

# Raznolikost i struktura populacija kamenih koralja (Anthozoa, Scleractinia) u Nacionalnom parku Brijuni

---

Štokić, Katia

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:709264>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-23**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Katia Štokić

**Raznolikost i ugroženost kamenih koralja  
(Anthozoa, Scleractinia) u Nacionalnom  
parku Brijuni**

Diplomski rad

Zagreb, 2023.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Katia Štokić

**Diversity and endergement of scleractinian  
corals (Anthozoa, Scleractinia) in  
the Brijuni National Park**

Master thesis

Zagreb, 2023.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za biologiju mora na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Petra Kružića. Predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra Ekologije i zaštite prirode.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## Raznolikost i ugroženost kamenih koralja (Anthozoa, Scleractinia) u Nacionalnom parku Brijuni

Katia Štokić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

U zadnja dva desetljeća tijekom ljetne sezone događaju se masovna uginuća sesilnih vrsta u Sredozemnom moru zbog utjecaja povećane temperature mora (pozitivne temperaturne anomalije) sve do 50 metara dubine. Ovi poremećaji uzrokuju teške posljedice na održivost populacija zbog njihove dugovječnosti (mogu biti stare i do stotinu godina) i spore populacijske dinamike. Istraživanja su provedena na 6 postaja unutar Nacionalnog parka Brijuni u jesen 2022. godine. Na istraživanim postajama u NP Brijuni utvrđeno je 34 vrste koralja, što je 29,3% vrsta utvrđenih za Jadransko more. Najviše vrsta koralja u NP Brijuni utvrđeno je na postajama Vrsar (26 vrsta koralja) i Peneda (25 vrsta koralja). Vrijednosti površinske temperature mora u 2022. godini bile su nešto nižih vrijednosti (do 27,7°C) nego prošlih godina kada su temperature mora išle i do 30°C. Kod vrsta *Balanophyllia europaea*, *Cladocora caespitosa*, *Leptopsammia pruvoti* i *Parazoanthus axinellae* tijekom istraživanja utvrđen je pojačan negativan utjecaj povišene temperature mora kroz pojavu nekroze tkiva polipa i povećanu smrtnost jedinki i kolonija. Na svim istraživanim postajama utvrđeno je povećanje biomase planktonskih i bentoskih alga, te stvaranje mukusa koji negativno djeluju na populacije koralja. Smeđa alga *Acinetospora crinita* prekriva morsko dno na svim istraživanim postajama. Tijekom istraživanja koralja u NP Brijuni utvrđena je široka rasprostranjenost invazivne alge *Caulerpa cylindracea* Sonder na svim istraživanim postajama. Iako su na istraživanim postajama pronađeni ostavljeni ribolovni alati, ti alati nisu uzrok nekih većih ugroza bentoskih vrsta. Zaštićena područja opravdavaju svoju svrhu u Jadranskom moru kroz smanjen negativni antropogeni utjecaj, što je vidljivo i u dobivenim rezultatima ovog rada.

Ključne riječi: Koralji, Zaštićena područja, NP Brijuni, Jadransko more  
(49 stranica, 32 slike, 5 tablica, 40 literaturna navoda. Jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Mentor: Dr. sc. Petar Kružić, izv. prof.

Ocjenitelji: Izvr.prof.dr.sc Petar Kružić, prof.dr.sc. Domagoj Đikić, prof.dr.sc. Antun Alegro

Rad prihvaćen:

