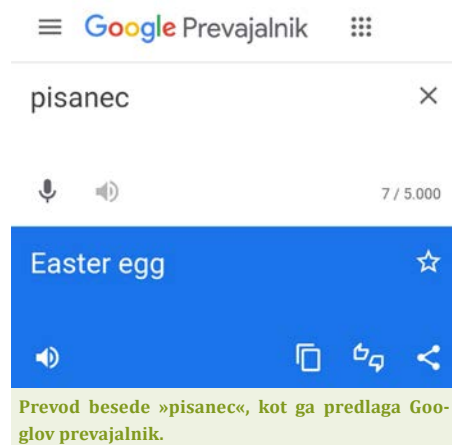


ki pokažejo stopnjo sorodnosti med različnimi/sosednjimi populacijami. Tako se je pokazalo, da so posamezne vrste pisanec vzdolž Dinarskega krasa večkrat »prestopile« hidrološko mejo med jadranskim in črnomoškim povodjem. Podrobna primerjava genetskih in hidroloških podatkov v Sloveniji nakazuje, da pisaneci uporabljajo podzemne vodne povezave ter da se populacije iz na videz ločenih, nadzemnih vodotokov preko njih mešajo. Najbolj viden je ta proces pri pisanecih iz Vipave in Pivke, pa tudi Cerkniškega jezera, Malega Obrha, Rakovega Škocjana, ki si vsaj delno

delijo genetski vzorec oziroma tvorijo eno povezano populacijo. Trenutne raziskave so sicer potekale na omejenem številu genetskih znakov. V nadaljevanju bo študija razširjena na številne, ki bodo omogočili natančnejše ovrednotenje sorodnosti populacij, poskušala pa bo tudi določiti, kdaj je prišlo do razcepa med seboj ločenih populacij. Poleg tega bomo raziskovalci poskušali določiti, v kolikšni meri so vnosi rib na območju Slovenije vplivali na razširjenost posameznih genetskih podlinij pisanca, ter ovrednotiti stopnjo njihove ogroženosti. 🌿



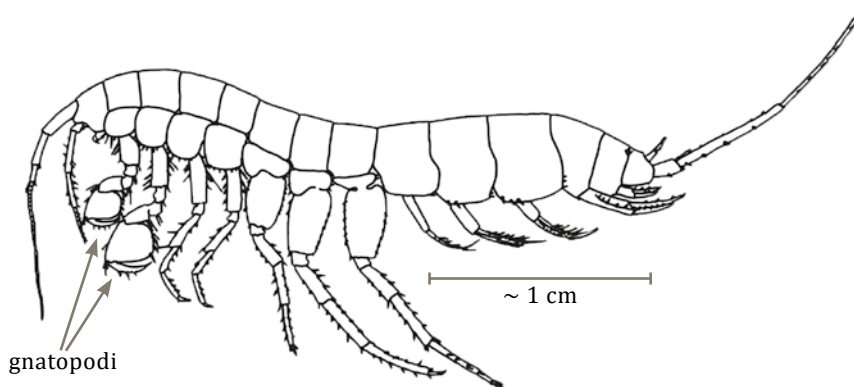
# Prvi vpogled v prehranjevalne spletke dinarskega podzemlja

Besedilo: Ester Premate

Podzemne ekosisteme najbolj zaznamujeta stalna tema in s tem povezano pomanjkanje hrane. Ker rastlin v podzemlju ni, so podzemne živali večinoma odvisne od dotoka hrane s površja. To je eden od glavnih razlogov, da podzemlje označujemo za ekstremno okolje – okolje, kjer je hrane malo in kjer naj bi bile prehranske verige izjemno okrnjene. Pa je temu res tako?

Viri hrane v podzemlju so v primerjavi s površinskimi ekosistemi skromni in nepredvidljivi. Hrano v podzemlje prinašajo pretežno reke ponikalnice, prenikla voda, veter in živali, ki migrirajo med podzemljem in površjem, kot so na primer netopirji. V brezni pomemben del organskih snovi predstavlja odmrta rastlinska biomasa, ki vanje preprosto pade. Podzemne živali so na takšno okolje dobro prilagojene: so odporne na stradanje in lahko preživijo dolga obdobja brez hrane. Hkrati naj bi bile prehranski generalisti, torej ne ravno izbirčne pri načinu prehranjevanja in izbiri virov hrane.

