

Bioraznolikost puževa stražnjoškržnjaka (Heterobranchia) u infralitoralu južne Istre

Matulja, Iris

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:585389>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Pula, rujan, 2024.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Sveučilišni prijeediplomski studij Znanost o moru

IRIS MATULJA

**BIORAZNOLIKOST PUŽEVA STRAŽNJOŠKRŽNJAKA (HETEROBRANCHIA) U
INFRALITORALU JUŽNE ISTRE**

Završni rad

Pula, rujan, 2024.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Sveučilišni prijediplomski studij Znanost o moru

IRIS MATULJA

**BIORAZNOLIKOST PUŽEVA STRAŽNJOŠKRŽNJAKA (HETEROBRANCHIA) U
INFRAKOTALU JUŽNE ISTRE**
Završni rad

JMBAG: 0303102294, redovna studentica Studijski smjer: Znanost o moru

Predmet: Principi i sustavi zaštite mora i priobalja

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Paolo Paliaga

Komentor: Dr. sc. Neven Iveša

ZAHVALE

Ovim putem se zahvaljujem mentoru, izv. prof. dr. sc. Paolu Paliagi, na stručnosti, pristupačnosti i predanosti u ispravcima, ali i velikoj podršci i motivaciji, pogotovo u zadnjim fazama pisanja rada.

Zahvaljujem se komentoru dr. sc. Nevenu Iveši na pomoći pri planiranju terenskog dijela istraživanja, identifikaciji vrsta, vječnoj susretljivosti i vjeri.

Zahvaljujem se kolegi Adrianu Brajkoviću na posuđenoj opremi, strpljenju i pomoći na terenu.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Petri Burić na savjetima, vođenju i pozitivnom stavu.

Zahvaljujem se Anti Žunecu, mag. oecol. et prot. nat. na pomoći pri identifikaciji jedinki i malom tečaju fotografiranja sitnih morskih organizama.

Iskreno zahvaljujem svojim kolegama i obitelji na pruženoj podršci i neizmjernom osloncu.

Ovim putem se također zahvaljujem Fakultetu prirodnih znanosti na povjerenju s opremom i mogućnosti korištenja labosa kad god bih se pojavila s pužem u staklenci.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1 Heterobranchia	1
1.2.1 Podjela Heterobranchia	4
1.3 Nudibranchia.....	6
1.3.1 Podjela Nudibranchia	6
1.3.1 Probavna žlijezda	10
1.3.2 Kleptknidija.....	12
1.4 Sacoglossa	13
1.4.1 Prehrana predstavnika nadreda Sacoglossa.....	14
1.4.1 Kleptoplastija.....	15
1.5 Aplysiida	16
1.6. Bioraznolikost	17
1.6.1 Kvantifikacija bioraznolikosti	18
2. Cilj istraživanja	19
3. Materijali i metode	20
3.1 Lokacije i period uzorkovanja	20
3.2 Karakterizacija staništa	22
3.3 Bilježenje jedinki i identifikacija	22
3.4. Obrada rezultata	23
4. Rezultati	26
4.1 Valbandon	26
4.1.1 Mrijest i jajašca.....	29
4.2 Mali Portić.....	30

4.3 Shannonov indeks i gustoća	33
4.4 Analiza sličnosti	35
5. Rasprava	37
5.1 Pregled pronađenih vrsta	37
6. Zaključak	42
7. Popis literature	43
8. Popis slika	51
9. Popis tablica	53

1. Uvod

Obalni ekosustavi se transformiraju kao posljedica sve većeg pritiska urbane, ekonomske i turističke infrastrukture. Razne antropogene strukture u priobalju poput lukobrana, molova i nasipa, postale su sveprisutne značajke mediolitoralnih i plitkih infralitoralnih staništa (Bulleri i Chapman, 2010). Antropogene podloge podržavaju različite epibionte i povezane skupine, ali imaju karakteristike koje se suštinski razlikuju od prirodnih stjenovitih staništa, što može uzrokovati fragmentaciju i gubitak prirodnih staništa (Bulleri i Chapman, 2010; Marzinelli i sur., 2012). Stope izumiranja vrsta eskalirale su diljem svijeta (Pimm i sur., 2014). Zbog toga, važno je razumjeti kako složena pitanja poput klimatskih pokretača, modifikacije staništa te iscrpljivanja ili istrebljenja autohtonih populacija mogu ugroziti biološku raznolikost. Nadalje, razumijevanje sinergističkog učinka djelovanja spomenutih pitanja ključno je za učinkovito očuvanje biološke raznolikosti i upravljanje ekosustavima (Santon i sur., 2021). Mekušci, uključujući morske puževe podrazreda Heterobranchia (ranije poznati kao HETEROBRANCHIA), često se pojavljuju u istraživanjima bioraznolikosti morskih ekosustava te imaju potencijal kao indikatori u preliminarnim fazama procjene bioraznolikosti. Zbog njihove specijalizirane prehrane koja obuhvaća razne taksonomske skupine, raznolikost morskih puževa može ukazivati na širinu izvora hrane, što ih čini dobrim pokazateljima bioraznolikosti (Larkin i sur., 2018). S procjenama od više od 6000 vrsta diljem svijeta i rasprostranjenosti koja uključuje većinu morskih staništa, morski puževi podrazreda Heterobranchia čine važnu komponentu morskih zajednica. Unatoč tome, u usporedbi s drugim specifičnim skupinama morskih svojiti, broj istraživanja o njihovoj ekologiji oskudno je (Smith i Nimbs, 2017), posebice na području Jadrana. Zbog toga, ovim se istraživanjem žele djelom proširiti dosadašnje spoznaje ovih fascinatnih, ali često zanemarenih morskih organizama.

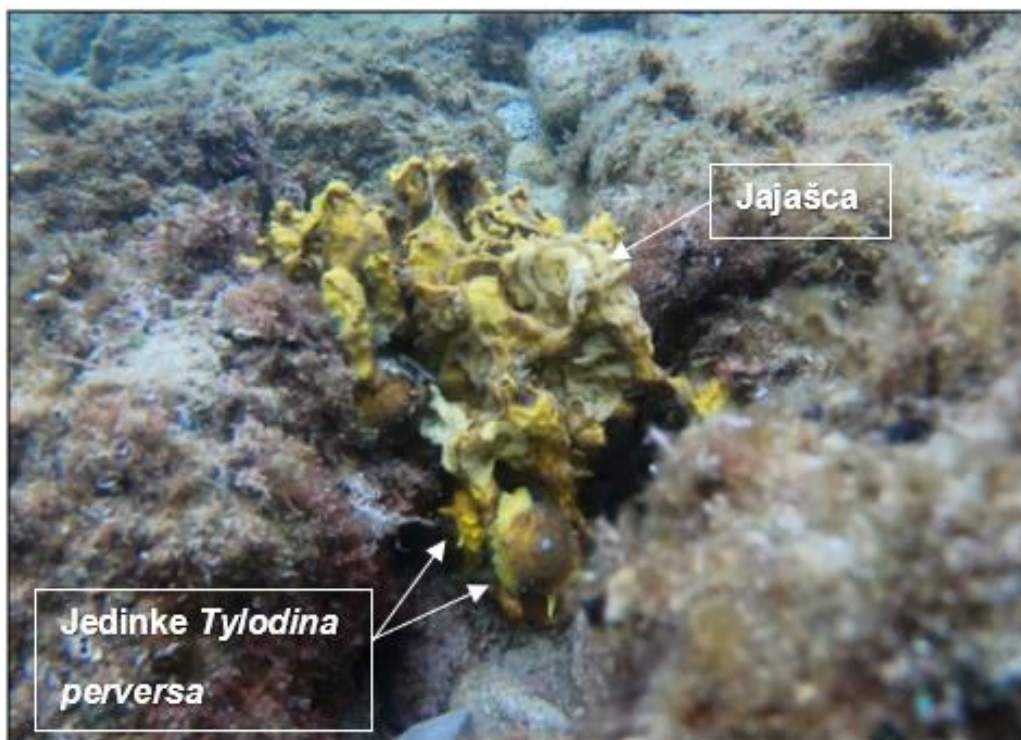
1.1 Heterobranchia

Povijest taksonomske podjele onoga što danas nazivamo skupinom Heterobranchia i argumentiranje potrebe za napuštanjem zastarjele sistematike opisuju Schödl i sur. 2011. godine. U prvoj taksonomskoj sistematizaciji, Milne Edwards (1848) podijelio je puževe

na tri skupine: Prosobranchia, Pulmonata i Opisthobranchia. Prednoškržnjaci (Prosobranchia), obuhvaćali su operkulirane puževe koji se nalaze u morskom bentosu, iako su oblici evoluirali u slatkovodne, kopnene i pelagijske okoliše (Webber i sur., 1977). Skupina stražnjoškržnjaka (Opisthobranchia) veže se s morskim puževima ili puževima, s manje ili više reduciranom ili internaliziranom ljušturicom, s gotovo bilateralno simetričnim tijelom i štitom za glavu ili ticalima, dok se plućnjaci (Pulmonata) povezuju s limničkim i kopnenim staništima. Tijekom posljednjih desetljeća, koncepti pojma "Opisthobranchia" dovedeni su u pitanje morfološkim i, u novije vrijeme, molekularnim studijama. Skupina Opisthobranchia smatra se zastarjelim pojmom (Schödl i sur., 2011), a tradicionalna klasifikacija puževa zamijenjena je podjelom u sedam podrazreda: Patellogastropoda, Neomphalina, Cocculiniformia, Vetigastropoda, Neritimorpha, Caenogastropoda i Heterobranchia (Prkić i sur., 2018).

Heterobranchia je podrazred puževa koji uključuje skupine stražnjoškržnjaka i plućnjaka. Stražnjoškržnjaci naziv vuku iz stupnja torzije koji se dešava u njihovom ranom razvoju (Prkić i sur., 2018). Torzija je proces karakterističan za skupinu gastropoda gdje se unutarnji organi veliger ličinke zakreće za 180°, dovodeći posteriorni dio tijela u anteriorni položaj iza glave (Solem, 2024). Kao posljedica te rotacije, plaštena šupljina prvotno smještena na stražnjem kraju pomiče se prema naprijed, zajedno sa škragama, anusom, genitalnim i ekskretornim organima. Puževi su tijekom evolucije doživjeli različite stupnjeve torzije pa im je time i raspored unutarnjih organa postao različit. Kod stražnjoškržnjaka dogodio se određeni stupanj detorzije pa im je škrga došla u položaj iza srca (Prkić i sur., 2018). Svi stražnjoškržnjaci, osim nekoliko vrsta iz reda Acochliidae, žive u moru. Mogu se naći od zone mediolitorala pa do najvećih oceanskih dubina, nastanjujući i ekstremna staništa poput hidrotermalnih izvora (Valdés i Bouchet, 1998; Prkić i sur. 2018). Rasprostranjeni su u svim svjetskim morima. Najveća bioraznolikost je prisutna u toplim morima i tropskom pojasu, te na dubinama 0-50 m. Smatraju se jednom od najšarenijih i najljepših skupina morskih organizama (Prkić i sur., 2018). Ova skupina često nema vanjsku zaštitnu kućicu ili je reducirana. Obrambene strategije koje nadoknađuju ovaj nedostatak temelje se na postizanju savršene kamuflaže u okolini kriptičnom obojenosti; korištenje kemijske obrane (endogene i/ili dobivene iz prehrane), obično pojačane aposematičkim obojenjem koje upozorava predatore na

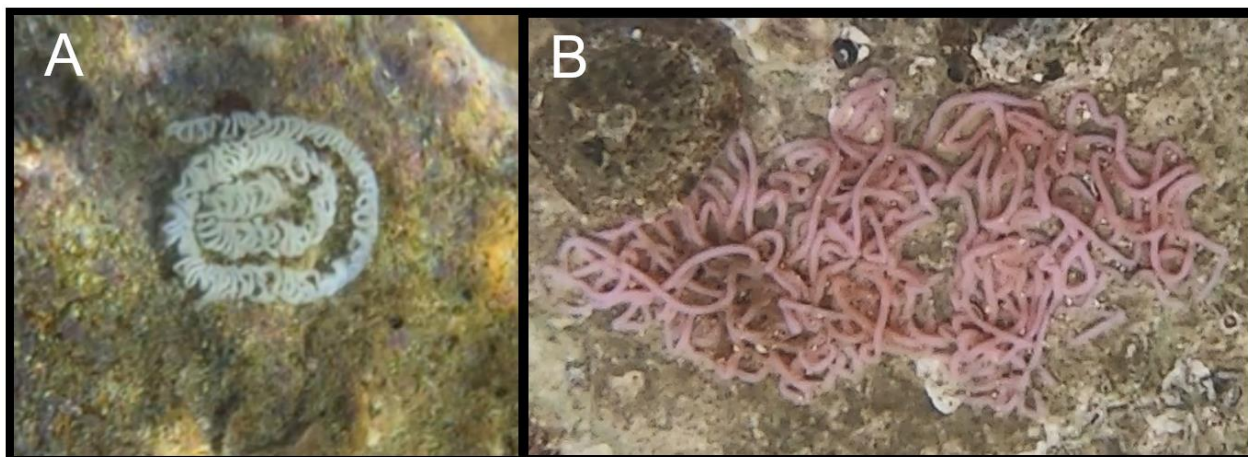
toksičnost plijena; ili korištenje Batesove mimikrije, gdje se oponašaju morfologija i uzorci boja toksičnih vrsta (Betti i sur., 2021). Primjer kriptičke obojenosti, ali i visoke specijalizacije plijenu, je rod *Tylodina*. Pripadnici ovog roda hrane se isključivo spužvama iz porodice Aplysinellidae, na čijoj su površini savršeno sakriveni (Slika 1) (Becerro i sur., 2003; Lombardo i Marletta, 2022). Broj vrsta prisutnih u Mediteranu procjenjuje se na oko 550, a u Jadranu su popisane 223 vrste, od kojih je 163 zabilježeno na području Hrvatske (Prkić i sur. 2018).



Slika 1. Jedinke vrsta *Tylodina perversa* (Gmelin, 1791) i njihova jajašca na spužvi vrste *Aplysina aerophoba* (Nardo, 1833). Autor slike: Iris Matulja.

Skoro svi stražnjoškržnjaci su dvospolci (hermafroditi), razdvojene spolove imaju samo neke vrste iz reda Acochlidacea. Većina se pari u parovima, pri čemu svaki partner izmjenjuje spermu prigodom kopulacije. Neke vrste prigodom parenja formiraju lance s tri i više jedinki koje međusobno istovremeno kopuliraju. Nakon parenja svaka jedinka polaže jaja u želatinozne vrpce različitih veličina i oblika (Slika 2). Broj jaja u jednoj jajnoj vrpici varira od vrste do vrste, ali ovisi i o veličini jedinke, jer kod mnogih vrsta spolna zrelost nastaje već u ranijim stadijima rasta. Jaja variraju i u veličini, a o tome ovisi i tip

larvalnog razvoja koji može biti planktotrofni, lecitotrofni ili direktni (Vendetti i sur., 2012; Prkić i sur., 2018). Značajna morfološka karakteristika skupine su dva para ticala koja se nalaze na glavi (jedan par kemoreceptorskih rinofora i jedan par oralnih ticala), na čijoj se bazi nalaze nisko razvijene oči (Williams i Walker, 1999). Detaljniji opis anatomije iznijet će se u daljnjim poglavljima.



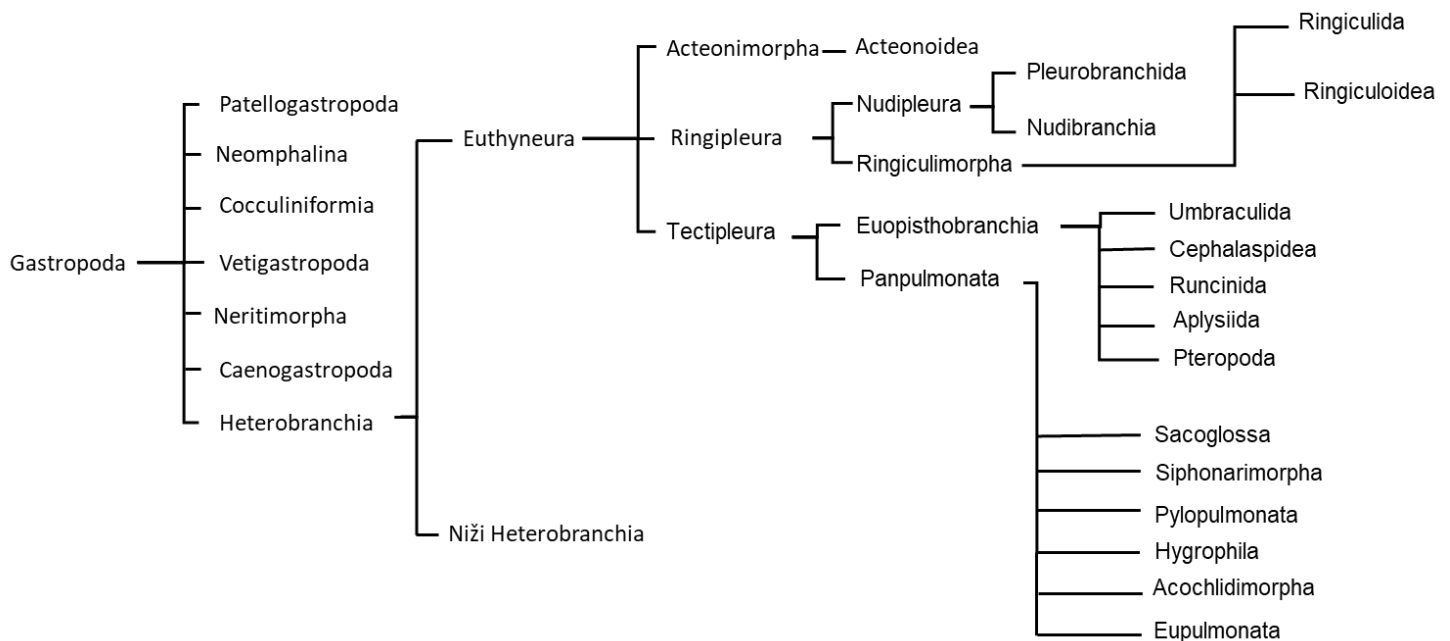
Slika 2. Vrpce jajašaca vrste **A:** *Spurilla neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) i **B:** *Aplysia punctata* (Cuvier, 1803). Autor slike: Iris Matulja.