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Master thesis

### Diversity and endergement of scleractinian corals (Anthozoa, Scleractinia) in the Brijuni National Park

Katia Štokić

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

In the last two decades, during the summer season, mass mortalities of sessile species have occurred in the Mediterranean Sea due to the influence of increased sea temperature (positive temperature anomalies) down to 50 meters depth. These disturbances cause severe consequences for the sustainability of populations due to their longevity (they can be up to a hundred years old) and slow population dynamics. The research was conducted at 6 stations within the Brijuni National Park during autumn 2022. 34 species of corals were found at the research stations, which is 29.3% of the species found in the Adriatic Sea. The most species of corals in NP Brijuni were found at stations Vrsar (26 species of corals) and Peneda (25 species of corals). Sea surface temperature values in 2022 were slightly lower (up to 27.7°C) than in previous years when sea temperatures reached up to 30°C. In the case of the species *Balanophyllia europaea*, *Cladocora caespitosa*, *Leptopsammia pruvoti* and *Parazoanthus axinellae*, during the research, an increasingly negative influence of increased sea temperature through necrosis of polyp tissue and increased mortality of individuals and colonies was determined. At all investigated stations, an increase in the biomass of planktonic and benthic algae, as well as the formation of mucus, which have a negative effect on coral populations, was determined. The brown alga *Acinetospora crinita* covers the seabed at all investigated stations. During the research of corals in NP Brijuni, a wide distribution of the invasive alga *Caulerpa cylindracea* Sonder was found at all researched stations. Although left fishing tools were found at the researched stations, these tools are not the cause of any major threats to benthic species. Protected areas justify their purpose in the Adriatic Sea through reduced negative anthropogenic influence, which is evident in the results of this work.

Key words: Corals, Protected areas, NP Brijuni, Adriatic Sea  
(49 pages, 32 figures, 5 tables, 40 references. Original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Supervisor: Dr. Petar Kružić, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Petar Kružić, Assoc. Prof., Dr. Domagoj Đikić, Assoc. Prof., Dr. Antun Alegro, Assoc. Prof.

Thesis accepted:

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD.....   | 1  |
| 1.1. Oceanografija sjevernog Jadrana.....                                      | 1  |
| 1.2. Nacionalni park Brijuni.....  | 3  |
| 1.3. Negativni čimbenici.....  | 5  |
| 1.4. Razred koralji (Anthozoa).....  | 6  |
| 1.4.1. Opća strukturalna i funkcionalna obilježja.....                         | 6  |
| 1.4.2. Rasprostranjenost i biološka raznolikost.....                           | 11 |
| 1.4.3. Red: Scleractinia ili Madreporaria (kameni ili madreporni koralji)..... | 12 |
| 2. CILJ ISTRAŽIVANJA.....  | 13 |
| 3. MATERIJALI I METODE.....  | 13 |
| 3.1. Područje istraživanja.....  | 15 |
| 4. REZULTATI.....  | 17 |
| 4.1. Životne zajednice na istraživanim postajama.....                          | 17 |
| 4.2. Fizikalno-kemijski parametri na postajama Grunj i Jerolim.....            | 17 |
| 4.3. Raznolikost koralja na istraživanim postajama u NP Brijuni.....           | 21 |
| 4.4. Praćenje stanja koralja na istraživanim postajama.....                    | 25 |
| 4.4.1. <i>Parazoanthus axinellae</i> Schmidt, 1862.....                        | 26 |
| 4.4.2. <i>Cladocora caespitosa</i> (Linnaeus, 1767).....                       | 28 |
| 4.4.3. <i>Balanophyllia europaea</i> (Risso, 1826).....                        | 31 |
| 4.4.4. <i>Caryophyllia inornata</i> (Duncan, 1878).....                        | 34 |
| 4.4.5. <i>Leptopsammia pruvoti</i> Lacase-Duthiers, 1897.....                  | 35 |
| 4.5. Negativni utjecaji na raznolikost koralja na istraživanim postajama.....  | 38 |
| 5. RASPRAVA.....   | 41 |
| 6. ZAKLJUČCI.....  | 45 |
| 7. LITERATURA.....   | 46 |
| ŽIVOTOPIS  |    |
| PRILOG   |    |

# 1. Uvod

Jadran je poluzatvoreno i plitko more, što ga čini vrlo osjetljivim na utjecaj globalnih klimatskih promjena, invazivnih vrsta i ljudskih aktivnosti (npr. turizam, ribarstvo, marikultura, onečišćenje, nasipavanje obale). Specifični geografski položaj obogaćuje ga s velikom biološkom raznolikošću. Dosada su proglašena tri nacionalna parka (Brijuni, Kornati i Mljet) i dva parka prirode (Telašćica i Lastovo) na hrvatskom dijelu Jadrana. Zaštita prirode određena je zakonima i pravilnicima Republike Hrvatske (navedite kojim pravilnicima i zakonima), međutim u stvarnosti se zaštita prirode provodi vrlo loše. Razlog loše provedbe zakona je složeni sustav upravljanja, nepovezanost državnih tijela, sukob pojedinih odredbi zakona i nedostatak kontrole provedbe istih. Problem leži i u manjku podataka o bioraznolikosti, koji se nastoji ispraviti kontinuiranim i dugoročnim istraživanjima. Za kvalitetnu zaštitu i održivo upravljanje potrebno je razumijevanje prijetnji morskom okolišu uz kontekst nastanka i razvoja istih (Prvan 2016). Dodatni problem zaštite prirode u Republici Hrvatskoj je niska razina svijesti o važnosti očuvanja bioraznolikosti i poštivanja zakona.