Zaradi omenjenih značilnosti podzemnih ekosistemov je dolgo veljalo, da so prehranjevalne verige kratke in sestavljene iz zgolj treh členov: detrita oziroma odmrle organske biomase kot osnovnega člana ter dveh členov porabnikov – razkrojevalcev (detritivorov) in njihovih plenilcev. Ta teoretična predvidevanja so bila podprta z le redkimi opazovanji živali v naravi ali laboratoriju. Preučevanje vedenja, prehranjevanja in odnosov med podzemni-



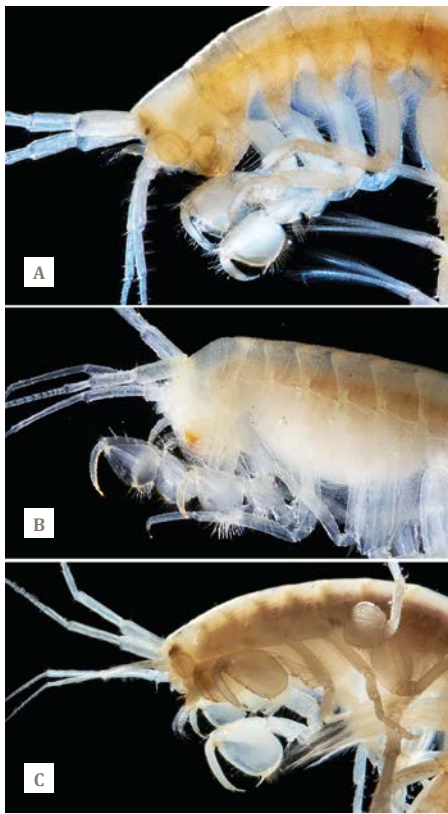
Slika 1: Skica slepe postrance (*N. stygius*) z označenimi sprednjimi okončinami na trupu – gnatopodi, s katerimi prijema delce hrane. (prirejeno po Trontelj in sod. (2012))

mi živalmi je namreč izjemno zahtevno, saj nam je njihov habitat pretežno nedostopen. Opazujemo jih lahko ob časovno omejenih obiskih jam, v laboratorijih pa težko poustvarimo njihovo naravno okolje in jih težko gojimo.

Danes se preučevanja prehranjevalnih verig in spletov lotimo na drugačen način. Raziskovalci se tako pogosto poslužujejo analize vsebine prebavil z uporabo metabarkodiranja DNK ali pa za določanje prehranjevalne oziroma trofične niše uporabljajo analizo stabilnih izotopov. Prav zadnja je na področju podzemne biologije prispevala k zelo zanimivim odkritjem. Omeniti velja odkritje kemoavtotrofije v jamah in s tem povezanih prehranjevalnih verig, kjer osnovo predstavljajo primarni kemoavtotrofni proizvajalci in ne odmrta organska biomasa. Takih sistemov poznamo na svetu zgolj peščico. Poleg tega so stabilni izotopi razkrili obstoj dolgih pod-

zemnih prehranjevalnih verig, primerljivih s površinskimi, in podzemnih vrst, ki so specializirane za določene vire hrane. Čeprav je teh združb po svetu razmeroma malo, so nekatera dolgo sprejeta predvidevanja o podzemnih združbah postavila na glavo.