1.2.1 Podjela Heterobranchia

Heterobranchia je raznolika skupina morskih, slatkovodnih i kopnenih puževa. Gotovo svaka skupina unutar Heterobranchia bila je predmet značajne i stalne taksonomske revizije (Varney i sur., 2021). Moles i Giribet (2021) razvijaju i predstavljaju sveobuhvatan genomski alat koji se može koristiti za proučavanje evolucijske biologije i filogenetike puževa. Predstavljaju postojeću problematiku i kontroverziju oko dosadašnje taksonomske podjele podrazreda Heterobranchia. Na primjer, neizvjestan sustavni raspored nekih nejasnih loza „nižih Heterobranchia“, kao što su Acteonoidea, Rissoelloidea ili Rhodopemorpha čeka rješenje. Autori Bouchet i sur. (2017) su u svojoj reviziji prihvatili novi infrarazred Euthyneura, kojeg su podijelili u 3 glavne podskupine ranga kohorta (engl. *cohort*): Acteonimorpha, Ringipleura i Tectipleura.

Unutar taksona Acteonimorpha smještena je natporodica Acteonoidea i sitni puževi iz natporodice Rissoelloidea. Novouvedeni takson Ringipleura je podijeljen na dvije podskupine: Ringiculimorpha i Nudipleura. Ringiculimorpha sadrži jedan red Ringiculida

i jednu natporodicu Ringiculoidea. Nudipleura sadrži dva reda: puževe s bočnim škragama (Pleurobranchida) i šarene morske puževe (Nudibranchia). Unutar reda Pleurobranchida smještena je natporodica Pleurobrancoidea, a red Nudibranchia sadrži brojne natporodice grupirane u dva podreda: Doridina i Cladobranchia. Unutar treće skupine (Tectipleura) smještene su zajedno neke grupe tradicionalnih stražnjoškržnjaka i svi plućnjaci. Ta skupina je podijeljena na dvije podgrupe: Euopisthobranchia i Panpulmonata. U prvu od tih podgrupa smješteni su redovi: Umbraculida (lažni priljepci), Cephalaspidea (mjehurasti puževi), Runcinida, Aplysiida (morski zekani) i Pteropoda (morski anđeli). Najveće taksonomske izmjene se nalaze u skupini Panpulmonata koja uključuje sve plućnjake i dio stražnjoškržnjaka, a podijeljena je na nekoliko nadredova: Sacoglossa, Siphonarimorpha, Pylopulmonata, Acochlidimorpha, Hygrophila i Eupulmonata (Kano i sur., 2016; Bouchet i sur., 2017; Prkić i sur., 2018). Na Slici 3. grafički je prikazana recentna filogenetička podjela Gastropoda po uzoru na Bouchet u sur. (2017).



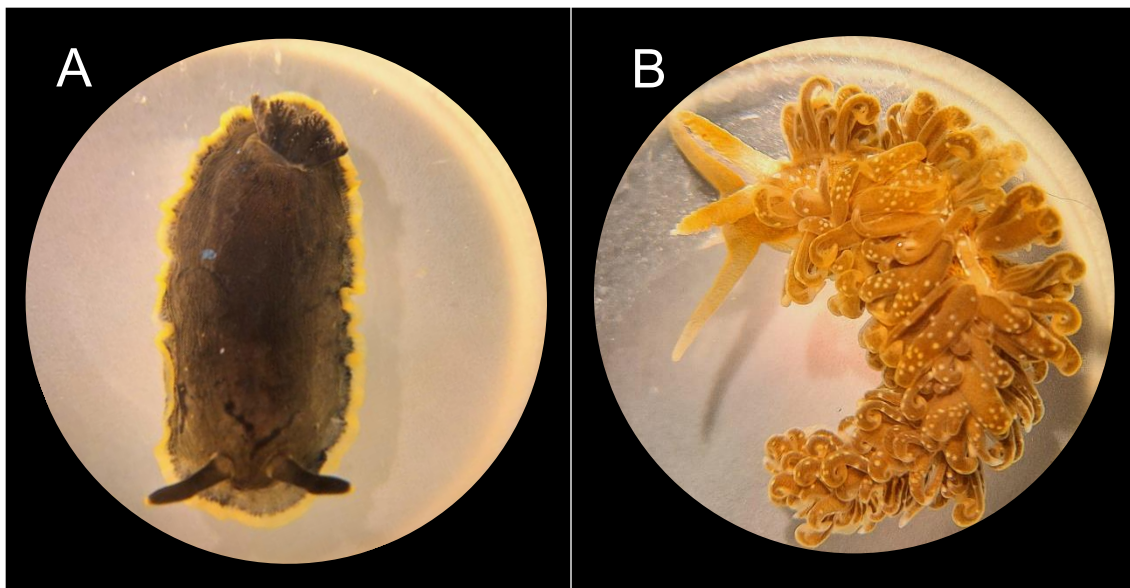
Slika 3. Shema recentne filogenetičke podjele Gastropoda. Izvor: osobna arhiva

1.3 Nudibranchia

Nudibranchia (gološkržnjaci) je red morskih mekušaca bez ljuštore, koji pripadaju podrazredu Heterobranchia. Imaju veliku raznolikost vrsta i široku rasprostranjenost. Morfološka obilježja koja karakteriziraju gološkržnjake su bilateralna simetrija, glava kao distinktno različita cjelina od plašta, parna okusna oralna ticala i parni dorzalni kemoreceptorski organi (rinofori). Mnoge vrste karakteriziraju leđni izraštaji zvani cerata, koji sadrže probavne žlijezde (Wägler i Willian, 2000; Romano, 2022). Ishrana se sastoji od mnogih glavnih skupina životinja (Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Crustacea, Mollusca, Ascidiacea) (Wägler i Willian, 2000). Todd 1981. godine ih dijeli u 4 glavne prehranbene kategorije: oni koji se hrane spužvama (engl. *sponge-grazers*), mahovnjacima (engl. *bryozoan-grazers*), obrubnjacima (engl. *hydroid-grazers*) i kategorija „razno“ (engl. *miscellaneous*), gdje spadaju gološkržnjaci čiju prehranu čine životinje poput plaštenjaka ili pak drugih stražnoškržnjaka. Većina vrsta su stenofazi, odnosno, pokazuju visoko specijaliziranu prehranu, mogu se hraniti isključivo jednom ili smanjenim brojem bentoskih vrsta (Maggioni i sur., 2023). Međutim, osim karnivora, rijetki predstavnici gološkržnjaka su i herbivori, poput vrste *Polycerella emertoni* (A. E. Verrill, 1880) koja spada u mikro herbivora i hrani se periftonom koji raste na mahovnjaku *Amathia verticillata* (delle Chiaje, 1822) (Camps-Castella i sur., 2020). Neki predstavnici skupine Nudibranchia razvili su niz prilagodbi koje omogućuju konzumaciju plijena koji sadrži nematociste. *Flabellina verrucosa* (M. Sars, 1829) posjeduje kutikule u bukalnoj šupljini i jednjaku, oralne žlijezde i žlijezde slinovnice u bukalnom kompleksu i brojne vakuole u epitelnim stanicama želuca i probavnih žlijezda kao prilagodbe za smanjenje štete od nematocista dok se probijaju kroz probavni trakt (Romano, 2022).

1.3.1 Podjela Nudibranchia

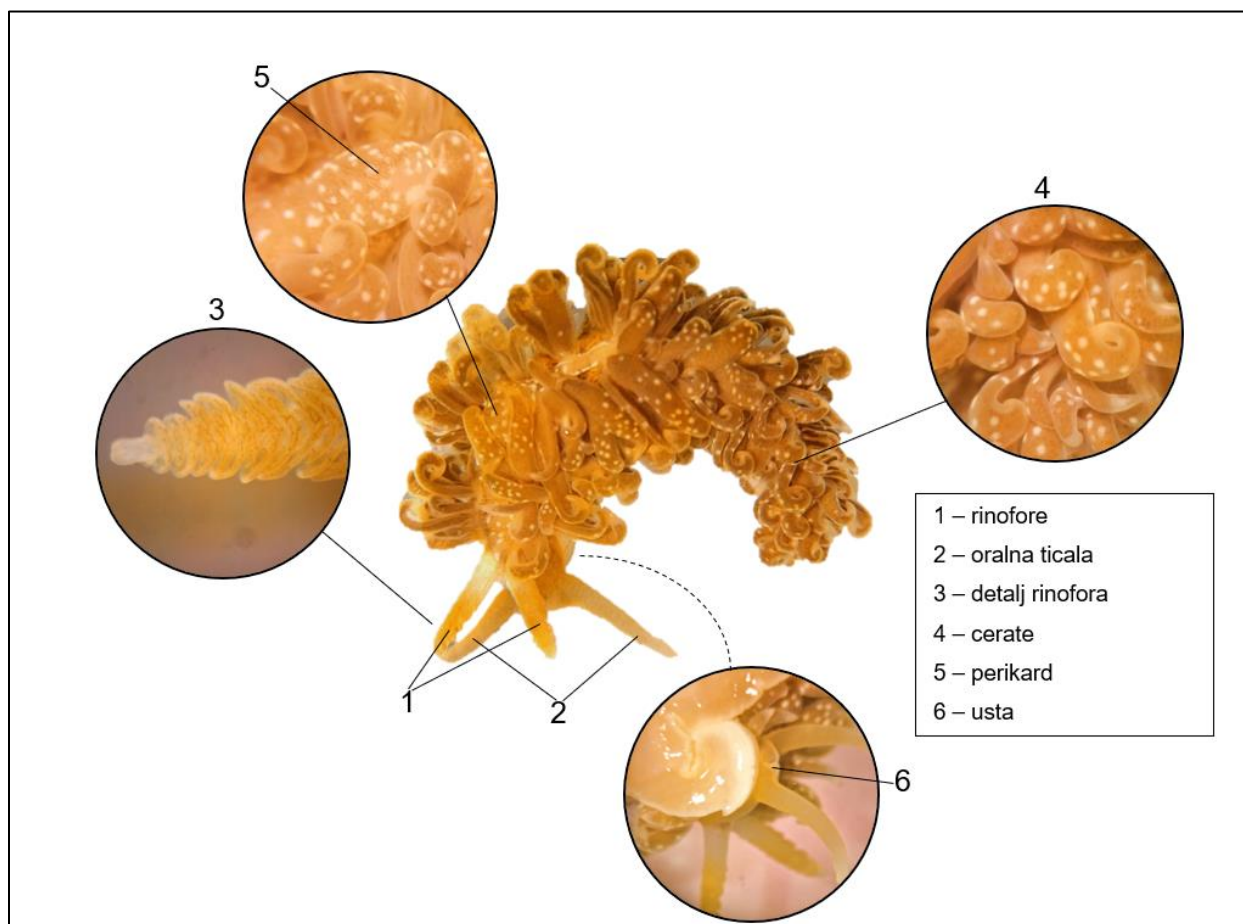
Prema morfološkim karakteristikama, u literaturi se često dijele u dvije skupine – eolidni (engl. *aeolid*) (Furfaro i sur., 2023) i doridni (engl. *dorid*) stražnoškržnjaci (Graham, 1938) (Slika 4).



Slika 4. Primjer doridnog predstavnika skupine Nudibranchia: **A:** *Dendrodoris limbata* (Cuvier, 1804) i **B:** eolidnog *S. neapolitana*. Autor slike: Iris Matulja.

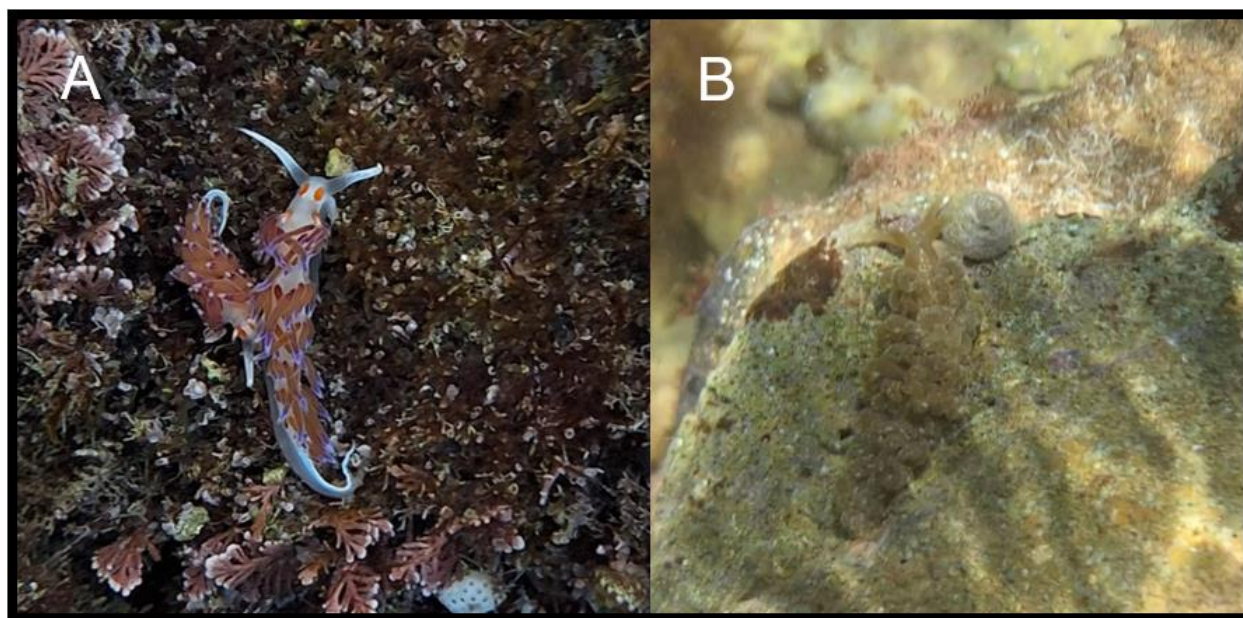
Aeolidni stražnjoškržnjaci (prema natporodici Aeolidioidea, podred Cladobranchia) tipično sadrži cerate – izbočine poput prstiju na njihovim leđima koje služe raznim funkcijama, uključujući disanje i obranu (Miller, 2001). Zapanjujuće je da mnoge vrste morskih puževa koje pripadaju natporodici Aeolidioidea imaju sposobnost ugraditi i pohraniti nematociste dobivene iz hrane unutar vrha dorzalne cerate, nakon čega se nematocistama oklopljena cerata koristi za obranu od neprijatelja (Togawa, 2021). Miller (2001) daje opis generalne anatomije eolidnih stražnjoškržnjaka. Općenito su predstavnici skupine veliki, tijelo je obično široko i udubljeno osim izraženog perikardijalnog otoka; stopalo je obično mnogo šire od visceralnog dijela tijela (osim kod vitkih oblika). Strane tijela se prvo postupno sužavaju, zatim naglo prema vrhu repa. Rep je kratak, prednji uglovi stopala zaobljeni ili izvučeni kao suženi izdanci varirajućih duljina. U zavisnosti o vrsti, oralna ticala variraju od prilično kratkih do vrlo dugačkih, deblja na dnu sužavaju se prema zaobljenom vrhu. Rinofori mogu biti krupni, ponekad relativno kratki, a oblikom variraju od jednostavnih i lameliranih do papilarnih. Cerate su često vrlo brojne i pokrivaju veći dio dorzalnog dijela, mogu biti kratka ili dugačka, cilindrična ili stisnuta, umetnuta nepravilno dorzolateralno, u lukovima ili u okomitim/ kosim redovima, ponekad u skupinama, ponekad na niskim izbočenjima, postavljena u jednostrukim ili djelomično dvostrukim serijama. Anus je

uglavnom kleioproktičan (među prednjim postkardijalnim ceratama), a rijetko notoproktičan (sa stražnje strane) ili pleuroproktičan (sa strane, tj. ispod cerata). Bubrežna pora ad- ili abanalna, nalazi se ispod ili ispred anusa, rijetko iza, ponekad u prostoru između cerata desne (prednje ili prekardijalne) i lijeve (stražnje ili postkardijalne) probavne žlijezde. Oralne žlijezde obično su složene i velike, povremeno su male ili ih nema i obično prisutan je jedan par (rijetko više). Radula je jednostruka, zubi široki, češljasta oštrica na jednostrukoj krivulji ili dvostruko s vrhom između dviju strana, zupci jednolični ili stupnjevani. Čeljusti su velike, a žvačni nastavak s glatkim rubom, iznimno je nazubljen. Djelomična anatomija vrste *Spurilla neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) prikazana je na Slici 5.



Slika 5. Anatomija vrste *S. neapolitana*. Autor slike: Iris Matulja.

Neki mediteranski eolidi mogu pokazivati upozoravajuće boje, dok drugi imaju oblike koji su bliski onima njihove hrane. Cerata vrste *Cratena peregrina* (Gmelin, 1791) ima plavu i narančastu preljevnu boju s bijelim područjima na gornjim dijelovima koja su u kontrastu s bijelim tijelom (Slika 6). Osim toga, dvije uočljive narančaste mrlje lako se mogu uočiti između baza usnih ticala. Ovaj briljantni uzorak boja sugerira da je vrsta *C. peregrina* aposematična. Nasuprot tome, eolid *S. neapolitana* pokazuje gotovo savršenu kamuflažu na svom plijenu. Hrani se vlasuljama roda *Anemonia* i zadržava simbiotske zooxanthellae i nematociste od svog plijena. Cerate nalikuju morfologiji i boji (zbog simbiotske zooxanthellae) lovki vlasulje (*Anemonia sulcata viridis* Pennant, 1777) (Slika 6).



Slika 6. Usporedba obojenosti i posljedične uočljivosti vrste **A:** *Cratena peregrina* (Gmelin, 1791) i **B:** *S. neapolitana*. Autor slike: Iris Matulja.

Doridni gološkržnjaci - podred Doridina (Odhner, 1934) skupina je u kojoj je česta kriptična specijacija. Trenutno se sastoji od 19 porodica i više od 2000 opisanih vrsta. Podred je podijeljen u pet natporodica (Bathydoridoidea, Doridoidea, Onchidoridoidea, Phyllidioidea i Polyceroidea) definiranih morfološkim varijacijama u strukturi škrge i prehrane (Hallas i sur., 2017). Young (1966) daje opis anatomije doridnih gološkržnjaka. Većina dorida je jajolika i dorzoventralno spljoštena s plaštom koji se široko širi oko stopala. Slika 7. prikazuje opisano obilježje na primjeru vrste *Dendrodoris grandiflora* (Rapp, 1827). Kod drugih je tijelo izduženije i plašt se drži diskretno iznad stopala. Slika

8. prikazuje opisano obilježje na primjeru vrste *Felimare picta* (R. A. Philippi, 1836). Razlika između plašta i stopala nije prisutna u nekim skupinama dorida, a tijelo je vrlo izduženo i limaciformno (npr. *Gymnodoris* spp.). Samo u ograničenim skupinama s jedinstvenim oblikom tijela (npr. *Ceratosoma* spp.) čini se da oblik ima generičku važnost u identifikaciji. Tekstura kože često je važna pri identifikaciji vrsta, gdje se vrednuju karakteristike poput čvrstoće, nepravilnosti i spikule integumenta plašta.