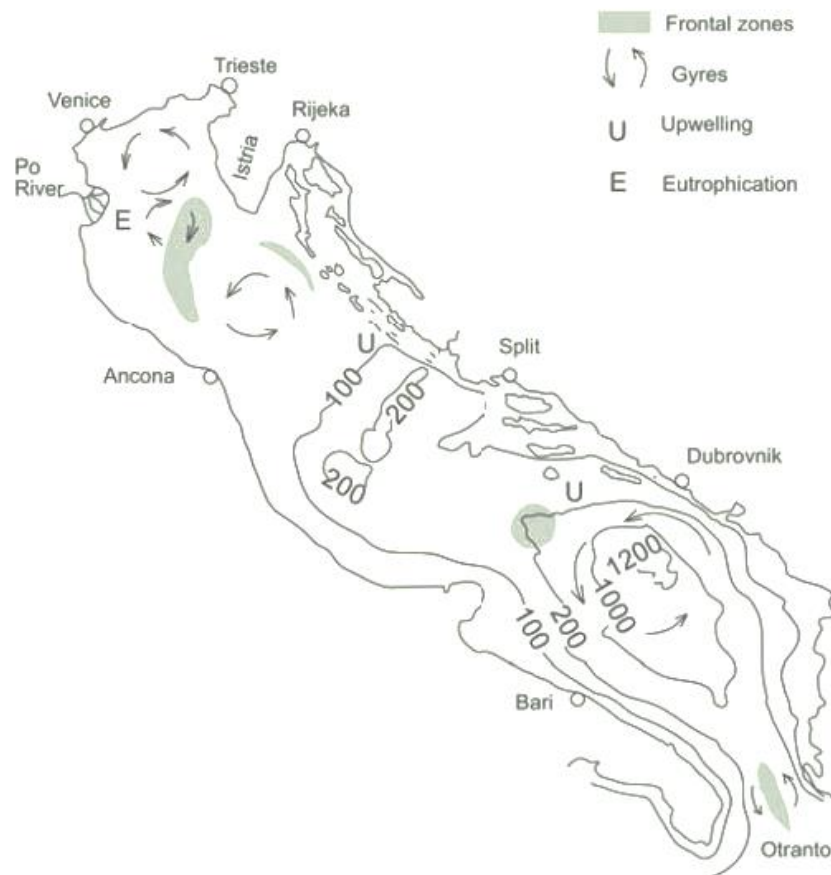
## 1.1. Oceanografija sjevernog Jadrana

Jadran je najsjevernija točka Sredozemlja. Jadran je Otranskim vratima (70 km širine) i Otranskim pragom (789 m dubokim) odvojen od Jonskog mora. Jadransko more je oligotrofno, nisko produktivno, iako se produktivnost razlikuje po regijama zbog hidrografskih čimbenika. Jadran dijelimo na sjeverni, srednji i južni dio. Sjeverni Jadran prostire se do linije Ancona – Pag. Sjeverni Jadran je najplići dio Jadrana (najviše 75 m dubine). Srednji Jadran nastavlja se do Palagruškog praga. Jabučka kotlina (273 m dubine) predstavlja najdublju točku srednjeg Jadrana. Južni Jadran prostire se do Otranskih vrata, a uključuje Južnojadransku kotlinu (1 233 m dubine), najdublju točku Jadrana (Viličić 2014).

Izvor hranjivih tvari u sjevernom Jadranu su rijeke, a najveća od njih je rijeka Po. Razvoj fitoplanktona u sjevernom Jadranu ovisi o količini oborina i topljenju snijega u Alpama, odnosno dotoku hranjivih tvari rijekom Po (Viličić i sur. 2007, 2009). Struje ovise o vjetru, rotaciji Zemlje, morfologiji dna i izmjeni vode kroz Otranska vrata (Orlić i sur. 1992). Dominantni vjetrovi nad Jadranom su bura i jugo. Bura je hladan i suh vjetar koji puše sa sjeveroistoka. Bura miješa vodeni stupac, povećava isparavanje, gustoću mora i gubitak topline (Dorman i sur. 2006).