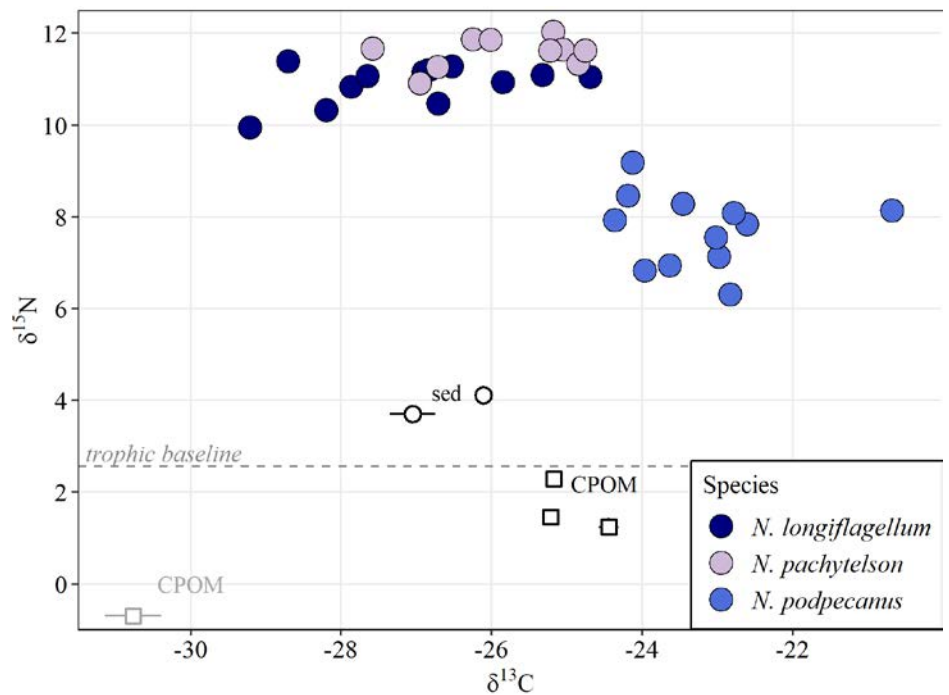
Študij, ki bi se na podoben način lotile preučevanja podzemnih združb na območju Dinaridov, do sedaj ni bilo. Dinaridi so po številu podzemnih vrst med najbolj pestrimi na svetu in imajo zagotovo najdaljšo zgodovino raziskovanja. V podzemlju Dinaridov bi, zaradi pestrosti habitatov in njihovih prebivalcev, lahko pričakovali tudi pestre prehranjevalne verige. Poleg tega v istih podzemnih združbah Dinaridov nemalokrat sobiva več ozko sorodnih vrst. Na podlagi teorije o ekoloških nišah smemo pričakovati, da se sobivajoče vrste med seboj razlikujejo vsaj v eni dimenziji ekološke niše, na primer v tem, v kakšnem



Slika 2: Različne vrste slepih postranic (rod *Niphargus*) z različnimi oblikami in velikostjo gnatopodov (primerjava glede na velikost glave). A: *N. dalmatinus*, vrsta z manjšimi gnatopodi, z ocenjenim trofičnim nivojem 2 (detritivor). B: *N. subtypicus*, vrsta z večjimi gnatopodi, za katero je bil ocenjen trofični nivo med 2 in 3 (detritivor/plenilec). C: *N. pachytelson*, vrsta z večjimi gnatopodi, za katero je bil ocenjen najvišji trofični nivo znotraj naše študije, 3,5 (plenilec/plenilec 2. reda). Fotografije niso v enakem merilu; približna dolžina prikazanega dela telesa je pri A 5 mm, pri B 7 mm in pri C 11 mm. (foto: Teo Delić)

habitatu živijo ali kakšne vire hrane izrabljajo. Ali lahko podzemne vrste, ki so sorodne in živijo v enakih habitatih, delijo ekološke niše tako, da uporabljajo različne vire hrane oziroma zasedajo različne trofične niše, čeprav so viri hrane izredno omejeni?

Takšno vprašanje smo za območje Dinaridov prvič naslovili v sklopu magistrskega dela – naslov: *Trophic differentiation and functional morphology of Niphargus (Amphipoda: Niphargus)* – in študije, ki je bila plod sodelovanja dveh raziskovalnih skupin, ki se ukvarjata s podzemnimi habitatami in živalmi: Skupine za speleobiologijo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani in Skupine za ekologijo in evolucijo v podzemnih ekosistemih na Univerzi Claude Bernard Lyon 1 v Franciji. Za modelni sistem smo uporabili slepe postranice (rod *Niphargus*), ki so izjemno pestra skupina podzemnih rakov, tako z vidika števila vrst kot tudi z vidika njihovih morfoloških in ekoloških značilnosti, in naseljujejo različne podzemne habitate. Pogosto skupaj sobiva več različnih vrst. V naših jamah neredko skupaj najdemo vsaj dve



Slika 3: Primer rezultatov analize razmerij stabilnih izotopov ogljika in dušika, s katerimi lahko vizualno prikazemo trofične niše vrst. Višja vrednost pomeni več težjega izotopa ogljika (*po x osi*) ali dušika (*po y osi*). Prikazana so razmerja pri treh vrstah slepih postranic (rod *Niphargus*) (»species«), ki se sopojavljajo v Podpeški jami. V spodnjem delu grafa so s črnimi simboli označeni različni viri hrane (»sed« = sedimenti in »CPOM« = groba organska snov), s sivo pa tisti, ki ga glede na razmerje stabilnih izotopov ogljika živali najverjetneje ne izrabljajo, saj se od njih preveč razlikuje. Trofična osnovnica (»trophic baseline«) predstavlja povprečno vrednost razmerja stabilnih izotopov dušika pri virih hrane. Na podlagi »oddaljenosti« posameznih osebkov (*obarvane pike*) od virov hrane *po y osi* lahko zaradi obogatitve s težjim izotopom dušika izračunamo trofični nivo vrst. *Niphargus podpecanus* se prehranjuje na nižjem trofičnem nivoju in z drugimi viri hrane kot preostali dve vrsti. Slednji sta pretežno plenilski in zasedata podoben trofični nivo, a se nekoliko razlikujeta po razmerju stabilnih izotopov ogljika, kar nakazuje na to, da izrabljata različne vire hrane (*N. longiflagellum* širši spekter virov kot *N. pachytelson*).