Slika 7. Vrsta *Dendrodoris grandiflora* (Rapp, 1827) posjeduje plašt koji se široko širi oko stopala, slično kao u roda *Discodoris*. Autor slike: Iris Matulja.

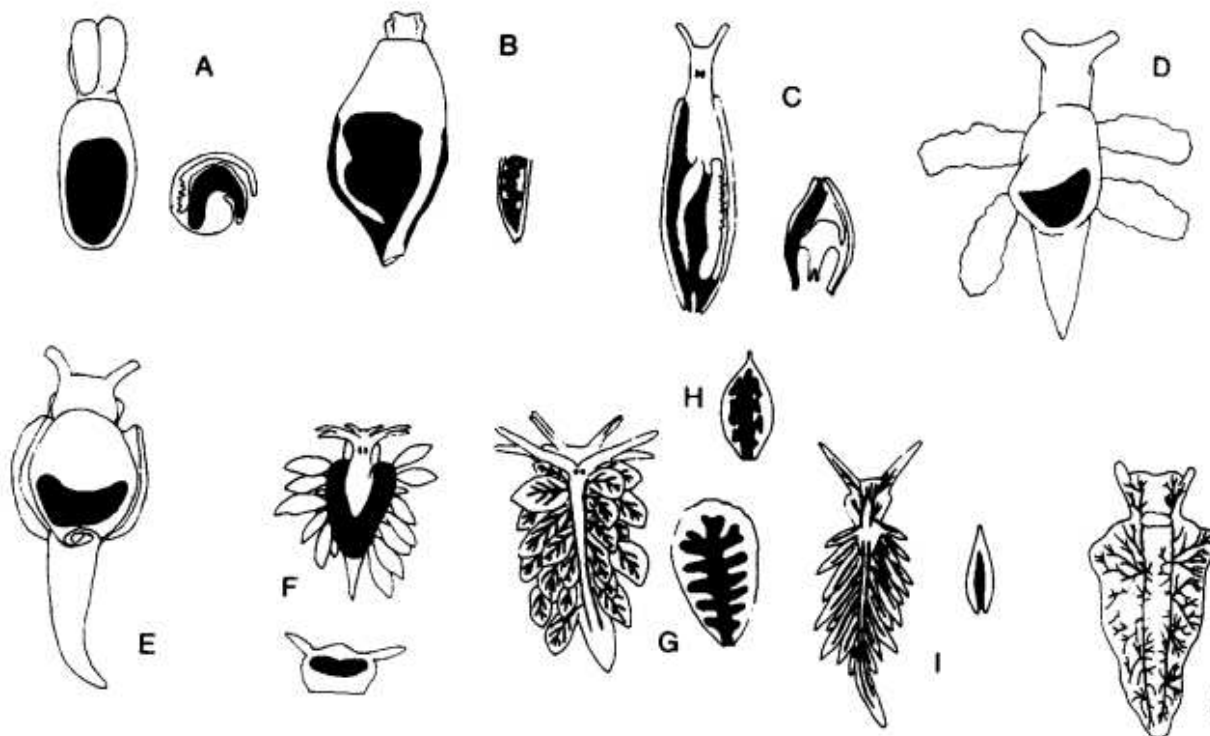


Slika 8. Vrsta *Felimare picta* (R. A. Philippi, 1836) posjeduje izduženije tijelo i plašt koji se drži diskretno iznad stopala, slično kao u roda *Hypselodoris*. Autor slike: Iris Matulja.

1.3.1 Probavna žlijezda

Kao i kod ostalih mekušaca, probavna žlijezda je najveća žlijezda probavnog sustava puževa i ujedno njihov najproučavaniji organ. Tvore ga brojni slijepi tubuli povezani sustavom ogranaka koji komuniciraju sa želucem. Ovi tubuli, nazvani probavni divertikuli, sastoje se od jednoslojnog epitela obavijenog vrlo tankim slojem vezivnog tkiva (Loboda-Cunha, 2019). Probavna žlijezda od velikog je značaja kod skupine Heterobranchia te su njen oblik i specijalizirane uloge specifični za različite skupine poput Doridina, Aeolidida i Sacoglossa. Dok je kod doridnih gološkržnjaka ona kompaktna, kod eolida i nadreda Sacoglossa je visoko razgranata (Slika 9) (Williams i Walker, 1999). Probavna žlijezda igra važnu ulogu u procesima intracelularne sekvestracije, posebice nematocista

i/ili kloroplasta iz tkiva plijena. Kod nadreda Sacoglossa, funkcionalni kloroplasti ekstrahirani iz algi zadržavaju se u probavnim stanicama, poznatije kao kleptoplastija. Nadalje, eolidi koje se hrane žarnjacima zadržavaju nematociste svog plijena unutar stanica probavne žlijezde radi vlastite obrane u procesu poznatom kao kleptoknidija (Goodheart i sur., 2005, Lobo-da-Cunha, 2019, Togawa, 2021).



Slika 9. Proširenje probavne žlijezde (osjenčano područje) u Sacoglossa (nije nacrtano u mjerilu). **A**, *Ascobulla*, poprečni presjek prikazan desno. **B**, *Volvatella*, presjek kroz plašt prikazan desno. **C**, *Berthelinia*, poprečni presjek prikazan desno. **D**, *Lobiger*. **E**, *Oksinoja*. **F**, *Cyerce*, poprečni presjek prikazan dolje. **G**, *Mourgona*, povećanje cera prikazano desno. **H**, Ceras iz *Costasielle*. **I**, *Stiligeridae*, povećanje cera prikazano desno. **J**, *Elysiidae* (preuzeto iz Jensen 1991., sl. 6).

1.3.2 Kleptoknidija

Gološkržnjaci koji se hrane vrstama koljena Cnidaria, svojom hranom proždiru mase nematocista (Martin, 2003). Nekoliko različitih životinjskih loza razvilo je sposobnost izdvajanja nematocista iz svog plijena žarnjaka i ugradnju tih organela u vlastita tijela. Sekvestracija nematocista dokumentirana je i kod Ctenophora, Acoelomorpha, Platyhelminthes i Mollusca, što ukazuje na višestruko evolucijsko podrijetlo ove adaptacije. Kod koljena Mollusca sekvestracija nematocista nalazi se samo u nekim vrstama Cladobranchia, skupini gološkržnjaka poznatih po svojim karakteristično razgranatim probavnim žlijezdama (Pola i Gosliner, 2010). Točnije, sekvestracija nematocista žarnjaka događa se primarno u jednoj monofiletskoj skupini – Aeolidida (Goodheart i sur., 2017). Brojne studije utvrdile su konzamaciju različitih vrsta žarnjaka i skladištenje njihovih nematocista od strane Nudibranchia. Kod najpoznatijih grabežljivaca žarnjaka, aeolidnih gološkržnjaka, nematociste se progutaju i zatim migriraju do vrhova dugih dorzalnih cerata gdje se pohranjuju (Edwin i sur., 1977) (Slika 10).



Slika 10. Detalj cerata vrste *Cratena peregrina* (Gmelin, 1791). Autor slike: Iris Matulja.

Kleptoknidija je izuzetno jedinstvena i zanimljiva pojava po kojoj se stanične organele jednog organizma ugrađuju u drugi organizam i tamo nastavljaju svoje djelovanje, što može predstavljati rani stadij simbioze (Togawa, 2021). Sekvestrirane nematociste ili kleptoknidee (engl. *kleptocnidae*) pohranjene su u posebnim vrećicama (engl. *cnidosacs*) koje su smještene unutar cerata na dorzalnoj strani gološkržnjaka. Jednom kad su ovi eolidi ugroženi, kleptoknide se istiskuju iz spomenutih vrećica i brane ih od neprijatelja (Vorobyeva i sur., 2017). Pakiranje i transport nematocista odvija se na različite načine kod različitih vrsta. U većini eolida, pojedinačne nematociste prolaze kroz probavne žlijezde i inkapsuliraju se u stanice koje se nazivaju cnidofagi (engl. *cnidophages*) dok se premještaju u vrećicama. Kod drugih, kao npr. kod vrste *Cratena peregrina*, nematociste su pronađene unutar velikih vakuola probavnih stanica sluznice lumena probavne žlijezde (Martin, 2003).

1.4 Sacoglossa

Sacoglossa je nadred uglavnom herbivornih morskih puževa, ranije poznat kao red unutar skupine Opisthobranchia (Williams i Walker, 1999). Jensen (1996) dijeli red u dvije glavne skupine: Oxynoacea s ljuskom i Plakobranchacea bez ljuske. Vrste s kućicom imaju škrge, dok one kod kojih škrge izostaju, dišu difuzijom preko kože čija je površina povećana prisustvom parapodija i cetara (Williams i Walker, 1999). Činjenica da se svi predstavnici nadreda Sacoglossa s ljuskom hrane jednim rodnom algi (*Caulerpa* spp.) te da je više od 50 % vrsta ograničeno na ishranu sifonalnim zelenim algama, potakle su hipoteze o koevoluciji nadreda Sacoglossa i njihovih prehranbenih biljaka (Jensen, 1997; Händeler i Wägele, 2006). Dvije karakteristike specifične za red su gotovo isključivo herbivorna prehrana i visoko modificirana jednostruka radula. Rjeđe korišten naziv za nadred – Ascoglossa – dolazi iz naziva za malu vrećicu (*ascus*), koja je smještena ventralno od bukalne mase i služi kao „spremište“ za istrošene radularne zubiće (Williams i Walker, 1999). Još jedna karakteristika istaknuta od strane autora Williams i Walker (1999) jest visoko razgranata probavna žlijezda kod vrsti bez kućice. Distribucija Sacoglossa usko je vezana uz njihovu prehranu, ograničavajući ih na fotičku zonu, odnosno, dubine manje od 100 m. Rasprostranjenost je prilično široka, prvenstveno pokrivajući tropska i suptropska područja diljem svijeta (Jensen, 2007).

1.4.1 Prehrana predstavnika nadreda Sacoglossa

Uz dvije iznimke koje se hrane jajima gastropoda, svi morski puževi nadreda Sacoglossa su herbivori. Većina vrsta hrane se staničnim sokom sifonalnih zelenih algi (*Caulerpa* sp.), ali neke imaju i specijaliziraniju prehranu pa tako konzumiraju dijatomeje, crvene alge i/ili morske cvjetnice (Jensen i sur., 2014). Jednostrukom radulom prodiru kroz staničnu stijenku i isisavaju stanični sok. Zanimljiva je mogućnost nekih predstavnika Sacoglossa da ugrađuju kloroplaste iz hrane intracelularno u svoju probavnu žlijezdu i djelomično obavljaju fotosintezu (Händeler i Wägele, 2006).

Händeler i Wägele (2006) iznijeli su pregled podataka o hranidbi specifičnoj za različite skupine unutar nadreda Sacoglossa. Hrana vrsta roda *Cylindrobulla* nije poznata. Svi članovi natporodice Oxynooidea hrane se vrstama roda *Caulerpa*. Nasuprot tome, vrste natporodice Plakobranchoidea imaju mnogo širi spektar hrane. Tako npr. vrste iz porodice Boselliidae prehranom su specijalizirani da se hrane algama iz reda Caulerpales (Bryopsidophyceae), ponajviše rodom *Halimeda*. Unutar natporodice Plakobranchoidea, *Elysia* spp. pokazuje najraznolikiju ishranu, koja uključuje koljeno Heterokontophyta (*Vaucheria* spp., 1801, *Padina* spp., *Biddulphia* spp.) i morske cvjetnice. Vrste *Elysia timida* (Risso, 1818) i *Elysia filicauda* K. R. Jensen i F. E. Wells, 1990 hrane se rodom *Acetabularia*. Kloroplasti algi roda *Codium* također su utvrđeni u probavilu vrste *E. timida*. *Thuridilla hopei* (Vérany, 1853) hrani se rodovima *Derbesia* i *Cladophora*. Laboratorijska opažanja povezuju vrstu *Plakobranchnus ocellatus* van Hasselt, 1824 s algama roda *Chlorodesmis* i *Udotea*. Porodica Hermaeidae se hrani vrstama iz reda Bryopsidales i Caulerpales (Bryopsidophyceae) izuzev rodova *Mourgona* i *Acetabularia* (Dasycladales, Dasycladophyceae). Porodica Hermaeidae također pokazuje širi spektar organizama kojima se hrani: u većini slučajeva kod vrsta roda *Hermaea* ishranu sačinjavaju crvene alge (Rhodophyta). Rod *Aplysia* hrani se algama koje pripadaju redovima Cladophorales ili Ulvales. Rod *Costasiella* hrani se algama koje pripadaju redovima Bryopsidales i Caulerpales (Bryopsidophyceae), Cladophorales i *Vaucheria* (Heterokontophyta). Porodica Limapontiidae pokazuje najneobičniji raspon hrane. Vrste iz roda *Limapontia* hrane se redovima Cladophorales, ali i Bryopsidales, Ulvales i Heterokontophyta. Vrste roda *Alderia* se također hrane algama roda *Vaucheria*. Rod *Placida* uglavnom se hrani vrstama reda Bryopsidales i roda *Codium*. Vrsta *Placida kingstoni* T. E. Thompson, 1977

poširila je svoju ishranu i na zelene alge roda *Cladophora*. Rod *Ercolania* pokazuje preferenciju za alge reda Cladophorales. Vrsta *Stiliger fuscovittatus* Lance, 1962 hrani se crvenim algama. Neuobičajene strategije hranjenja u porodici Limapontiidae pokazuju *Calliopaea oophaga* Lemche, 1974, *Olea hansineensis* Agersborg, 1923 i *Calliopaea bellula* A. d'Orbigny, 1837, budući da konzumiraju jaja drugih predstavnika podrazreda Heterobranchia.

1.4.1 Kleptoplastija

„Krađa“ kloroplasta iz algi kojima se hrane i intracelularna sekvestracija plastida poznata je pod nazivom kleptoplastija. Jednom u životinjskim tkivima, nazivaju se kleptoplasti (Burgués Palau i sur., 2024). Kod nekih predstavnika Sacoglossa, tako pohranjeni kleptoplasti mogu nastaviti fotosintetizirati nekoliko sati, a kod nekih i do 9 mjeseci, ispuštajući u stanice puža polisaharide i aminokiseline (Williams i Walker, 1999). Mehanizam integracije kleptoplasta varira među vrstama te oni poprimaju različite strukture unutar organizma životinje. Primjerice kod vrste *E. timida*, utvrđeno je da kloroplasti imaju funkcionalne tilakoide i stromu, ali ne i unutarnju i vanjsku ovojniciu te su okruženi samo membranom fagosoma, dok su kod vrste *T. hopei* kleptoplasti zadržali cjelovitost svih membrana (Moreli i sur., 2023). Opskrba metabolitima dobivenim fotosintezom iz „ukradenih“ kloroplasta može održavati na životu morskog puža tijekom razdoblja nestašice hrane i/ili podržati reproduktivni učinak (Burgués Palau i sur., 2024). Eastman (2024) navodi kako pasivna proizvodnja energije tijekom dana može smanjiti količinu energije utrošenu na samo hranjenje. Također, ugradnja plastida u tkivo može uzrokovati kriptičko obojenje jedinki, dopuštajući morskim puževima da se stope s algama u svom okolišu smanjujući pritom njihovu vidljivost pred predatorima, a fotosintetski proizveden kisik povećava vjerojatnost preživljavanja u uvjetima hipoksije.

Međutim, preintenzivno svjetlo stvara reaktivne kisikove vrste (engl. Reactive oxygen species, ROS) u kloroplastima, uzrokujući oštećenje DNA, lipida, proteina i drugih molekula u stanici. Različiti faktori stresa, uključujući salinitet, isušivanje, ekstremne temperature i izloženost teškim metalima, utječu na proizvodnju ROS-a u fotosintetskim organizmima, povećavajući oksidacijska oštećenja, osobito u uvjetima jakog osvjetljenja. Oštećenje fotosustava II izazvano svjetlom, koje se naziva fotoinhibicija, uvelike je

uzrokovano ROS-ovima, koji reagiraju s proteinima tilakoidnih membrana. Dok alge i biljke raspolažu nizom prilagodbi na svjetlom uzrokovan oksidativni stres, puževi nadreda Sacoglossa putem prehrane ne zadržavaju većinu gena potrebnih za kodiranje proteina s ulogom održavanja i zaštite kloroplasta. Različite vrste s različitom prehranom ispoljavaju drugačiju razinu prilagodbe i mehanizme zaštite (Burgués Palau i sur., 2024). Osjetljivost kloroplasta kod različitih vrsta diktila i dubinu na kojoj jedinka živi, fototaksiju i njene obrasce ponašanja. Primjerice, vrsta *Elysia crispata* (Mörch, 1863) ima parapodije velike površine koje može modificirati tako da zaštiti svoje kloroplaste pri jakom intenzitetu svjetlosti, dok *Elysia ornata* (Swainson, 1840) kao odgovor na intenzivno osvjetljenje pokazuje negativnu fototaksiju i sakriva se u sjenu (Burgués Palau i sur., 2024).

1.5 Aplysiida

Red Aplysiida, je jedna od najpoznatijih skupina iz podreda morskih Heterobranchia diljem svijeta. To je zato što su ovi mekušci, koji obično žive u mediolitoralnoj zoni, općenito veliki, brojni i sveprisutni (Moustafa i El-Masry, 2021; Lombardo i Marletta, 2022). Oni su simultani hermafroditi s unutarnjom unakrsnom oplodnjom te raznolikim i složenim reproduktivnim sustavom (Moustafa i El-Masry, 2021). Ovaj red predstavlja dvije superporodice (Bouchet i sur., 2017): Aplysioidea i Akerioidea. Lombardo i Marletta (2022) u nastavku daju generalni anatomski plan glavnih superporodica. Članove prve superporodice (obično nazivane morskim zekanima) karakteriziraju: prisutnost ili odsutnost unutarnje ljuštore; glavu na kojoj su sprijeda par oralnih ticala i dorzalno par rinofora; tijelo koje se proteže posteriorno u vidljivoj visceralnoj masi; prisutnost parapodija (koji prema svojoj morfologiji mogu ili ne moraju biti prilagođeni plivanju), koji u cjelini obuhvaćaju plašt koji prekriva plaštenu šupljinu; plitka škriga; evidentan sjemenski žlijeb, izvana vidljiv na desnoj strani tijela, od zajedničkog spolnog otvora do prednjeg dijela tijela. Karakteristična je prisutnost dviju posebnih žlijezda unutar plaštene šupljine: opalne žlijezde i ljubičaste žlijezde koja izlučuje poznatu "tintu" koju proizvode te životinje (Slika 11). Za članove natporodice Akerioidea karakteristična je prisutnost cefaličnog štita

bez oralnih ticala ili rinofora, vanjska buloidna ljuska, parapodiji koje djelomično pokrivaju ljusku, prisutnost opalinskih i ljubičastih žlijezda.