Vodene mase prepoznaju se po njihovim termohalnim svojstvima (temperatura, salinitet i gustoća) (Cushman-Roisin i sur. 2001). U Jadranu razlikujemo 5 vodenih masa: 1) "Jadranska površinska voda"; nema specifične vrijednosti saliniteta ni temperature. 2) "Jonska površinska voda" je zimi slanija i toplija od Jadranske površinske vode. 3) "Levantinska intermedijarna voda" je saliniteta 38,75 i temperature 14°C. Ona iz Jonskog mora dolazi u južni Jadran, u sloju od 40 do nekoliko stotina metara (Vilibić i Orlić 2002). 4) "Sjevernojadranska gusta voda" je saliniteta 38,3 i temperature od 12,3°C do 12,5°C. Ona nastaje zimi u sjevernom Jadranu pod utjecajem djelovanja bure (Vilibić i Supić 2005). Tone u području istarske fronte i ispunjava Jabučku i Južnojadransku kotlinu. 5) "Južnojadranska duboka voda" je voda koja ispunjava najdublje dijelove Južnojadranske kotline, temperature manje od 13°C (Viličić 2014).



Slika 1. Oceanografska svojstva Jadrana (Viličić 1994.). Prikaz frontalnih zona (osjenčano), vrtloga (eng. gyres), područja upwellinga (U) i eutrofikacije (E).

Cirkulacije u Jadranu su potaknute Istočnojadranskom strujom, Zapadnojadranskom strujom i Zapadnojadranskom pridnenom strujom (Orlić i sur. 1992). Istočnojadranska struja nosi slaniju i topliju vodu, uz istočnu obalu Jadrana, iz Jonskog mora i istočnog Sredozemlja (Zore-Armanda 1969). Istočnojadranska struja zaokreće ispred Istre prema zapadu, stvarajući frontalnu zonu (slika 1.). Istarska fronta je fenomen sjevernog Jadrana. Stvara se na granici između dvije vodene mase. Točnije, vode sjevernog Jadrana, koja je pod utjecajem rijeke Po i Istočnojadranske struje koja skreće prema talijanskoj obali. Istarska fronta predstavlja izraziti termohalini gradijent (razliku u salinitetu i temperaturi). Uz to, Istarska fronta je mjesto gdje gusta, površinska voda ponire u dubinu (Viličić 2013).

U sjevernom Jadranu se stvaraju vrtlozi kao rezultat bure i rotacije Zemlje. Zimi se stvara ciklonalni vrtlog južno od Istre, kojim se obogaćena sjevernojadranska voda prenosi do vanjskih kvarnerskih otoka, Cresa i Lošinja (Viličić 1991), omogućavajući nakupljanje planktona i razvoj ribe. Drugi ciklonalni vrtlog se stvara kod Trsta, a treći anticiklonalni vrtlog kod Rovinja (Lyons i sur. 2007). Anticiklonalni vrtlog kod Rovinja stvara "Istarsku obalnu protustruju", uz obalu Istre, od sjevera prema jugu (Supić i sur. 2000). Struje reguliraju razvoj i raspodjelu fitoplanktona i riba (Kraus i Supić 2011, Supić i sur. 2012) (slika 1).

Sjeverni Jadran, od ušća rijeke Po do Kvarnera, ima veliku raznolikost staništa, kao rezultat prisutnosti tri vodena tipa na jako malom području. Prvi, zapadni vodeni tip je pod utjecajem rijeke Po. Drugi tip je oko vrha Istre i on je pod utjecajem Istočnojadranske struje. Treći vodeni tip se proteže između kvarnerskih otoka te je pod utjecajem oligotrofnih krških voda (Viličić 2013).