ali tri vrste, največje število sobivajočih vrst pa je po trenutnih podatkih kar devet. Zaradi svoje pestrosti ter razlik v ekologiji in morfologiji predstavljajo primerno skupino za raziskovanje različnih ekoloških in evlucijskih procesov. Poleg prej omenjene delitve trofičnih niš smo se lotili še nekoliko bolj poglobljenih vprašanj. Zanimalo nas je, ali se vrste, ki se potencialno razlikujejo v trofičnih nišah, razlikujejo tudi v morfoloških lastnostih, katere lastnosti to so in ali jih lahko v prihodnosti uporabimo za napoved položaja vrste v prehranjevalni verigi brez zahtevnih in dragih laboratorijskih analiz.

Izbrali smo pet jam, v katerih najdemo dve ali tri vrste slepih postranic. Ob obiskih jam smo skušali nabrati dovolj odraslih osebkov, hkrati pa smo nabrali tudi različne tipe organske snovi – vsega, kar bi lahko predstavljalo vir hrane v vodnem okolju in je bilo prisotno v času našega vzorčenja, na primer sediment, odmrl rastlinski material, netopirsko gvano. Živalim smo izmerili telesno dolžino ter več znakov na sprednjih dveh parih okončin na trupu (gnatopodih, *sl. 1*), ki jih uporabljajo za prijemanje hrane. Različne vrste imajo gnatopode različnih oblik in velikosti (*sl. 2*), zaradi česar smo predvidevali, da bi lahko odražali način prehranjevanja in izbiro hrane. Zatem smo analizirali raz-

merja stabilnih izotopov dušika in ogljika pri živalih in virih hrane. Razmerji izotopov obeh elementov nosita informacije o tem, katere vire hrane živali uporabljajo in na kakšen način se prehranjujejo. S temi podatki lahko tudi ocenimo, v kolikšni meri se trofične niše vrst prekrivajo (*sl. 3*).

Ugotovili smo, da se sobivajoče vrste slepih postranic razlikujejo v trofičnih nišah v vseh petih združbah. Razlikovale so se v izrabi različnih virov hrane, v trofičnem nivoju ali v obojem, kar je potrdilo naša predvidevanja. Hkrati smo tudi pokazali, da je velikost gnatopodov povezana s trofičnim nivojem. Vrste z manjšimi gnatopodi se prehranjujejo pretežno kot razkrojevalci, vrste z večjimi gnatopodi pa pretežno kot plenilci ali celo plenilci drugega reda.

Čeprav smo se v študiji osredotočili na slepe postranice, smo posredno dobili zanimiv in pomemben uvid v prehranjevalne verige dinarskega podzemlja, ki se ga sprva niti nismo nadejali. Razmerja stabilnih izotopov dušika so pokazala, da se različne vrste slepih postranic prehranjujejo na kar treh različnih trofičnih nivojih – so razkrojevalci, plenilci in plenilci drugega reda. Ker združbe v podzemnih vodah Dinaridov sestavlja še mnogo

V študijah prehranjevalnih spletov se sicer poleg izotopov dušika in ogljika uporablja tudi izotope žvepla, kisika in vodika, a sta prva dva elementa daleč najpogostejša. Razlog za to je, da sta razmerji izotopov dušika in ogljika že sami po sebi zelo informativni, hkrati sta to elementa, ki sta v zadostni količini prisotna že pri zelo majhni masi tkiva in imata takšne kemijske lastnosti, da je analiza v primerjavi z drugimi enostavnejša. Razmerje izotopov ogljika nam pove, kakšne vire hrane živali izrabljajo, saj imajo živali zelo podoben »odtis« kot njihovi viri hrane; razmerje med lažjim in težjim izotopom ogljika je pri živalih in njihovi hrani skoraj enako. Drugače je pri razmerju stabilnih izotopov dušika, kjer pri prehodu med trofičnimi nivoji pride do obogatitve s težjim izotopom. Plenilci imajo tako več težjega izotopa dušika kot razkrojevalci. Stopnja obogatitve se sicer nekoliko razlikuje med živalskimi skupinami in glede na tkiva, ki jih analiziramo, a v splošnem velja, da je dokaj konstantna med posameznimi trofičnimi nivoji in lahko, kadar nimamo dovolj drugih podatkov, uporabljamo splošno široko uporabljano vrednost. Na podlagi razlike med osnovnimi viri hrane in živalmi lahko tako ocenimo trofični nivo in ugotovimo, ali se prehranjujejo kot razkrojevalci, plenilci ali celo kot plenilci drugega reda.