Slika 11. Vrsta *Aplysia punctata* (Cuvier, 1803) u stresu ispušta ljubičastu „tintu“.
Autor slike: Iris Matulja.

1.6. Bioraznolikost

Bioraznolikost je trenutno popularan izraz za bogatstvo i raznolikost života (Pullin, 2002). No to je i širi koncept koji se temelji na biološkoj varijaciji, pokrivajući raznolikost gena, organizama, vrsta, zajednica i ekosustava (Gaston, 2020 navedeno u Tukiainen i sur., 2022). U literaturi se koristi za pokrivanje broja različitih populacija i vrsta koje postoje i složenih interakcija koje se među njima događaju. Bioraznolikost se stoga obično razmatra na tri različite razine: unutarvrstna (intraspecifična) raznolikost; obično se mjeri u smislu genetskih razlika između pojedinaca ili populacija; raznolikost vrsta (interspecifična); mjereno kao kombinacija broja i ravnomjernosti obilja vrsta te raznolikost zajednice ili ekosustava; mjereno kao broj skupova različitih vrsta (Pullin, 2002). Bioraznolikost je stoga izraz i brojeva i razlika i može se promatrati kao mjera složenosti (Gaston i Spicer, 1998 navedeno u Pullin, 2002), uključujući izvorne koncepte alfa (α), beta (β) i gama (γ) raznolikosti (Tukiainen i sur., 2022).

1.6.1 Kvantifikacija bioraznolikosti

Bioraznolikost se ne može u potpunosti istražiti bez razmatranja prostorne komponente njezine varijacije. S teorijske točke gledišta postoji niz jednadžbi koje nam omogućuju pretvaranje sirovih podataka o broju vrsta i relativnoj brojnosti u indeks raznolikosti vrsta. Na primjer, tri često korištena indeksa raznolikosti vrsta su: Simpsonov indeks, Shannonov indeks i Margalefov indeks (Pullin, 2002). Indeksi se razlikuju po relativnoj važnosti koju pridaju bogatstvu vrste (Shannon–Weiner), relativnoj brojnosti ili ravnomjernosti (Simpsonov) i ukupnoj veličini uzorka (Margalefov). Postoje tri vrste raznolikosti vrsta koje se mogu mjeriti na ovaj način: alfa raznolikost: raznolikost mjerena unutar jedinice površine; beta raznolikost: gradijent raznolikosti mjereno uzorkovanjem preko ekotona; gama raznolikost: brzina kojom se raznolikost mijenja s povećanjem površine (Pullin, 2002). U ovom kontekstu, alfa raznolikost odnosi se na raznolikost vrsta (kao što je bogatstvo vrsta) na lokalnim mjestima. Može se mjeriti za jednu zajednicu ili kao srednja vrijednost za nekoliko lokalnih zajednica. Visoka alfa raznolikost ukazuje na to da je ekosustav bogat u smislu ukupne bioraznolikosti zajednice i stoga relativno malo poremećen (Renau i sur., 2024). Beta raznolikost odražava promjenu (ili engl. *turnover*) u sastavu vrsta na malim udaljenostima, često između susjednih, ali primjetno različitih tipova staništa. Na primjer, beta raznolikost bila bi razlika između dviju različitih zajednica koje se nalaze na planinskoj padini, kao što su nizinska kišna šuma i planinska zimzelena šuma. Kako se raznolikost staništa povećava, tako raste i beta raznolikost. Gama raznolikost je ukupno bogatstvo vrsta velikog geografskog područja, kao što je kontinent. Gama raznolikost kombinira utjecaj alfa i beta raznolikosti (Hunter, 1996; Engineer i sur., 2010).

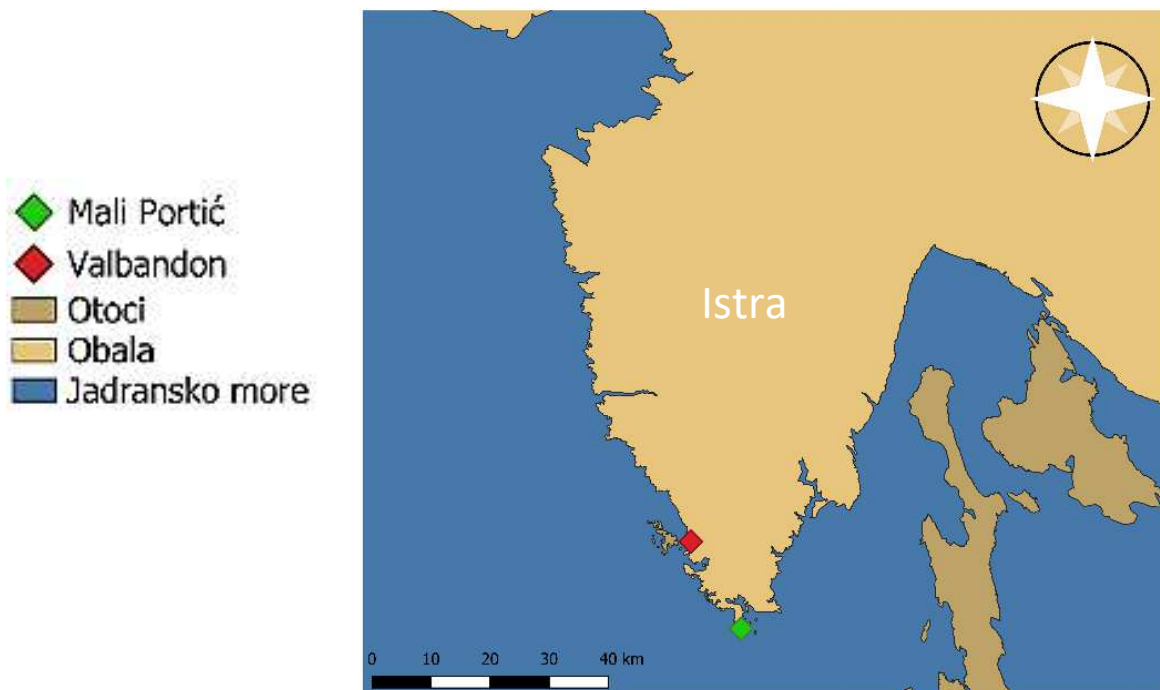
2. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja bio je kvantificirati i analizirati bioraznolikost puževa podrazreda Heterobranchia u infralitoralnoj južne Istre, uspoređujući pritom dvije lokacije s različitim intenzitetom sezonalnog antropogenog utjecaja i drugih oblika onečišćenja. Praćenjem lokacija s različitim stupnjem antropogenog utjecaja htio se dobiti i što realniji uvid u bioraznolikost puževa. Uz to, praćeni su hidrografski uvjeti mora (temperatura, pH, salinitet), kako bi se uočio utjecaj na distribuciju puževa podrazreda Heterobranchia na istraživanim lokacijama.

3. Materijali i metode

3.1 Lokacije i period uzorkovanja

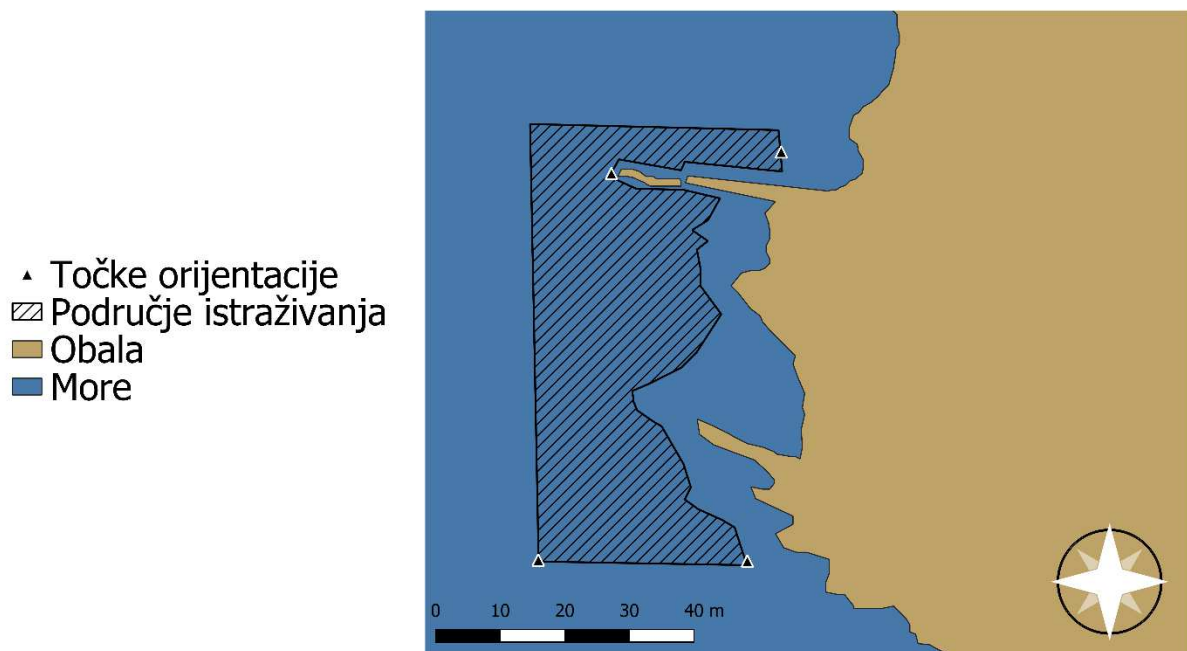
Za lokacije uzorkovanja izabrane su dvije uvale na području južne Istre (Slika 12).



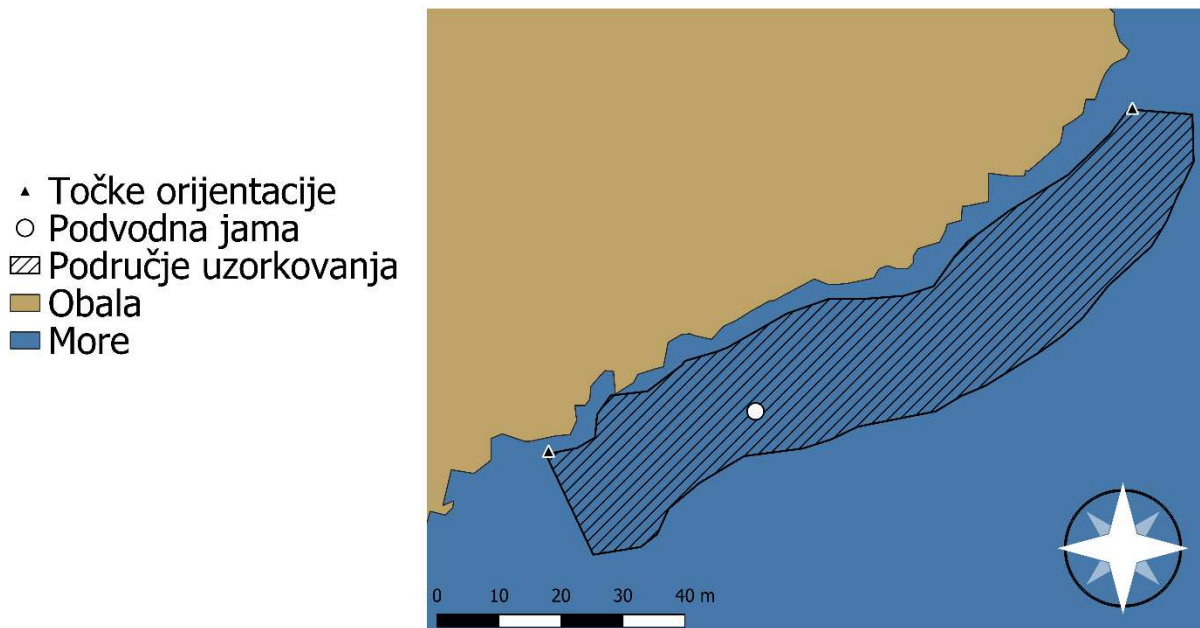
Slika 12. Lokacije uzorkovanja na jugu Istarskog poluotoka.

Kako bi se utvrdio antropogeni utjecaj na bioraznolikost vrsta skupine Heterobranchia, odabrane su dvije uvale karakterizirane sličnim bentoskim supstratom, ali drastično različitim stupnjem antropogenog djelovanja. Prva postaja uzorkovanja – Valbadon (VB) – nalazi se neposredno između dvije lučice (GPS koordinate: 13°48'32.42" E), gdje se u jednoj brodovi redovito vade radi održavanja, što u obližnje more može dovesti povećanje količine brodskih protuobraštajnih sredstava, deterdženata, građevinskog materijala, otpada i drugih onečišćivala (Slika 13). Druga postaja uzorkovanja nalazi se na području zaštićenog područja Južni Kamenjak. Radi se o uvali Mali Portić (MP) na istočnoj strani poluotoka Kamenjaka (GPS koordinate: 44°46'40.84" E) koja je oko 2 kilometra zračne linije udaljena od najbližeg kanalizacijskog ispusta koji se nalazi zapadno od rta Kamenjak (Slika 14). Kako bi lokacije bile usporedive, trebalo je na približno sličnoj dubini (1 – 6 m) i površini (oko 1700 – 1800 m²), te što sličnijem tipu bentosa, provesti terenska

istraživanja u istom razdoblju. Istraživanje je provedeno od 12.3.2024. do 28.5.2024. ronjenjem na dah. Ukupno je odrađeno 9 urona na lokaciji VB i 8 urona na lokaciji MP raspoređenih u frekvencije od 3 urona mjesečno. Zbog vojnih vježbi koje se izvodile na području javne ustanove Kamenjak, pristup lokaciji uzorkovanja bio je onemogućen početkom travnja, što je razlog nedostatku jednog urona. Zabilježena je sezonska izloženost antropogenom utjecaju, odnosno, turizmu, na obija područja. Za vrijeme provođenja terenskog istraživanja utjecaj turizma se postepeno pojačao te je početkom svibnja zamijećena veća posjećenost zaštićenog područja Kamenjaka, dok je na lokaciji Valbandon obala dosipana, a ugostiteljski objekt otvoren je pored mora sredinom svibnja. Prije svakog urona, multiparametarskom sondom marke HANNA, model HI98194, su izmjereni hidrografski parametri: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH i salinitet.



Slika 13. Karta područja uzorkovanja na lokaciji Valbandon.



Slika 14. Karta područja uzorkovanja na lokaciji Mali Portić.

3.2 Karakterizacija staništa

Kako bi se lokacije uzorkovanja mogle usporediti, preliminarno je odrađen terenski pregled i klasifikacija staništa metodom vizualnog cenzusa gdje se obavila procjena pokrovnosti i struktura bentoske zajednice. Zatečeno stanje dokumentirano je podvodnim fotoaparatom Gopro hero 7 black. Identificirana je struktura zajednice makrofita, kao i prisutnost spužvi, mahovnjaka i koralja koji mogu služiti kao hrana raznim puževima.

3.3 Bilježenje jedinki i identifikacija

Kako bi se osigurao konstantan rezultat mjerenja, uspostavljena je ruta na svakoj lokaciji i određen vremenski period ronjenja i bilježenja primijećenih jedinki prema uzoru na Lombardo (2021; 2022). Za osiguravanje orijentacije pod vodom, odabrano se nekoliko orijentira poput većih, prepoznatljivih stijena, početak rasta morskih cvjetnica, podvodne jame, ali i obalnih točka orijentacije poput dobro uočljivih građevina. Brojnost jedinki i vrsta

bilježili su se u bilježnicu tijekom ronjenja. Ukoliko se radilo o jedinkama dobro poznatih vrsti bez 'dvojnika' koji se ne mogu na licu mjesta vizualnim cenzusom razlikovati, latinski naziv i broj jedinki (brojnost)disc zabilježena je odmah. Međutim, ako se radilo o nepoznatoj vrsti ili suviše maloj jedinki, ona se prikupljala u staklene posudice i identificirala u laboratoriju Fakulteta prirodnih znanosti u Puli. Za determinaciju puževa korišteni su odgovarajući ključevi i literatura; Prkić i sur. (2018), Lombardo i Marletta (2022).

3.4. Obrada rezultata

Izrada karata i izračun površine uzorkovanja odrađen je u programu QGIS Desktop 3.32.3.

Analiza brojnosti vrsta koje su zabilježene kroz vrijeme uspoređena je s tri mjerena parametra morske vode: temperaturom izraženom u °C, pH vrijednošću i salinitetom. Rezultati su prikazani tablicama i grafovima izrađenima u Microsoft Excelu 2019. Zbog znatno veće brojnosti dominantnih vrsta na svakoj lokaciji, one su prikazane na zasebnom grafu, kako bi rezultati bili razumljiviji. Na svakoj lokaciji izračunata je frekvencija pojavljivanja vrste prema formuli:

$$F = \frac{N}{U} \times 100,$$

Gdje je N broj uzoraka u kojima se vrsta pojavljuje, a U ukupan broj uzoraka. Frekvencija je izražena u postocima (%). Vrste za koje je izračunata visoka frekvencija pojavljivanja također se spominju pod terminom „učestale vrste“. Vrste za koje je izračunata niska frekvencija, odnosno vrste zabilježene samo u jednom uzorku, nisu grafički prikazane uz hidrografske parametre, budući da je za njih nemoguće odrediti trend promjene veličine populacije.

Za uspoređivanje bioraznolikosti po lokacijama izračunati su: prosječna gustoća, Shannon indeks, Jacardov indeks bioraznolikosti i Sorensov indeks sličnosti. Gustoća je izračunata prema formuli:

$$D = n/S,$$

gdje n označava prosječnu brojnost jedinki u jednoj lokaciji, a S površinu područja uzorkovanja. Gustoća je izražena u jedinki po m^2 . Prosječna brojnost jedinki po lokaciji dobivena je tako što se ukupna brojnost jedinki sa svih terena podijelila s brojem uzorkovanja.

Shannonov indeks raznolikosti izračunat je prema formuli:

$$H = -\sum p_i \ln(p_i),$$

gdje je p_i udio jedinki pojedine vrste u ukupnom broju zabilježenih jedinki. Indeks je izračunat za podatke sa svakog terenskog zarona, nakon čega je izračunata njegova srednja vrijednost za svaku lokaciju prema uzoru na Kumar i sur. (2022). Srednja vrijednost Shannonovog indeksa izračunata je prema formuli:

$$Avg(H) = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_U}{U},$$

gdje su individualne vrijednosti H sa svakog uzorkovanja označene s H_1, H_2, H_3 , itd. završno s H_U što predstavlja vrijednost H na zadnjem uzorkovanju. U predstavlja broj uzorkovanja.