## 1.2. Nacionalni park Brijuni

Zakonom o zaštiti prirode definirano je zaštićeno područje kao geografski jasno određen prostor koji je namijenjen zaštiti prirode i kojim se upravlja radi dugoročnog očuvanja prirode i pratećih usluga ekološkog sustava (NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19). Prema Zakonu o zaštiti prirode, zaštićena područja dijelimo u devet kategorija: strogi rezervat, nacionalni park, posebni rezervat, park prirode, regionalni park, spomenik prirode, značajni krajobraz, park-šuma i spomenik parkovne arhitekture. Nacionalni parkovi su prostrana, pretežno neizmijenjena područja kopna i/ili mora iznimnih i višestrukih prirodnih vrijednosti koja obuhvaćaju jedan ili više sačuvanih ili neznatno izmijenjenih ekosustava, a prvenstveno su namijenjeni očuvanju izvornih prirodnih i krajobraznih vrijednosti. Ondje su dopuštene djelatnosti koje ne ugrožavaju izvornost prirode;

imaju znanstvenu, kulturnu, odgojno-obrazovnu i rekreativnu namjenu. Zabranjena je gospodarska uporaba prirodnih dobara.

Nacionalni park Brijuni sastoji se od 14 otoka, otočića i hrudi na zapadnoj obali poluotoka Istre. Otoci nacionalnog parka su: Veliki Brijun, Mali Brijun, Vanga (Krasnica), Sveti Jerolim, Kozada, Vrsar, Gaz, Pusti otok (Madona), Galija, Obljak, Grunj, Supin, Sveti Marko, Supinić. Otoci su vapnenačkog sastava. Obala je niska i kamenita, a u nekim uvalama su prisutni šljunak i pijesak. Prevladava mediteranska klima (Nacionalni park Brijuni 2022).

Podmorje čini 80% nacionalnog parka. Karakteristično za sjeverni Jadran, podmorje nacionalnog parka Brijuni je vrlo plitko, maksimalne dubine od 50 metara. Istovremeno, vrlo bogato različitim tipovima staništa i vrstama. Razlog velike bioraznolikosti je unos hranjivih soli rijekama. Kvalitetna dugogodišnja zaštita ovog područja, očuvala je bioraznolikost podmorja s efektom "spill-overa", prelijevanja vrsta, odnosno transport organizama izvan granica zaštićenog područja. Nacionalni park Brijuni uvršten je u najveću ekološku mrežu na svijetu, Natura 2000 (Nacionalni park Brijuni 2022).



Slika 2. Nacionalni park Brijuni (Nacionalni park Brijuni 2022)

### 1.3. Negativni čimbenici

Iako su Brijuni zaštićeno područje, i ondje se osjeti negativni antropogeni utjecaj kao prijetnja očuvanju bioraznolikosti podmorja (Nacionalni park Brijuni 2022). Premda je u samom parku smanjen izravni utjecaj čovjeka, i dalje se osjećaju posljedice našeg djelovanja na more, jer je ono dinamični sustav. Tako morski otpad, nošen morskim strujama i vjetrovom, može prevaliti velike udaljenosti, prije no što se nakupi na određenom mjestu i mehanički degradira stanište. Morski otpad, već u svom transportu morem, može biti smrtonosna klopka, jer se organizmi mogu zapetljati u njega i ugušiti (npr. "ghost-fishing", zapetljavanje morskih organizama u napuštene ribarske mreže). Morski otpad u moru može biti zamijenjen za hranu od strane morskih organizama, što uzrokuje izglednjivanje i ugibanje životinja. Plastični se morski otpad, s vremenom i mehaničkim djelovanjem mora, kida i usitnjava na manje fragmente, postajući mikroplastika (<5mm veličine). Nemarno antropogeno ponašanje tijekom (vodenih) aktivnosti ostavlja dugotrajne i pogubne posljedice za morske zajednice. Neodgovorno ronjenje, udaranje perajama po morskom dnu je direktno, fizičko uništavanje bentonskih zajednica. Također, zavlacenje ronioca u špilje, rupe i prolaze uzrokuje stvaranje nakupina zraka, zračnih džepova, na stropu špilja, kao rezultat izdahnutog zraka ronioca. Fizičke štete su izraženije kod povlačnih ribolovnih alata koji se koriste u priobalnom ribolovu unutar infralitoralnog područja, gdje nalazimo livade morskih cvjetnica i zajednice fotofilnih algi. Uz to, ribolov, kao gospodarska grana, prelovom i ulovom ne ciljanih vrsta (eng. bycatch) uništava čitavi sustav Jadrana. Izražen negativni utjecaj na važna priobalna staništa (morske cvjetnice i koraligen) ima sidrenje, najčešće u nautičkom turizmu. Sidrenje i povlačenje lanaca po osjetljivim staništima uzrokuje njihovo oštećivanje, smanjivanje površine te, u najgorem slučaju, nestajanje. Pojava iznimnog povećanja biomase fitoplanktonskih organizama (cvjetanje) može dovesti do pojave nakupljanja fotolanktonskih eksudata (mukusa, sluzavih nakupina). Velike količine mukoznih organskih tvari u vodenom stupcu smanjuju prozirnost i količinu svjetlosti bentonskim zajednicama. To, posljedično, smanjuje uspješnost fotosinteze bentonskih organizama, ali i rezultira uvjetima smanjene koncentracije kisika pridnenog sloja, hipoksijom ili čak potpunom potrošnjom kisika, anoksijom zbog bakterijske razgradnje istaloženog mukusa alga. Tako cvjetanje mora može rezultirati promjenama u ekosustavu i mortalitetom pričvršćenih morskih organizama. Posljedice klimatskih promjena na morski ekosustav najizraženije su u povećanju temperature mora što uzrokuje nepovoljne životne uvjete te posljedični mortalitet organizama koji se ne stižu prilagoditi.