drugih vrst, lahko zaključimo, da so slepe postranice le del očitno zelo pestrih prehranjevalnih spletov. V mnogih jamah, kjer najdemo vrste slepih postranic, ki se prehranjujejo kot plenilci drugega reda, je prisoten tudi proteus, največji plenilec v podzemnih vodah Dinaridov. Ta potencialno doda še en trofični nivo, kar podaljša dolžino prehranjevalne verige na štiri člene – takšna prehranjevalna veriga pa je že povsem primerljiva s površinskimi ekosistemi.

Glede na obstoječo literaturo prehranjevalne verige v podzemnih vodah po svetu dosegajo dolžino do dveh ali treh trofičnih nivojev, pri čemer so daljše verige povezane s prisotnostjo primarnih proizva-

jalcev, kemoavtotrofov. Z rezultati naše študije lahko podzemne vode Dinaridov postavimo ob bok Edwardsovemu vodonosniku v Teksasu v ZDA, ki je zaenkrat edini sistem, v katerem so potrdili obstoj prehranjevalne verige s štirimi členi porabnikov.

Nedostopnost ekosistemov, zahtevnost vzorčenja in zahtevne ter dolgotrajne analize nedvomno doprinesejo k temu, da so tovrstne študije tako redke. Ravno zato je vsak prispevek o podzemnih prehranjevalnih verigah, pa čeprav predstavlja le majhen vpogled vanje, izjemno pomemben. Prehranjevalni spleti namreč zagotavljajo kroženje energije in hranil v ekosistemih. Če želimo dolgoročno ohranjati zdrava, neoporečna vodna okolja,

moramo poznati tudi člene prehranjevalnih verig in kroženje snovi v podzemlju, saj so ti neposredno povezani s površjem. Vemo, da lahko izginotje posameznih členov v prehranjevalnih spleteh povzroči nepopravljivo porušenje ravnovesja ter kopičenje organskih snovi, kar lahko vodi v onesnaženja in organske obremenitve tako podzemnih kot površinskih voda. Čeprav so očem skriti in jih večina ljudi nikoli ne sreča, imajo podzemni organizmi nezamenljivo vlogo v kroženju snovi v vodnih ekosistemih. Kakšno točno in kakšne trofične niše zasedajo druge vrste dinarskih podzemnih vodnih nevretenčarjev, pa ostajajo vprašanja za prihodnost. ✨

## Kako dobro vidijo delfini

Besedilo: Nik Lupše Foto: Društvo Morigenos

**Velika pliskavka je edina vrsta delfinov, ki jo redno srečujemo v slovenskem morju. Poleg njenega »nasmeha« – ki ni stvar čustvenega stanja, temveč zgolj hidrodinamike – je predvsem oko tisti del živali, ki ga ob pregledovanju fotografij glave najhitreje opazimo, pa čeprav ni nujno predmet našega proučevanja. Kako pa kiti in delfini pravzaprav vidijo?**

### KAKŠEN JE TIPIČEN VREtenčarski VID?

Vid temelji na zaznavanju ozkega dela elektromagnetnega spektra med približno 350 in 700 nanometri valovne dolžine in je primarno čutilo velike večine vretenčarskih vrst. Vidna informacija je pomembna za orientacijo v prostoru, za iskanje hrane, zavetja in potencialnih partnerjev, pa tudi za zaznavanje in izogibanje plenilcem. Ekološke potrebe organizmov, njihovi vedenjski vzorci, fiziološke potrebe ter njihova evolucijska



Oko, ki veliki pliskavki omogoča dober vid tako pod kot tudi nad gladino morja.

preteklost so privedli do ogromne raznolikosti tega čutila. Slednja je lahko očitna (velikost očesa, oblika leče in zenice) ali

pa se odraža na mikroskopskem, tudi molekularnem nivoju in temelji na izražanju različnih genov.