Grafički prikaz promjene indeksa kroz vrijeme i njegova usporedba sa srednjom vrijednošću te usporedba gustoće i Shannon indeksa prikazana je s pomoću grafa izrađenog u Microsoft Excelu. Izračunata su dva indeksa usporedbe bioraznolikosti između dviju lokacija. Jaccardov koeficijent sličnosti (engl. *Jaccard similarity coefficient*, JSC) je izračunat prema formuli:

$$J = a/(a + b + c),$$

gdje je a ukupan broj vrsta na dva područja, b ukupan broj vrsta prisutnih isključivo u Valbandonu te c ukupan broj vrsta prisutnih isključivo u Malom Portiću. Sørensenov indeks sličnosti (engl. *Sørensen similarity indeks*, SSI) je izračunat prema formuli:

$$\beta = 2 * c / (S_1 + S_2),$$

gdje je c ukupan broj vrsta na dva područja, S_1 ukupan broj vrsta zabilježenih u Valbandonu te S_2 ukupan broj vrsta zabilježenih u Malom Portiću. Usporedba zajedničkih vrsta s dvije lokacije izražena je Vennovim dijagramom.

4. Rezultati

4.1 Valbandon

Na lokaciji Valbandon, tijekom devet zarona, zabilježeno je ukupno 9 vrsta Heterobranchia. U Tablici 1. prikazane su zabilježene vrste tijekom svakog urona i njihova brojnost. Frekvencija pojavljivanja vrsta grafički je prikazana na Slici 15. Najučestalija vrsta bila je *A. punctata*, koja je zabilježena tijekom svakog zarona, a brojnost joj je varirala od 144 – 324. Ostale učestale vrste bile su vrsta *T. hopei* koja je zabilježena tijekom 77,78 % urona u rasponu brojnosti od 2 – 23, *Aplysia fasciata* Poiret, 1789 i *E. timida* koje su zabilježene tijekom 66,67 % urona, u rasponu brojnosti 1 – 3 (*A. fasciata*) i 2 – 13 (*E. timida*) te *D. grandiflora* koja je zabilježena u 44,45 % zarona u rasponu brojnosti 1 – 2. Jedinke vrsta *Berthella plumula* (Montagu, 1803), *Elysia gordanae* T. E. Thompson i Jaklin, 1988, *Trinchesia miniostrata* Schmekel, 1968 i *S. neapolitana* zabilježene su samo pri jednom zaronu.

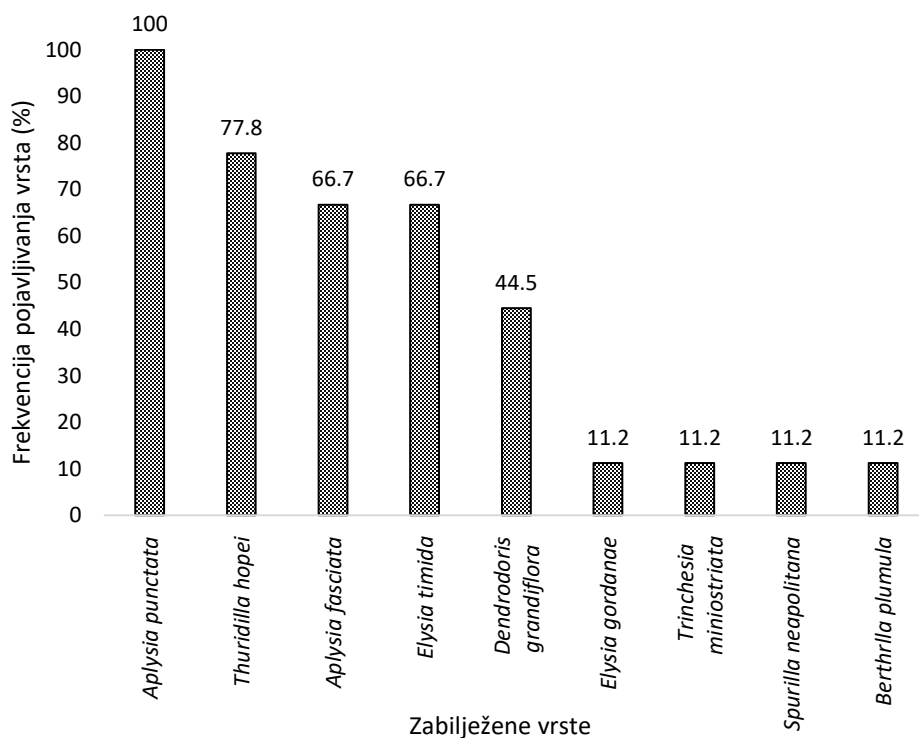
Tablica 1. Vrste puževa podrazreda Heterobranchia zabilježene na lokaciji Valbandon i njihova brojnost.

Vrsta	12.3.2024.	19.3.2024.	27.3.2024.	9.4.2024.	19.4.2024.	23.4.2024.	8.5.2024.	13.5.2024.	28.5.2024.
<i>Aplysia punctata</i>	144	204	207	324	224	261	246	227	147
<i>Aplysia fasciata</i>	1	1	1	-	1	3	1	-	-
<i>Berthella plumula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Dendrodoris grandiflora</i>	-	1	-	-	-	1	2	-	1
<i>Elysia timida</i>	-	-	2	5	13	10	3	-	3
<i>Elysia gordanae</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Spurilla neapolitana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Thuridilla hopei</i>	2	-	-	4	9	2	13	4	23

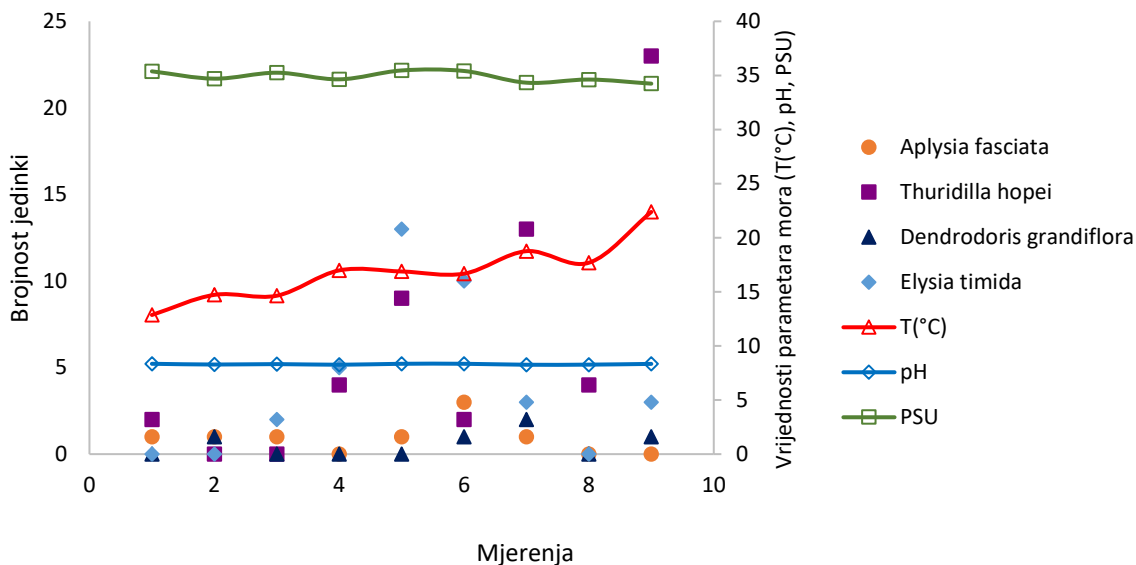
Trinchesia

miniostrata - - - 1 - - - - -

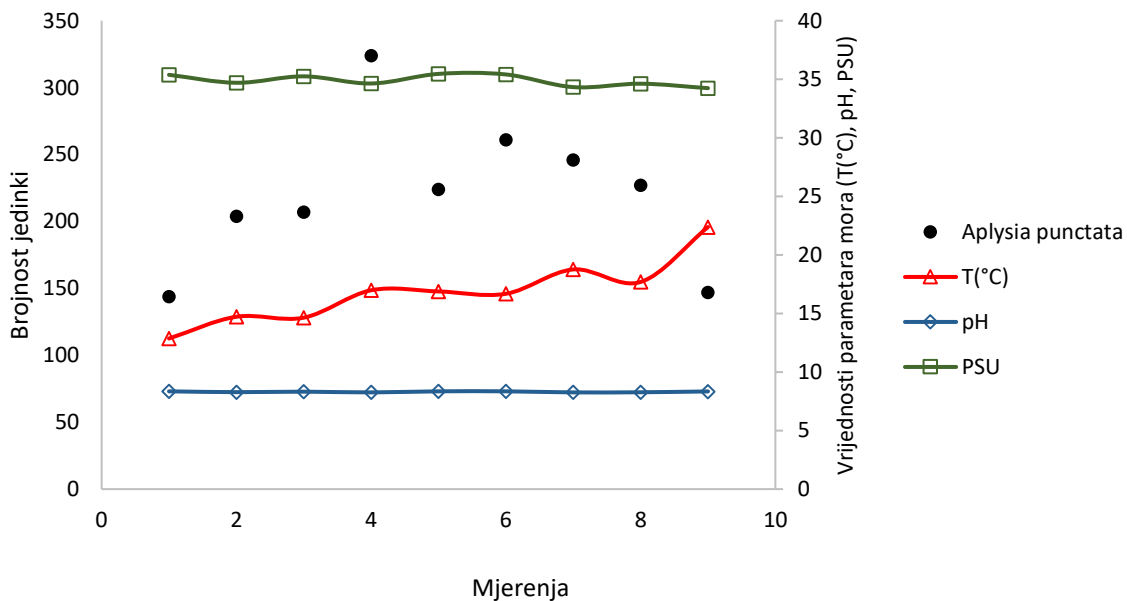
Temperatura je tijekom istraživanja rasla, započevši s 12,85 °C u ožujku, a do kraja svibnja 2024. godine dosegla je 22,38 °C. Salinitet je pokazao minimalne varijacije od 34,24 do 35,46, kao i pH, koji je iznosio od 8,26 do 8,35. Odnos parametara mora: temperature, pH i saliniteta i brojnosti učestalih vrsta kroz vrijeme prikazan je na Slikama 16. i 17. Budući da je vrsta *A. punctata* pokazala višestruko veću brojnost, prikazana je na zasebnom grafu.



Slika 15. Grafički prikaz frekvencije pojavljivanja vrsta podrazreda Heterobranchia zabilježenih na lokaciji Valbandon u periodu od 12.3.2024. do 28.5.2024. godine.



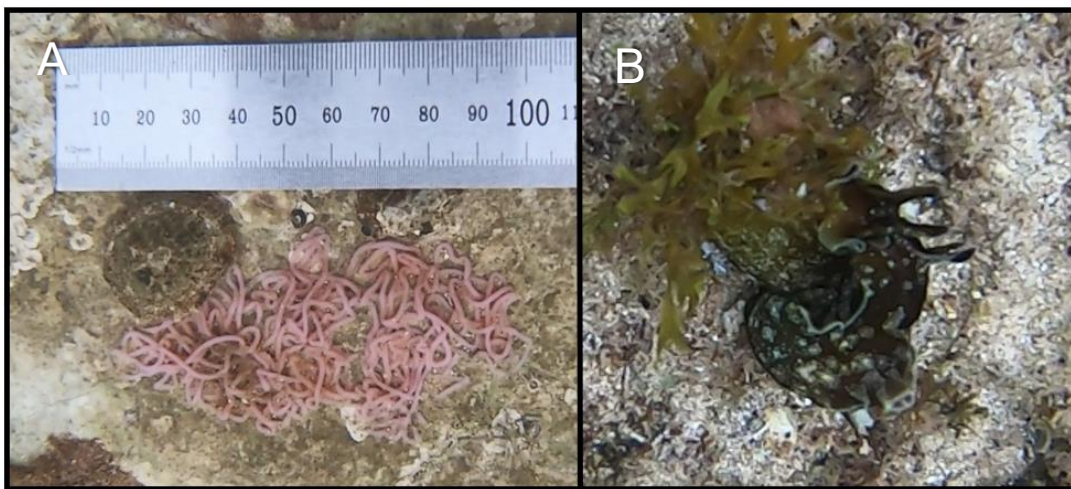
Slika 16. Prikaz odnosa brojnosti učestalih vrsta puževa podrazreda Heterobranchia (izuzevši vrstu *A. punctata*) i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom devet mjerenja na lokaciji Valbandon.



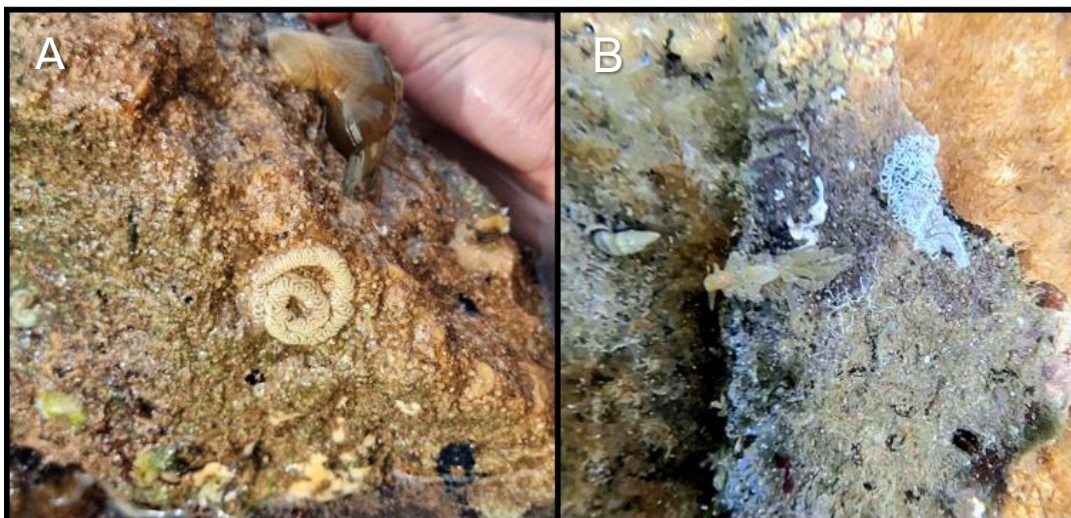
Slika 17. Prikaz odnosa brojnosti vrste *A. punctata* i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom 9 mjerenja na lokaciji Valbandon.

4.1.1 Mrijest i jajašca

Na lokaciji Valbandon na svakom od 9 terenskih istraživanja zabilježen je mrijest, odnosno, parenje vrste *A. punctata*. Jedinke su zabilježene u pozicijama karakterističnima za reprodukciju, a u razdoblju od 12.3.2024. do 19.4.2024. zabilježena su i fotografirana jajašca karakteristična za ovu vrstu (Slika 18). Jajašca karakteristična za vrstu *S. neapolitana* zabilježena su i fotografirana 13.5.2024., prije pronalaska odrasle jedinice 28.5.2024. (Slika 19).



Slika 18. A: Jajašca vrste *A. punctata*; **B:** jedinice *A. punctata* tijekom parenja. Autor slika: Iris Matulja.



Slika 19. A: Jajašca vrste *S. neapolitana*; **B:** jedinka *S. neapolitana* pokraj jajašca. Autor slika: Iris Matulja.

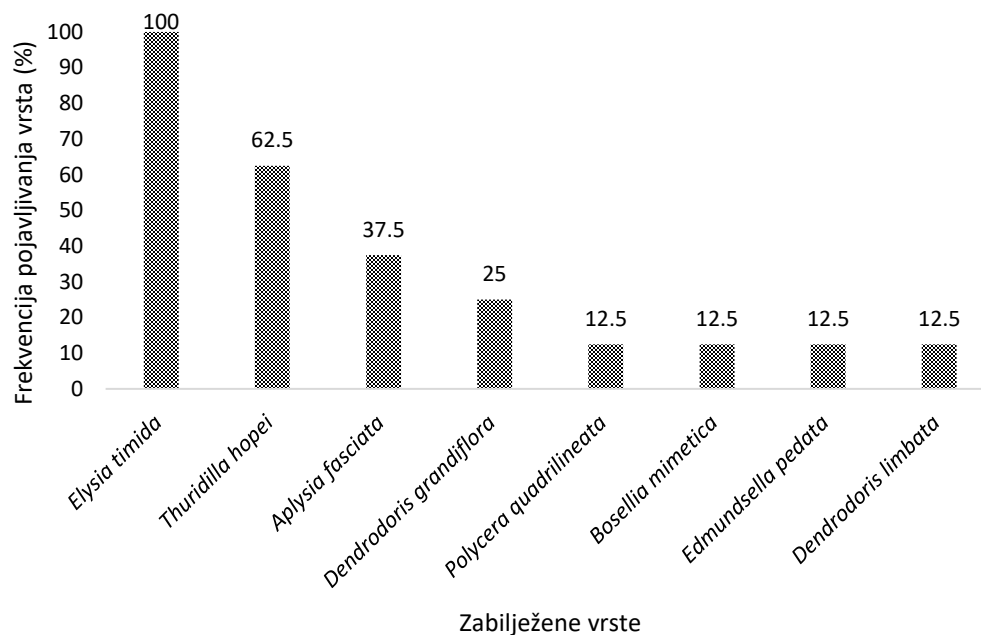
Dvije su jedinke zabilježene na dubini od 1 m dubine i to ispod kamenja, obje netom pokraj jajašaca. Po transportu u laboratorij radi identifikacije i fotografiranja, jedna se jedinka ponovo izmrijestila na staklo posude u kojoj je prenošena.

4.2 Mali Portić

Na lokaciji Mali Portić, tijekom 8 zarona, zabilježeno je ukupno 7 vrsta Heterobranchia. U Tablici 2. prikazane su zabilježene vrste tijekom svakog urona i njihova brojnost. Frekvencija pojavljivanja vrsta grafički je prikazana na Slici 20. Najučestalija vrsta bila je *E. timida*, koja je zabilježena tijekom svakog zarona, a brojnost joj je varirala od 33 – 99. Ostale učestale vrste bile su vrsta *T. hopei* koja je zabilježena tijekom 62,5 % urona u rasponu brojnosti od 2 – 11, *A. fasciata* koja je zabilježena tijekom 37,5 %, u rasponu brojnosti 1 – 2 te *D. grandiflora* za koju je jedna jedinka zabilježena u 25 % zarona. Jedinke vrsta *Bosellia mimetica* Trinchese, 1891, *Dendrodoris limbata* (Cuvier, 1804), *Edmundsella pedata* (Montagu, 1816) i *Polycera quadrilineata* (O. F. Müller, 1776) zabilježene su samo pri jednom zaronu.