Baš takvi uvjeti mogu biti povoljni za nove, alohtone vrste, koje uspostavljanjem stabilnih populacija u novim staništima vrše invaziju. Invazivne vrste zauzimaju ekološke niše unutar biocenoza i istiskuju autohtone svojte. Jednom uspostavljene populacije invazivnih vrsta, vrlo je teško eliminirati. U zadnjih dvadesetak godina u ljetno doba događaju se masovna uginuća sesilnih vrsta u Sredozemnom moru zbog utjecaja povećane temperature mora (pozitivne temperaturne anomalije) sve do 40 metara dubine (Cerrano i sur. 2000; Garrabou i sur. 2001; Kružić i sur. 2016). Najočitiije negativne promjene kod populacija zabilježene kod kamenih koralja *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767) (jedina vrsta u Sredozemnom moru koja gradi grebene poput onih u tropskim morima), *Caryophyllia inornata* (Duncan, 1878), *Leptopsammia pruvoti* (Lacaze-Duthiers, 1897) i *Balanophyllia europaea* (Risso, 1826). Promjene su uočene i kod drugih vrsta poput spužvi, puževa, mahovnjaka i plaštenjaka.

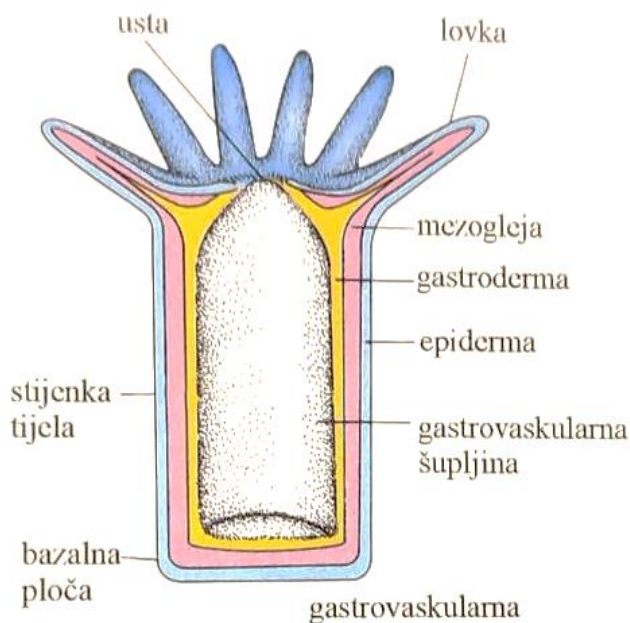
#### 1.4. Razred: Anthozoa (koralji)

Koralji spadaju u Eumetazoa, što znači da im je tjelesna struktura i organizacija životnih funkcija ostvarena na tkivnoj razini, ali bez izgrađenih organskih sustava. Daljnja pripadnost skupine je definirana pripadnošću skupini Radiata (radijalno simetrične životinje). Radiata imaju valjkasti oblik tijela koje se sastoji od dva sloja stanica (diploblastični oblik), ektoderme i endoderme. Nadalje, koralji pripadaju koljenu Cnidaria (žarnjaci) zajedno s režnjacima (Scyphozoa) i obrubnjacima (Hydrozoa) (Habdija i sur. 2011).

