18th International Congress of Speleology – Symposium 07 – Biology, Subterranean Life. *Karstologia Mémoires, Savoie Mont Blanc*. 163–166.
31. Zakšek, V. in Fišer, C., 2021. Vključevanje biotske komponente v priporočila glede kvalitete podzemne vode za spremljanje izbranih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode. Interno poročilo.