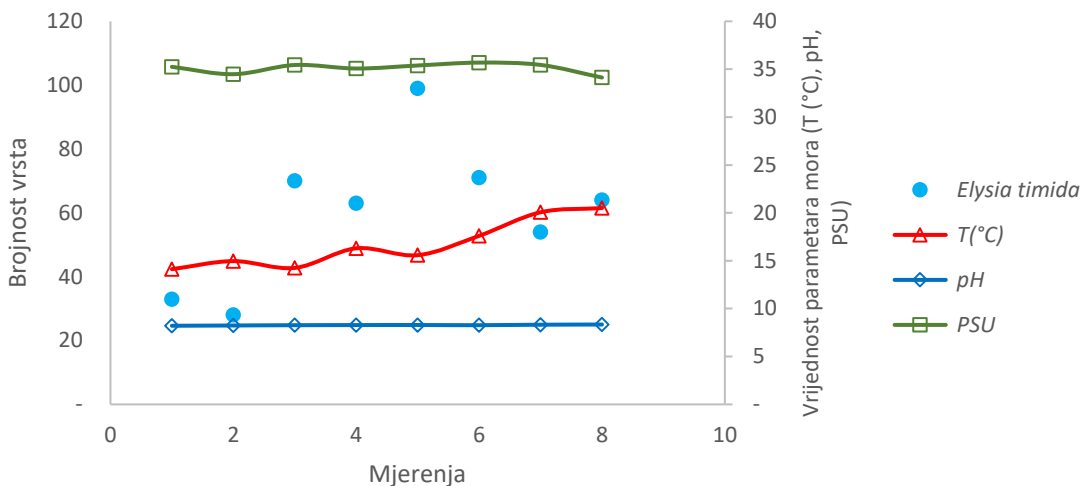
Tablica 2. Vrste podrazreda Heterobranchia zabilježenih na lokaciji Mali Portić i njihova brojnost

Vrste	13.3.2024.	20.3.2024.	29.3.2024.	18.4.2024.	27.4.2024.	10.5.2024.	18.5.2024.	23.5.2024.
<i>Aplysia fasciata</i>	-	-	2	-	-	1	-	1
<i>Bosellia mimetica</i>	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dendrodoris grandiflora</i>	-	-	-	-	-	1	-	1
<i>Dendrodoris limbata</i>	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Edmundsella pedata</i>	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Elysia timida</i>	33	28	70	63	99	71	54	64
<i>Polycera quadrilineata</i>	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thuridilla hopei</i>	2	-	-	-	5	5	9	11

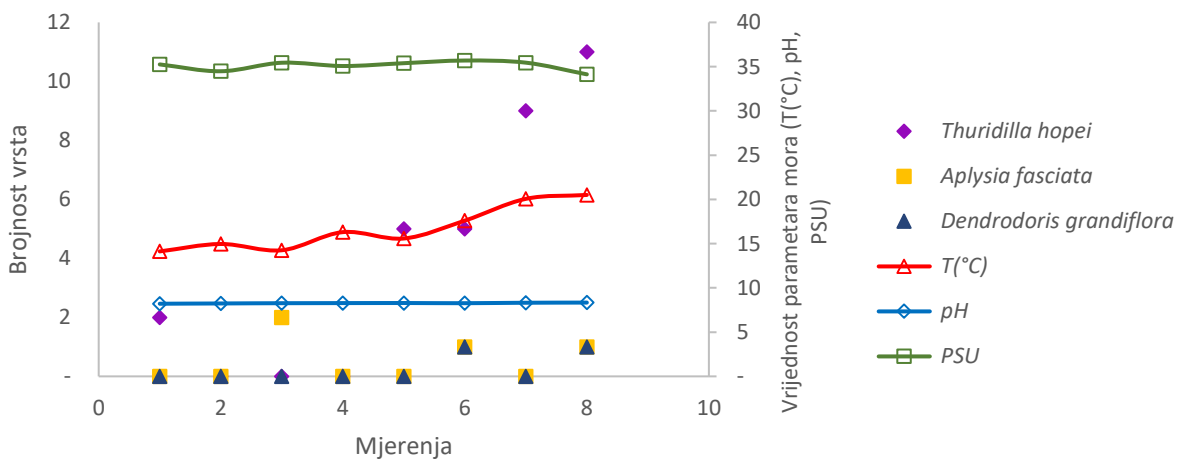


Slika 20. Grafički prikaz frekvencije pojavljivanja vrsta zabilježenih na lokaciji Mali Portić u periodu od 13.3.2024. do 23.5.2024.

Temperatura je tijekom istraživanja rasla, započevši s 14,12 °C u ožujku, a do kraja svibnja dosegla je 20,60 °C. Salinitet je pokazao minimalne varijacije od 34,13 do 35,69, kao i pH, koji je iznosio od 8,21 do 8,34. Odnos parametara mora: temperature, pH i saliniteta i brojnosti učestalih vrsta kroz vrijeme prikazan je Slikama 21 i 22. Budući da je vrsta *E. timida* pokazala izrazito veću brojnost, prikazana je na zasebnom grafu.



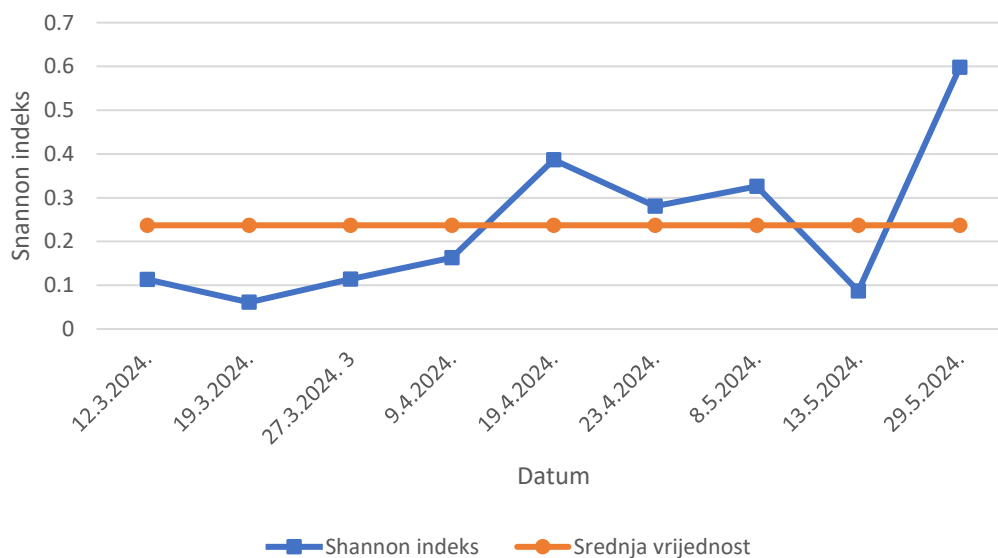
Slika 21. Prikaz odnosa brojnosti vrste *Elysia timida* i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom osam mjerenja na lokaciji Mali Portić.



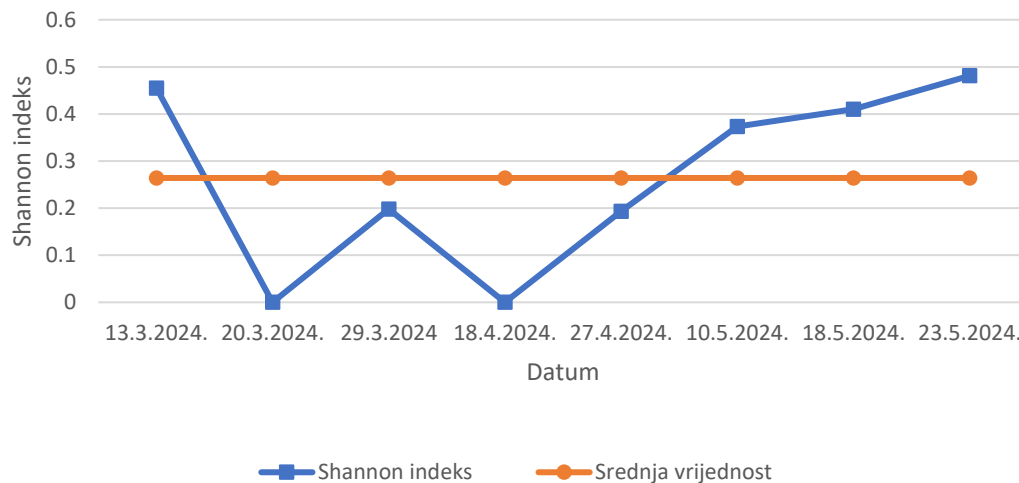
Slika 22. Prikaz odnosa brojnosti učestalih vrsta podrazreda Heterobranchia i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom 8 mjerenja na lokaciji Mali Portić.

4.3 Shannonov indeks i gustoća

Za obje lokacije alfa raznolikost izrazila se Shannonovim indeksom. Na lokaciji Valbandon on varira od 0,048 do 0,511, a srednja vrijednost mu iznosi 0,243 (Slika 23). Na lokaciji Mali Portić Shannonov indeks varira od 0 do 0,481, sa srednjom vrijednošću od 0.264 (Slika 24).

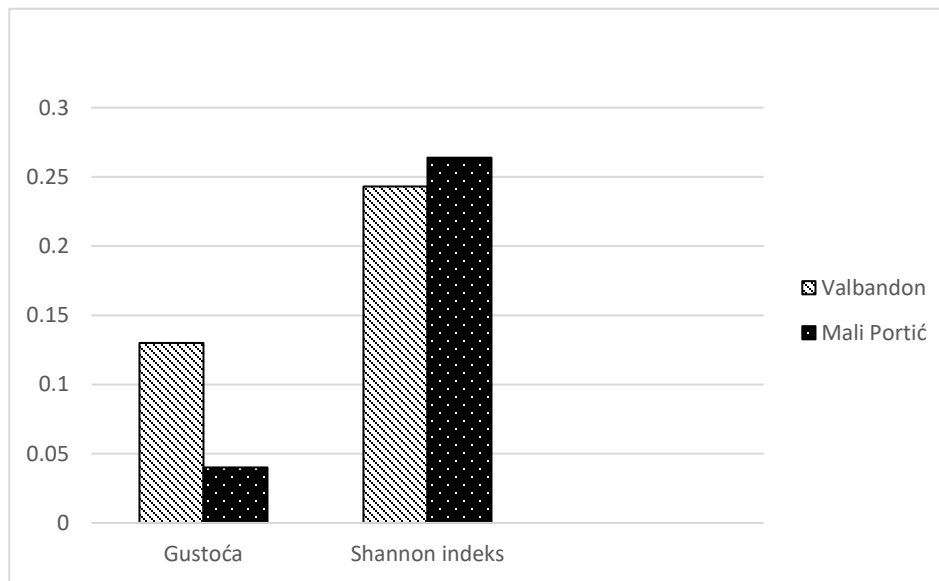


Slika 23. Shannon indeks na lokaciji Valbandon kroz vrijeme u odnosu na njegovu srednju vrijednost.



Slika 24. Shannon indeks na lokaciji Mali Portić u odnosu na njegovu srednju vrijednost.

Prosječna gustoća organizama na lokaciji VB bila je 0,13 na m², a za MP 0,04 na m². Usporedba Shannonovog indeksa i gustoće populacija prikazana je na Slici 25.



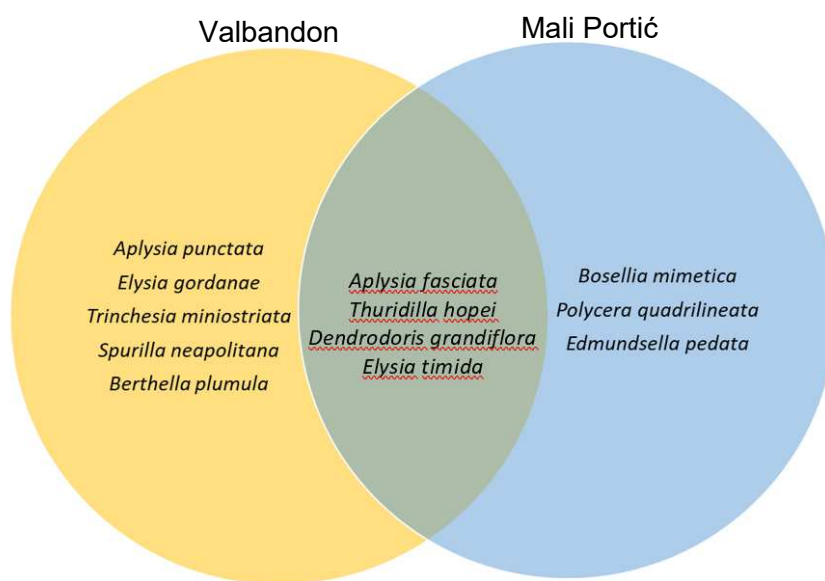
Slika 25. Usporedba gustoće i Shannonovog indeksa na lokacijama VB i MP.

4.4 Analiza sličnosti

Ukupno je tijekom istraživanja na obje lokacije pronađeno 12 različitih vrsta puževa podrazreda Heterobranchia (Tablica 3). Zabilježeno je 5 vrsta jedinstvenih za lokaciju VB i 3 vrste jedinstvene za MP. Lokacije „dijele“ 4 vrste: *A. fasciata*, *T. hopei*, *D. grandiflora* i *E. timida* (prikazano Vennovim dijagramom na Slici 26).

Tablica 3. Vrste pronađene tijekom istraživanja i njihova taksonomska podjela.

Podrazred	Subterclass	Nadred	Red	Podred	Natporodica	Porodica	Vrsta		
Heterobranchia	Ringipleura	Nudipleura	Pleurobranchida		Pleurobrancoidea	Pleurobranchidae	<i>Berthella plumula</i>		
			Nudibranchia	Doridina	Phyllidioidea	Dendrodorididae	<i>Dendrodoris grandiflora</i> <i>Dendrodoris limbata</i>		
				Cladobranchia	Aeolidioidea	Aeolidiidae	<i>Edmundsella pedata</i> <i>Polycera quadrilineata</i> <i>Spurilla neapolitana</i>		
			Fionoidea				Trinchesiidae	<i>Trinchesia miniostrata</i>	
			Tectipleura	Sacoglossa	Aplysiida		Aplysioidea	Aplysiidae	<i>Aplysia punctata</i> <i>Aplysia fasciata</i>



Slika 26. Vennov dijagram prikazuje vrste jedinstvene za Valbandon (lijevo), za Mali Portić (desno) i zajedničke vrste (sredina).

Izračunat je Sørensenov indeks sličnosti na lokacijama te iznosi 0,5, dok Jaccardov koeficijent sličnosti iznosi 0,333.

5. Rasprava

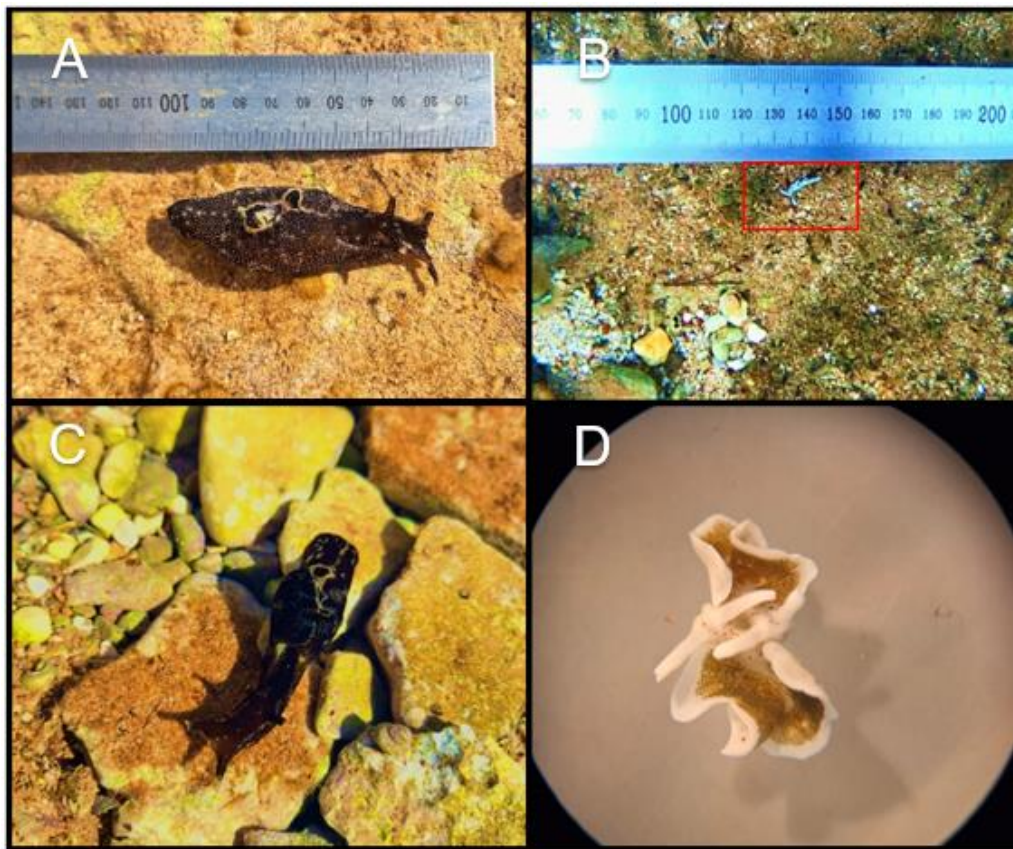
5.1 Pregled pronađenih vrsta

Tijekom istraživanja, u razdoblju od 12.3.2024. do 28.5.2024. zabilježeno je ukupno 12 vrsta puževa Heterobranchia. Na lokaciji VB pronađeno je 9 vrsta, a na MP 7. Dok ukupna prosječna brojnost i gustoća organizama u VB višestruko nadilaze one u MP, potonja lokacija pokazuje viši stupanj bioraznolikosti prema Shannonovom indeksu. Iako je u nekoliko navrata iznos Shannonovog indeksa za MP bio 0, jer je zabilježena samo jedna vrsta, njegova srednja vrijednost naposljetku dostiže veću brojku nego li ista vrijednost za VB. Postoje dva moguća objašnjenja /razliga: visoka vrijednost indeksa za MP ponavljala se u nekoliko navrata tijekom istraživanja, dok je za VB porasla tek tijekom zadnjih nekoliko uzorkovanja; i vrtoglavo visoki udio jedinki vrste *A. punctata* drastično je utjecao na vrijednost indeksa za VB, budući da je sam indeks osjetljiv na dominaciju, odnosno jednakost udjela vrsta u uzorku. Iznosi SSI (0,5) i JSI (0,333) ukazuju na umjerenu odnosno nisku do umjerenu razinu sličnosti između lokacija (Chao i Ricotta, 2019). Spomenuti porast Shannonovog indeksa u VB može se povezati s porastom temperature, budući da je raznolikost vrsta podreda Heterobranchia tipično veća u ljetnim mjesecima (Larkin i sur., 2018). Međutim, valja napomenuti da se radi o iznimno raznolikoj skupini s varijacijama u sezonalnosti. Dok Lombardo i Marletta (2021) na području Sicilije primjećuju afinitet skupine Sacoglossa za više temperature, isti autori 2023. godine za skupinu Nudibranchia bilježe najnižu vrijednost raznolikosti ljeti. Štoviše, brojnost vrste predstavnika Sacoglossa – *T. hopei* na obje lokacije rasla je s vremenom, a tako i temperaturom, što je tipično za vrstu koja pokazuje afinitet za mediteransku klimu (Betti i sur., 2017). Ostali mjereni hidrografski parametri (pH i salinitet) nisu pokazali trend promjene, pa tako ni korelaciju s prisustvom ili brojnošću vrsta puževa.