##### 1.4.1. Opća strukturalna i funkcionalna obilježja

Koralji imaju samo polipoidnu generaciju (sjedilački polip), bez generacije meduze. Tijelo polipa pričvršćeno je podnožnom pločom za supstrat. Na vrhu polipa je ravno usno polje s izduženim ustima, okruženo vijencem lovki. Na lovkama se kod Octocorallia nalaze perasti izdanci, pinule. Unutar polipa je gastrovaskularna (probavna) šupljina ili celenteron. Ždrijelo se nalazi između gastrovaskularne šupljine i usta, a ektodermalnog je podrijetla. Ždrijelo sadrži žljezdane stanice. Na ždrijelu postoje žljebovi (sifonoglify, sulkusi) kroz koje struji voda u unutrašnjost polipa. Gastrovaskularna šupljina je uzdužnim pregradama (septama, mezenterama) podijeljena u odjeljke, gastralne džepove. Na septama se nalaze otvori koji omogućavaju cirkuliranje tekućine među gastralnim džepovima. Septe su gastrodermalnog podrijetla, i mogu biti potpune i nepotpune. Potpune septe su sraštene sa ždrijelom. Nepotpune septe strše u gastrovaskularnoj

šupljini. Unutarnji rub septe koji strši u gastrovaskularnu šupljinu zove se gastralni, septalni ili mezenterijalni filament. On ima bičaste stanice koje stvaraju strujanje čime se čestice hrane dovode do stanica koje ih fagocitiraju. Septalni filament bogati su žarnim stanicama i stanicama koje luče probavne enzime. Na septama se još nalaze i gonade (Habdija i sur. 2011).



Slika 3. Ilustrirani prikaz građe polipa (Habdija i sur. 2011)

Stijenka tijela sastoji se od tri sloja: jednoslojne vanjske epiderme, srednjeg želatinoznog sloja mezogleje i jednoslojne unutarnje gastroderme (slika 4.). Epiderma je ektodermalnog, a gastroderma endodermalnog podrijetla.

U epidermi se nalaze polarizirane epitelno-mišićne stanice. Dio stanice koji je okrenut prema van ima epitelnu funkciju. Na suprotnom polu stanice su mišićna vlakanca.

U epidermi se nalaze i žarne stanice (knidociti, knidoblasti), s osjetno-efektivnom funkcijom te ključnom ulogom u hvatanju plijena i obrni. U žarnoj stanici je organel žarnica (knida, knidocista).

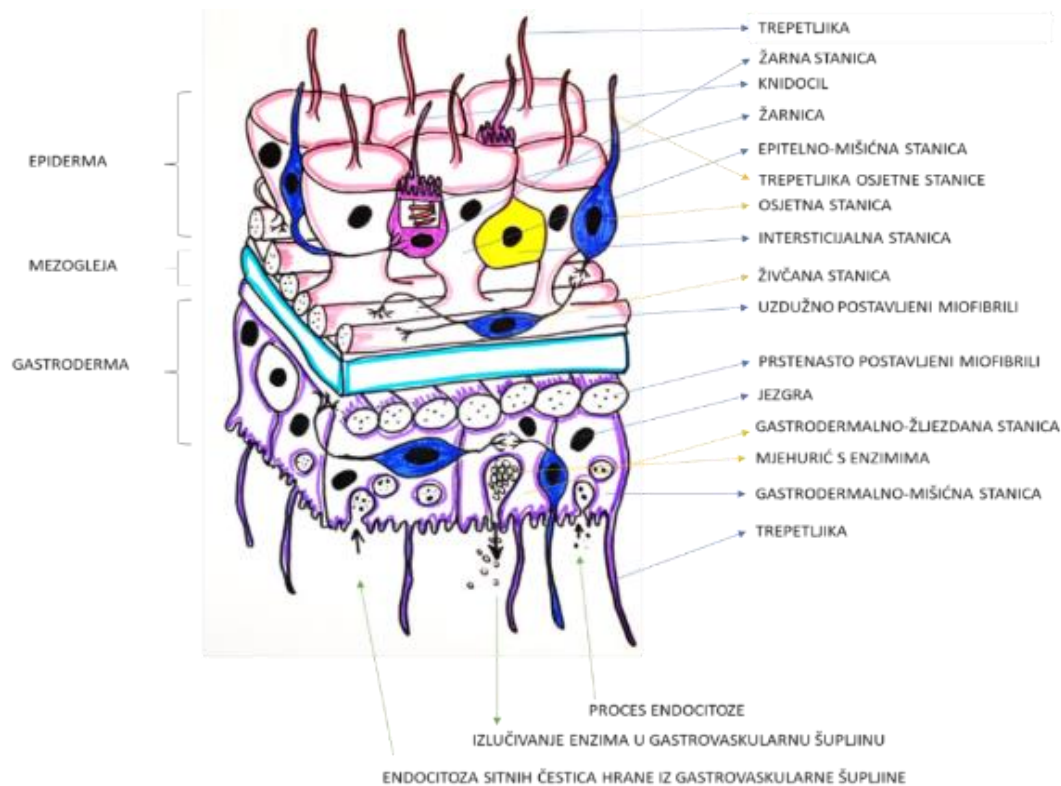
U žarnici se nalazi smotana, duga žarna nit. Podražena žarnica ispucava žarnu nit prema van. Ovisno o tipu stanice, žarne niti mogu ubosti plijena i toksinima ga paralizirati ili se prilijepiti za supstrat. Žarne stanice se nalaze po cijeloj epidermi, no koncentriranije su na lovkama i oko usta, jer služe za hvatanje plijena i obranu. Tri tipa žarnih stanica koralja su nematociti, spirociti i ptihociti. Tri tipa žarnica su nematociste, spirociste i ptihociste. Sve skupine žarnjaka imaju