Zamijećena je dominacija vrsta na oba terena, u VB već spomenuta *A. punctata*, a u MP *E. timida* (Slika 27).

Na lokaciji VB, kod vrste *A. punctata*, simultanog hermafrodita (Anthes i Michielis, 2005), zabilježeno je reproduktivno ponašanje i lijeganje jajašca. Jedinke su zapažene u reproduktivnim lancima od 3 do 4 člana. Ovaj fenomen trajao je tijekom cijelog vremena istraživanja. Reproductive „agregacije“ tijekom sezone parenja karakteristične su za rod

Aplysia (Painter, 1992). Valja napomenuti kako na lokaciji VB alge rodova *Ulva* i *Enteromorpha*, koje ova herbivorna vrsta preferira u adultnom stadiju, nisu zabilježene (Carefoot, 1967; Córdoba González, 2022). Potencijalni stresor za vrstu bilo je nasukavanje (Slika 28) nakon perioda jakih valova ili intenzivnih oseka, međutim rod *Aplysia* je obično izložen velikim varijacijama temperature vode, valovima, količini hrane i trajanju izloženosti zraku (Kupfermann i Carew, 1974).



Slika 27. **A, C** Jedinka vrste *A. punctata* na lokaciji VB, **B** Jedinka vrste *E. timida* na lokaciji MP, **D** Jedinka vrste *E. timida* pod lupom u laboratoriju. Autor slika: Iris Matulja.

Na lokaciji MP, vrsta *E. timida* zabilježena je u svojevrsnim parovima, međutim, budući da se radi o relativno malenoj vrsti, jajašca nisu pronađena, a time i mrijest nije potvrđen. Varijacije u sastavu vrsta i brojnosti Heterobranchia u uskoj su korelaciji s prisutnosti izvora prehrane ovih stenofagnih puževa (Riccardi i sur., 2022). Visoka brojnost populacije na tom području može se povezati s prisustvom alge *Acetabularia acetabulum*,

kojom se hrani (Marín i Ros, 1991). Općenito, za ovu je vrstu specifična sezonalnost koja je uvjetovana i kontrolirana prisustvom hrane. Marín i Ros 1991. godine opisuju kako se *E. timida* pojavljuje u listopadu, s prvim nicanjem „stabljike“ *A. acetabulum*, nakon čega njena populacija raste proporcionalno sa sazrijevanjem alge do ožujka, a zatim opada. Manji porast populacije zabilježen je u svibnju, a tijekom ljetnih mjeseci ona nestaje. Tijekom istraživanja na lokaciji MP, od početka ožujka do kraja travnja populacija je rasla i dosegla svoj vrhunac 29.4.2024. godine, nakon čega je slijedio blagi pad – što se poklapa s pojavom klobuka alge u MP.

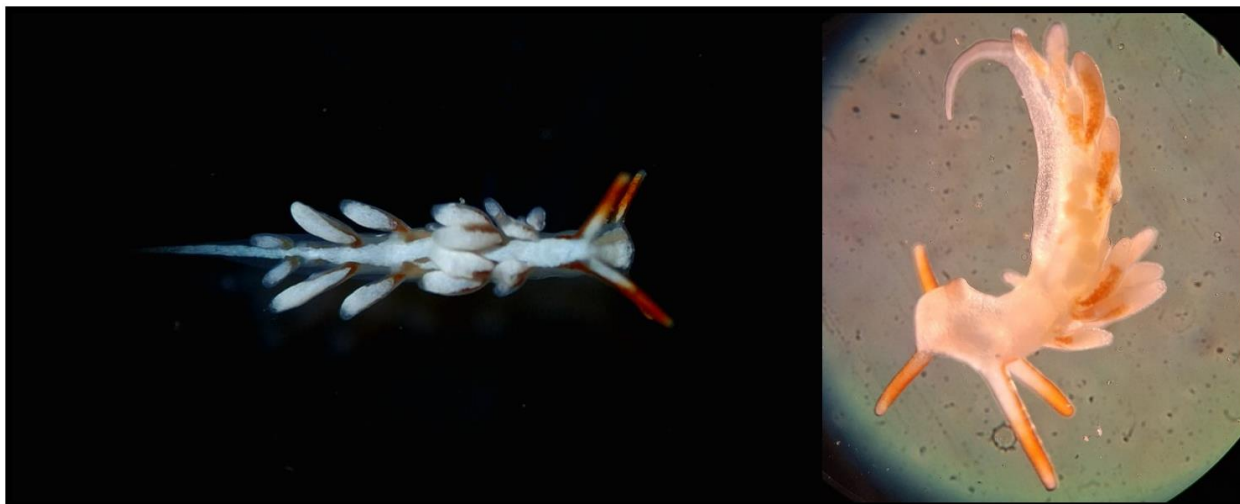


Slika 28. Nasukane jedinke vrste *A. punctata* uz vrpce jajašaca. Autor slike: Iris Matulja.

Iako je srednja vrijednost Shannonovog indeksa na lokaciji MP (0,264) poprimila veću brojku nego na VB (0,243), radi se o relativno maloj razlici te samo iz tog podatka nije moguće povući striktnu poveznicu između antropogenog učinka i narušavanja bioraznolikosti u VB. Međutim, valja istaknuti da je dominantni rod *Aplysia* zbog svoje karakteristike bioakumuliranja teških metala, potencijalni bioindikator zagađenja na području luka i zaljeva (Dirrigl i sur., 2018). Odnosno, bolja tolerancija ove vrste na uvijete zagađenja može ukazati na prisustvo istih. Literaturni podaci ukazuju na veću ukupnu

brojnost nekoliko rezistentnih vrsta skupine Mollusca, ali manju bioraznolikost na lokacijama izloženim zagađenju i onečišćenju (Terlizzi, 2005), što je moguće povezati s dominacijom vrste *A. punctata*, višom ukupnom brojnošću organizama i manjom bioraznolikosti na lokaciji VB. Također, iako u periodu istraživanja alge roda *Ulva* (karakteristična prehrana prema Carefoot, 1967) nisu zabilježene, valja napomenuti da su i one svojevrsni bioindikator antropogenog onečišćenja (Areco i sur., 2021). Neposredno prisustvo luke, kafića, godišnje nasipavanje obale i ostali antropogeni učinci mogu, prema hipotezi o srednjem poremećaju (engl. *Intermediate disturbance hypothesis*), biti razlog visoke bioraznolikosti (Townsend i sur., 1997). Intenzivne oseke, modifikacija obale i neposredni izvori zagađenja mogu djelovati kao srednji poremećaji (engl. *Intermediate disturbances*). Dial i Roughgarden 1998. godine u studiji na temu hipoteze o srednjem poremećaju pišu da iako smetnje mogu biti štetne u ekstremnim slučajevima, umjereni poremećaji pokazuju promicanje bioraznolikosti dopuštajući raznim vrstama da napreduju – što ukazuje da određene razine poremećaja mogu olakšati suživot i povećati lokalnu raznolikost. Važno je napomenuti da je hipoteza kontroverzna te neki autori zagovaraju njeno ukidanje zbog nedostatka empirijskih dokaza i teorijskih i logičkih nedostataka (Fox, 2013). Uzimajući sve spomenute aspekte u obzir, moguće je zaključiti da se posljedice antropogenog učinka na lokaciji VB očituju u sastavu vrsta, njihovoj brojnosti i bioraznolikosti.

Na lokaciji VB uzorkovana je jedinka termofilne vrste *Trinchesia miniostrata* (Slika 29), po prvi put u sjevernom Jadranu. Dosad je zabilježena na samom jugu Jadrana (Furfaro i sur., 2020) te njeno širenje areala može biti posljedica klimatskih promjena. Budući da se radi tek o drugom nalazu za Jadran, njen pronalazak ukazuje na potrebu za daljnjim i intenzivnijim istraživanjima, ne samo vrste *T. miniostrata*, već cjelokupne faune puževa Heterobranchia.



Slika 29. Vrsta *Trinchesia miniostrata* Schmekel, 1968. Autor slike: Iris Matulja.

Važno je spomenuti kako ograničeni period istraživanja ne daje potpunu sliku o bioraznolikosti puževa Heterobranchia, budući da su mnoge vrste efemerne ili aktivne noću. Istraživanje Larkin i sur. (2018) godine osvrće se na spomenutu problematiku i pokazuje kako postoji značajna razlika u sadržaju vrsta između dana i noći, pri čemu su bogatstvo i brojnost vrsta dosljedno veće noću. Napominju kako će procjene bioraznolikosti na morskim staništima koje se provode samo danju, i one koje ne uzimaju u obzir sva godišnja doba, vjerojatno podcijeniti raznolikost i brojnost mekušaca, posebno morskih puževa skupine Heterobranchia.

6. Zaključak

Podrazred Heterobranchia obuhvaća neke od najzanimljivijih morskih organizama, no istraživanja o njihovoj ekologiji u Jadranu su oskudna. U kontekstu rastućeg antropogenog utjecaja i krize izumiranja vrsta, prikupljanje podataka o ovim organizmima postaje sve važnije. Ovo istraživanje uspoređuje bioraznolikost Heterobranchia na dvije lokacije s različitim stupnjem antropogenog utjecaja: Valbandon (VB) i Mali Portić (MP). Identificirano je 12 vrsta, 9 u VB i 7 u MP. MP, s manjim antropogenim utjecajem, ima viši Shannonov indeks, ali nižu gustoću i brojnost organizama. Suprotno tome, VB ima niži Shannonov indeks, ali veću gustoću zbog prisutnosti vrste *Aplysia punctata*, potencijalnog bioindikatora zagađenja. Jaccardov koeficijent i Sørensenov indeks iznosili su redom 0,333 i 0,5 te ukazuju na umjerenu do nisku sličnost između lokacija. Zabilježene su reproduktivne aktivnosti vrsta *Aplysia punctata* i *Spurilla neapolitana*, dok je u MP dominirala vrsta *Elysia timida*. Prisutnost termofilne vrste *Trinchesia miniostrata* u VB sugerira utjecaj klimatskih promjena. Rezultati ukazuju na nužnost daljnjeg istraživanja kako bi se stekao sveobuhvatan pregled bioraznolikosti Heterobranchia na ovom području.

7. Popis literature

Aguado, F., Marin, A. (2007) Warning coloration associated with nematocyst-based defences in aeolidiodean nudibranchs. *Journal of Molluscan Studies*, 73(1): 23-28. DOI: <https://doi.org/10.1093/mollus/eyl026>

Anthes, N., Michiels, N.K. (2005) Do “sperm trading” simultaneous hermaphrodites always trade sperm?. *Behavioral Ecology*, 16(1): 188-195. DOI: <https://doi.org/10.1093/beheco/arh150>

Antolić, B., Špan, A., NIKOLIĆ, V., GRUBELIĆ, I., DESPALATOVIĆ, M., CVITKOVIĆ, I. (2010) A checklist of the benthic marine macroalgae from the eastern Adriatic coast: II. Heterokontophyta: Phaeophyceae. *Acta Adriatica*, 51(1): 9-33. DOI: <https://hrcak.srce.hr/55784>

Antolić, B., Špan, A., Žuljević, A., Nikolić, V., Grubelić, I., Despalatović, M., Cvitković, I. (2013) A checklist of the benthic marine macroalgae from the eastern Adriatic coast: IV. Rhodophyta 2: Ceramiales excluded. *Acta Adriatica*, 54(1): 41-66. DOI: <https://hrcak.srce.hr/115714>

Antolić, B., Špan, A., Žuljević, A., Nikolić, V., Grubelić, I., Despalatović, M., Cvitković, I. (2011) A checklist of the benthic marine macroalgae from the eastern Adriatic coast: III. Rhodophyta 1: Ceramiales. *Acta Adriatica*, 52(1): 67-86. DOI: <https://hrcak.srce.hr/89647>

Areco, M.M., Salomone, V.N., Dos Santos Afonso, M. (2021) *Ulva lactuca*: A bioindicator for anthropogenic contamination and its environmental remediation capacity. *Marine Environmental Research*, 171: 105468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105468>

Becerro, M.A., Turon, X., Uriz, M.J., Templado, J. (2003) Can a sponge feeder be a herbivore? *Tylodina perversa* (Gastropoda) feeding on *Aplysina aerophoba* (Demospongiae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 78(4): 429-438. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0024-4066.2002.00165.x>

Betti, F., Bava, S., Cattaneo-Vietti, R. (2017) Composition and seasonality of a heterobranch assemblage in a sublittoral, unconsolidated, wave-disturbed community in the Mediterranean Sea. *Journal of Molluscan Studies*, 83(3): 325-332. DOI: <https://doi.org/10.1093/mollus/eyx019>

Betti, F., Bavestrello, G., Cattaneo-Vietti, R. (2021) Preliminary evidence of fluorescence in Mediterranean heterobranchs. *Journal of Molluscan Studies*, 87(1): eyaa040. DOI: <https://doi.org/10.1093/mollus/eyaa040>

Bouchet, P., Rocroi, J.P., Hausdorf, B., Kaim, A., Kano, Y., Nützel, A., Parkhaev, P., Schrödl, M., Strong, E.E. (2017) Revised classification, nomenclator and typification of gastropod and monoplacophoran families. *Malacologia*, 61(1-2):1-526. DOI: <https://doi.org/10.4002/040.061.0201>

Bulleri, F., Chapman, M.G. (2010) The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. *Journal of Applied Ecology*, 47(1):26-35. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01751.x>

Burgués Palau, L., Senna, G., Laetz, E.M. (2024) Crawl away from the light! Assessing behavioral and physiological photoprotective mechanisms in tropical solar-powered sea slugs exposed to natural light intensities. *Marine Biology*, 171(2), p.50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-023-04350-w>

Camps-Castellà, J., Ballesteros, M., Trobajo, R., Pontes, M., Prado, P. (2020) Not all nudibranchs are carnivorous: trophic ecology of *Polycerella emertoni* in the Ebro Delta. *Marine Ecology Progress Series*, 645: 67-82. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps13379>

Chao, A., Ricotta, C. (2019) Quantifying evenness and linking it to diversity, beta diversity, and similarity. *Ecology*, 100(12): e02852. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecy.2852>

Dial, R., Roughgarden, J. (1998) Theory of marine communities: the intermediate disturbance hypothesis. *Ecology*, 79(4): 1412-1424. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[1412:TOMCTI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[1412:TOMCTI]2.0.CO;2)

Dirrigl Jr, F.J., Badaoui, Z., Tamez, C., Vitek, C.J., Parsons, J.G. (2018) Use of the sea hare (*Aplysia fasciata*) in marine pollution biomonitoring of harbors and bays. *Marine*

Pollution Bulletin, 129(2), pp.681-688. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.056>

Eastman, K.E. (2024) transcriptional impacts of biotic interactions on eukaryotic specialized metabolism. Doktorska dizertacija, Purdue University Graduate School. DOI: <https://doi.org/10.25394/PGS.25766031.v1>

Engineer, C.B., Braude, S. (2010) Quantifying Biodiversity. An introduction to methods and models in ecology, evolution and conservation biology. Princeton University Press, USA: 198-213. DOI: <https://doi.org/10.1515/9781400835454-022>

Fox, J.W. (2013) The intermediate disturbance hypothesis should be abandoned. *Trends in ecology & evolution*, 28(2): 86-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.08.014>

Gaston, K.J. (2000) Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783): 220-227. DOI: <https://doi.org/10.1038/35012228>

Gaston, K.J., Spicer, J.I. (2013) *Biodiversity: an introduction*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-405-11857-6

Goodheart, J.A., Bely, A.E. (2017) Sequestration of nematocysts by divergent cnidarian predators: mechanism, function, and evolution. *Invertebrate Biology*, 136(1), pp.75-91. DOI: <https://doi.org/10.1111/ivb.12154>

Goodheart, J.A., Barone, V., Lyons, D.C. (2022) Movement and storage of nematocysts across development in the nudibranch *Berghia stephanieae* (Valdés, 2005). *Frontiers in Zoology*, 19(1), p.16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12983-022-00460-1>

Graham, A. (1938) IX.—The structure and function of the alimentary canal of aeolid molluscs, with a discussion on their nematocysts. *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh*, 59(2): 267-307. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0080456800009091>

Hallas, J.M., Chichvarkhin, A., Gosliner, T.M. (2017) Aligning evidence: concerns regarding multiple sequence alignments in estimating the phylogeny of the Nudibranchia suborder Doridina. *Royal Society Open Science*, 4(10): 171095. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.171095>

Händeler, K., Wägele, H. (2007) Preliminary study on molecular phylogeny of Sacoglossa and a compilation of their food organisms. *Bonner Zoologische Beiträge*, 55(3-4): 231-254.

Hunter Jr, M.L., Gibbs, J.P. (2006) *Fundamentals of conservation biology*. John Wiley i Sons. ISBN-13: 978-1-4051-3545-0

Jensen, K.R. (2007) Biogeography of the Sacoglossa (Mollusca, Opisthobranchia). *Bonner Zoologische Beiträge*, 55(3/4): 255-281. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13425892>

Jensen, K.R. (1991) Comparison of alimentary systems in shelled and non-shelled Sacoglossa (Mollusca, Opisthobranchia). *Acta Zoologica*, 72(3): 143-150. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.1991.tb00941.x>

Jensen, K.R., Taylor, J.D. (1996) The Diaphanidae as a possible sister group of the Sacoglossa (Gastropoda, Opisthobranchia). *Origin and evolutionary radiation of the Mollusca* 231-247. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198549802.003.0020>

Kano, Y., Brenzinger, B., Nützel, A., Wilson, N.G., Schrödl, M. (2016) Ringiculid bubble snails recovered as the sister group to sea slugs (Nudipleura). *Scientific reports*, 6(1): 30908. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep30908>

Kumar, P., Dobriyal, M., Kale, A., Pandey, A.K., Tomar, R.S., Thounaojam, E., 2022. Calculating forest species diversity with information-theory based indices using sentinel-2A sensor's of Mahavir Swami Wildlife Sanctuary. *PLoS One*, 17(5), p.e0268018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268018>

Kupfermann, I., Carew, T.J. (1974) Behavior patterns of *Aplysia californica* in its natural environment. *Behavioral biology*, 12(3): 317-337. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0091-6773\(74\)91503-X](https://doi.org/10.1016/S0091-6773(74)91503-X)

Larkin, M.F., Smith, S.D., Willan, R.C., Davis, T.R. (2018) Diel and seasonal variation in heterobranch sea slug assemblages within an embayment in temperate eastern Australia. *Marine Biodiversity*, 48: 1541-1550. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12526-017-0700-9>

Lobo-da-Cunha, A. (2019) Structure and function of the digestive system in molluscs. *Cell and tissue research*, 377(3): 475-503. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00441-019-03085-9>

Lombardo, A. (2021) The nudibranchs (Gastropoda Heterobranchia) of the central-eastern coast of Sicily I: Suborder Cladobranchia. *Biodivers. J*, 12: 913-935. DOI: <https://doi.org/10.31396/Biodiv.Jour.2021.12.4.913.935>

Lombardo, A., Marletta, G. (2021) The sacoglossans (Gastropoda Heterobranchia) of the central-eastern coast of Sicily (Ionian Sea). *Biodiversity Journal*, 12(3): 705-718. DOI: <https://doi.org/10.31396/Biodiv.Jour.2021.12.3.705.718>

Lombardo, A., Marletta, G. (2022) New observations on two umbraculid molluscs: *Tylodina perversa* (Umbraculida: Tylodinidae) and *Umbraculum umbraculum* (Umbraculida, Umbraculidae) along the central-eastern coast of Sicily. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*, 65(2): 15-25. DOI: <https://doi.org/10.3897/travaux.65.e91185>

Lombardo, A., Marletta, G. (2022) The nudibranchs (Gastropoda Heterobranchia) of the central-eastern coast of Sicily, II: Suborder Doridina. *Biodiversity Journal*, 13: 297-320. DOI: <https://doi.org/10.31396/Biodiv.Jour.2022.13.2.297.320>

Lombardo, A., Marletta, G. (2023) Seasonal trend of nudibranchs (Gastropoda, Heterobranchia) along the central-eastern coast of Sicily (Mediterranean Sea). *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 29(1). DOI: <https://doi.org/10.31396/Biodiv.Jour.2022.13.3.515.530>

Marín, A., Ros, J.D. (1992) Dynamics of a peculiar plant-herbivore relationship: the photosynthetic ascoglossan *Elysia timida* and the chlorophycean *Acetabularia acetabulum*. *Marine Biology*, 112, pp.677-682. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00346186>

Martin, R. (2003) Management of nematocysts in the alimentary tract and in cnidosacs of the aeolid nudibranch gastropod *Cratena peregrina*. *Marine Biology*, 143: 533-541. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1078-8>

Marzinelli, E.M., Underwood, A.J., Coleman, R.A. (2012) Modified habitats change ecological processes affecting a non-indigenous epibiont. *Marine Ecology Progress Series*, 446: 119-129. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps09472>

Miller, M.C. (2001) Aeolid nudibranchs (Gastropoda: Opisthobranchia) of the family Aeolidiidae from New Zealand waters. *Journal of Natural History*, 35(5): 629-662. DOI: <https://doi.org/10.1080/00222930152023081>

Moles, J., Giribet, G. (2021) A polyvalent and universal tool for genomic studies in gastropod molluscs (Heterobranchia). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 155: 106996. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106996>

Morelli, L., Cartaxana, P., Cruz, S. (2023) Food shaped photosynthesis: Photophysiology of the sea slug *Elysia viridis* fed with two alternative chloroplast donors. *Open Research Europe*, 3. DOI: <https://doi.org/10.12688/openreseurope.16162.2>

Painter, S.D. (1992) Coordination of reproductive activity in *Aplysia*: peptide neurohormones, neurotransmitters, and pheromones encoded by the egg-laying hormone family of genes. *The Biological Bulletin*, 183(1): 165-172. DOI: <https://doi.org/10.2307/1542419>

Pansini, M., Longo, C. (2003) A review of the Mediterranean Sea sponge biogeography with, in appendix, a list of the demosponges hitherto recorded from this sea. *Biogeographia—The Journal of Integrative Biogeography*, 24(1). DOI: <https://doi.org/10.21426/B6110107>

Pimm, S.L., Jenkins, C.N., Abell, R., Brooks, T.M., Gittleman, J.L., Joppa, L.N., Raven, P.H., Roberts, C.M., Sexton, J.O. (2014) The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187): 1246752. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1246752>

NN (2021) Narodne novine – Pravilnik o popisu stanišnih tipova i karti staništa. Dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_03_27_588.html (Pristupljeno 23. 8. 2024)

Pullin, A.S. (2002) *Conservation biology*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139051927>

Renau, M.F., Salvador, X., Moles, J. (2024) Molecular and morpho-anatomical assessment of the family Dorididae (Mollusca, Nudibranchia) in the Mediterranean and North-East Atlantic. *European Journal of Taxonomy*, 943: 59-79. DOI: <https://doi.org/10.5852/ejt.2024.943.2585>

Riccardi, A., Colletti, A., Virgili, R., Cerrano, C. (2022) Diversity and behavior of sea slugs (Heterobranchia) in the rocky tide pools of Conero Riviera (western Adriatic Sea). *The European Zoological Journal*, 89(1): 856-869. DOI: <https://doi.org/10.1080/24750263.2022.2095047>

Romano, R.A. (2022) Feeding Biology of the Aeolid Nudibranch *Flabellina verrucosa*. University of New Hampshire. <https://scholars.unh.edu/thesis/1618>

Santos, L.N., Franco, A.C.S., de Souza, J.S., Miyahira, I.C., Rodrigues, A.J.S., Goncalves, I.C.B., Krepsky, N., Monte, H.A., Naveira, C., Cabrini, T.M., Abude, R.R. (2021) Using richness of native and non-native aquatic species along a climatic gradient to test the intermediate disturbance hypothesis. *Hydrobiologia*, 848: 2055-2075. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04525-w>

Schrödl, M., Jörger, K.M., Klussmann-Kolb, A., Wilson, N.G. (2011) Bye bye "Opisthobranchia"! A review on the contribution of mesopsammic sea slugs to euthyneuran systematics. *Thalassas*, 27(2): 101-112.

Smith, S.D., Nimbs, M.J. (2017) Quantifying temporal variation in heterobranch (Mollusca: Gastropoda) sea slug assemblages: tests of alternate models. *Molluscan Research*, 37(2): 140-147. DOI: <https://doi.org/10.1080/13235818.2017.1279472>

Solem, G. Alan. "gastropod". Encyclopedia Britannica, 13 Jun. 2024, <https://www.britannica.com/animal/gastropod>. Pristupljeno 24. 8. 2024.

Terlizzi, A., Scuderi, D., Fraschetti, S., Anderson, M.J. (2005) Quantifying effects of pollution on biodiversity: a case study of highly diverse molluscan assemblages in the Mediterranean. *Marine Biology*, 148(2): 293-305. DOI: 10.1007/S00227-005-0080-8

Todd, C.D. (1981) The ecology of nudibranch molluscs, u Barnes, H.B. et al. (ur.) *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 19: 141-234.

Townsend, C.R., Scarsbrook, M.R., Dolédec, S. (1997) The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. *Limnology and Oceanography*, 42(5): 938-949. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5.0938>

Tukiainen, H., Maliniemi, T., Alahuhta, J., Hjort, J., Lindholm, M., Salminen, H., Snåre, H., Toivanen, M., Vilmi, A., Heino, J. (2023) Quantifying alpha, beta and gamma geodiversity. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 47(1): 140-151. DOI: <https://doi.org/10.1177/03091333221114714>

Valdés, Á., Bouchet, P. (1998) Naked in toxic fluids: a nudibranch mollusc from hydrothermal vents. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(1-3): 319-327. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(97\)00075-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(97)00075-1)

Varney, R.M., Brenzinger, B., Malaquias, M.A.E., Meyer, C.P., Schrödl, M., Kocot, K.M. (2021) Assessment of mitochondrial genomes for heterobranch gastropod phylogenetics. *BMC Ecology and Evolution*, 21: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12862-020-01728-y>

Vendetti, J.E., Trowbridge, C.D., Krug, P.J. (2012) Poecilogony and population genetic structure in *Elysia pusilla* (Heterobranchia: Sacoglossa), and reproductive data for five sacoglossans that express dimorphisms in larval development. *Integrative and Comparative Biology*, 52(1): 138-150. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/ics077>

Vorobyeva, O.A., Ekimova, I.A., Malakhov, V.V. (2017) The structure of cnidosacs in nudibranch mollusc *Aeolidia papillosa* (Linnaeus, 1761) and presumable mechanism of nematocysts release. *Doklady Biological Sciences*, 476: 196-199. Pleiades Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0012496617050052>

Wägele, H., Willan, R.C. (2000) Phylogeny of the Nudibranchia. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 130(1): 83-181. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2000.tb02196.x>

Young, D.K. (1966) Systematics, food and functional morphology of the feeding apparatus of some dorid nudibranchs. University of Hawai'i at Manoa.

Togawa, Y. (2021) Studies on Cnidophage, Specialized Cell for Kleptocnida, of *Pteraeolidia semperi* (Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia). Doktorska dizertacija, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba.

8. Popis slika

Slika 1. Jedinke vrste *Tyrodina perversa* (Gmelin, 1791) i njihova jajašca na spužvi vrste *Aplysina aerophoba* (Nardo, 1833). Autor slike: Iris Matulja.

Slika 2. Vrpce jajašaca vrste **A:** *Spurilla neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) i **B:** *Aplysia punctata* (Cuvier, 1803) Autor slike: Iris Matulja.

Slika 3. Shema recentne filogenetičke podjele Gastropoda.

Slika 4. Primjer doridnog predstavnika skupine Nudibranchia: **A:** *Dendrodoris limbata* (Cuvier, 1804) i **B:** eolidnog *S. neapolitana*. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 5. Anatomija vrste *S. neapolitana*. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 6. Usporedba obojenosti i posljedične uočljivosti vrste *Cratena peregrina* (Gmelin, 1791) (A) i *S. neapolitana* (B). Autor slike: Iris Matulja.

Slika 7. *Dendrodoris grandiflora* (Rapp, 1827) posjeduje plašt koji se široko širi oko stopala, slično kao u roda *Discodoris* Bergh, 1877. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 8. *Felimare picta* (R. A. Philippi, 1836) posjeduje izduženije tijelo i plašt koji se drži diskretno iznad stopala, slično kao u roda *Hypselodoris* W. Stimpson, 1855. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 9. Proširenje probavne žlijezde (osjenčano područje) u *Sacoglossa* (nije nacrtano u mjerilu). **A,** *Ascobulla*, poprečni presjek prikazan desno. **B,** *Volvatella*, presjek kroz plašt prikazan desno. **C,** *Berthelinia*, poprečni presjek prikazan desno. **D,** *Lobiger*. **E,** *Oksinoja*. **F,** *Cyerce*, poprečni presjek prikazan dolje. **G,** *Mourgona*, povećanje cera prikazano desno. **H,** Ceras iz *Costasielle*. **I,** Stiligeridae, povećanje cera prikazano desno. **J,** Elysiidae. (Preuzeto iz Jensen 1991., sl. 6)

Slika 10. Detalj cerata vrste *Cratena peregrina* (Gmelin, 1791). Autor slike: Iris Matulja.

Slika 11. Vrsta *Aplysia punctata* (Cuvier, 1803) u stresu ispušta ljubičastu „tintu“. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 12. Lokacije uzorkovanja na jugu Istarskog poluotoka.

Slika 13. Karta područja uzorkovanja na lokaciji Valbandon.

Slika 14. Karta područja uzorkovanja na lokaciji Mali Portić.

Slika 15. Grafički prikaz frekvencija pojavljivanja vrsta skupine Opisthobranchia zabilježenih na lokaciji Valbandon u periodu od 12.3.2024. do 28.5.2024.

Slika 16. Prikaz odnosa brojnosti učestalih vrsta (izuzevši vrstu *A. punctata*) i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom 9 mjerenja na lokaciji Valbandon.

Slika 17. Prikaz odnosa brojnosti vrste *A. punctata* i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom 9 mjerenja na lokaciji Valbandon.

Slika 18. A: Jajašca vrste *A. punctata*; **B:** Jedinke *A. punctata* tijekom parenja. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 19. A: Jajašca vrste *S. neapolitana*; **B:** jedinka *S. neapolitana* pokraj jajašca. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 20. Grafički prikaz frekvencija pojavljivanja vrsta zabilježenih na lokaciji Mali Portić u periodu od 13. 3. 2024. do 23. 5. 2024.

Slika 21. Prikaz odnosa brojnosti vrste *Elysia timida* i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom 8 mjerenja na lokaciji Mali Portić.

Slika 22. Prikaz odnosa brojnosti učestalih vrsta i parametara mora (temperatura, salinitet i pH) kroz vrijeme tijekom 8 mjerenja na lokaciji Mali Portić.

Slika 23. Shannon indeks na lokaciji Valbandon kroz vrijeme u odnosu na njegovu srednju vrijednost.

Slika 24. Shannon indeks na lokaciji Mali Portić u odnosu na njegovu srednju vrijednost.

Slika 25. Usporedba gustoće i Shannon indeksa na lokacijama VB i MP.

Slika 26. Vennov dijagram prikazuje vrste jedinstvene za Valbandon (lijevo), za Mali Portić (desno) i zajedničke vrste (sredina).

Slika 27. A, C Jedinka vrste *A. punctata* na lokaciji VB, **B** Jedinka vrste *E. timida* na lokaciji MP, **D** Jedinka vrste *E. timida* pod lupom u laboratoriju.

Slika 28. Nasukane jedinice vrste *A. punctata* uz vrpce jajašaca. Autor slike: Iris Matulja.

Slika 29. *Trinchesia miniostrata* Schmekel, 1968. Autor slike: Iris Matulja.

9. Popis tablica

Tablica 1. Vrste zabilježene na lokaciji Valbandon i njihova brojnost.

Tablica 2. Brojnost vrsta zabilježenih na lokaciji Mali Portić.

Tablica 3. Sve vrste pronađene tijekom istraživanja i njihova taksonomska podjela.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Završni rad

Sveučilišni prijediplomski studij Znanost o moru

Bioraznolikost puževa stražnjoškržnjaka (Heterobranchia) u infralitoralu južne Istre.

IRIS MATULJA

Fakultet prirodnih znanosti, Zagrebačka ulica 30, 52100 Pula, Hrvatska

Sažetak

Istraživanje provedeno od 12.3.2024. do 28.5.2024. godine obuhvatilo je usporedbu bioraznolikosti puževa podrazreda Heterobranchia na dvije lokacije u sjevernom Jadranu, Valbandonu (VB) i Malom Portiću (MP), koje se razlikuju po stupnju antropogenog utjecaja. Zabilježeno je ukupno 12 vrsta, pri čemu je na lokaciji VB utvrđeno devet, a na lokaciji MP sedam vrsta. Ukupna brojnost i gustoća organizama bila je veća na VB, dok je na lokaciji MP zabilježen viši Shannonov indeks, sugerirajući veću bioraznolikost. Dominantna vrsta *Aplysia punctata* na VB potencijalni je bioindikator zagađenja teškim metalima. Posljedice antropogenog učinka na lokaciji VB očituju se u sastavu vrsta, njihovoj brojnosti i bioraznolikosti. S druge strane, na MP je dominirala vrsta *Elysia timida*, čiji je rast populacije bio povezan s pojavom alge *Acetabularia acetabulum*. Vrsta *Thuridilla hopei* pokazala je porast brojnosti s povećanjem temperature. Prisutnost termofilne vrste *Trinchesia miniostrata* na VB ukazuje na potencijalni utjecaj klimatskih promjena na širenje areala ove vrste. Rezultati istraživanja ističu važnost daljnjeg monitoringa i istraživanja kako bi se dobila sveobuhvatniji uvid u bioraznolikosti puževa podrazreda Heterobranchia u sjevernom Jadranu.

Ključne riječi: Heterobranchia, bioraznolikost, južna Istra, Shannonov indeks

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Paolo Paliaga

Komentor: Dr. sc. Neven Iveša

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Petra Burić

Izv. prof. Ines Kovačić

Izv. prof. dr. sc. Paolo Paliaga

Dr. sc. Neven Iveša

Datum obrane: 13.9.2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Juraj Dobrila University of Pula

Bachelor thesis

University Undergraduate Study Programme – Marine Sciences

Biodiversity of Heterobranchia in the infralittoral of southern Istria.

IRIS MATULJA

Faculty of Natural Sciences, Zagrebačka ulica 30, 52100 Pula, Croatia

Abstract

The research conducted from March 12, 2024 to May 28, 2024 included a comparison of the biodiversity of snails of the subclass Heterobranchia at two locations in the northern Adriatic, Valbandon (VB) and Mali Portić (MP), which differ in the degree of anthropogenic influence. A total of 12 species were recorded, of which nine species were found at the VB location, and seven species at the MP location. The total abundance and density of organisms was higher at VB, while a higher Shannon index was recorded at the MP location, suggesting greater biodiversity. The dominant species *Aplysia punctata* in the VB is a potential bioindicator of heavy metal pollution. The consequences of anthropogenic impact on the VB location are reflected in the composition of species, their abundance and biodiversity. On the other hand, the MP was dominated by the species *Elysia timida*, whose population growth was associated with the appearance of the alga *Acetabularia acetabulum*. The species *Thuridilla hopei* showed an increase in abundance with increasing temperature. The presence of the thermophilic species *Trinchesia miniostrata* in VB indicates the potential impact of climate change on the expansion of the range of this species. The research results highlight the importance of further monitoring and research in order to gain a more comprehensive insight into the biodiversity of snails of the subclass Heterobranchia in the northern Adriatic.

Key words: Heterobranchia, biodiversity, southern Istria, Shannon index

Supervisor: Izv. prof. dr. sc. Paolo Paliaga

Dr. sc. Neven Iveša

Reviewers: Doc. dr. sc. Petra Burić

Izv. prof. Ines Kovačić

Izv. prof. dr. sc. Paolo Paliaga

Dr. sc. Neven Iveša

Thesis defence: 13.9.2024.