nematociste. Postoji preko 30 tipova nematocista, a većina sadrži toksine. Žarne niti nematocista imaju trnove i dlačice. U koralja, površina nematocista je pokrivena s tri zaliska. Na vrhu nematociste je pokretna osjetna trepetljika, trepetljikavi čunj, koji prima mehaničke podražaje. Spirociste i phihociste su žarnice bez otrova, a ljepljive niti služe za prianjanje.

U epidermi se nalaze i intersticijske i živčane stanice. Intersticijske stanice su totipotentne te se iz njih razvijaju žarne, živčane, žljezdane i spolne stanice te skleroblasti. Žarnjaci nemaju centralni živčani sustav niti diferenciranu glavu, već funkciju primanja podražaja ima difuzna mreža živčanih multipolarnih stanica, koja je najgušća na lovakama i oko usta.

Stanična stijenka vrši funkciju izmjene plinova i izlučivanja metabolita. Cilijarne stanice na epidermi imaju funkciju cirkuliranja vode po površini tijela kako bi se pospješila difuzijska izmjena metabolički plinova.

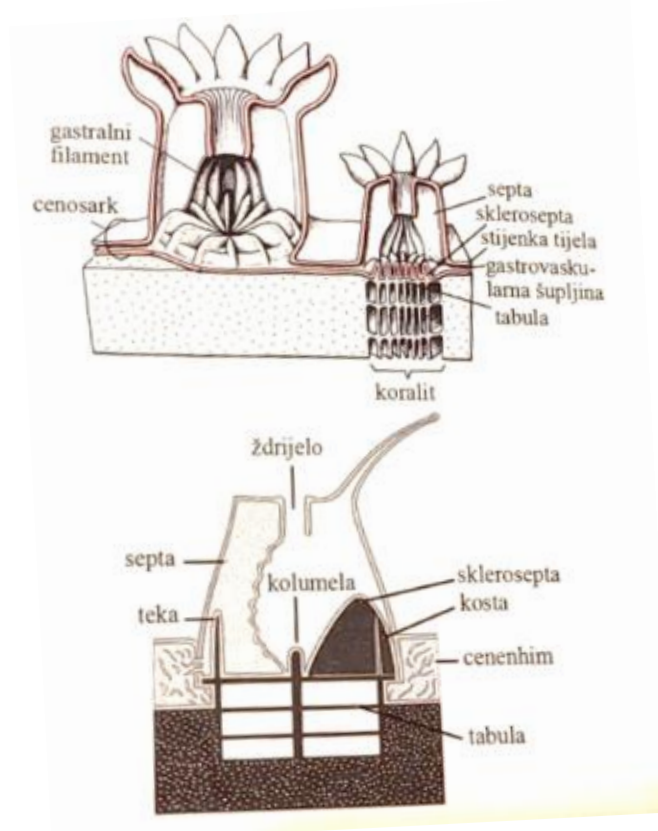
Gastroderma obavija gastrovaskularnu šupljinu. Sastavljena je od gastrodermalno-mišićnih stanica (slične epitelno-mišićnim stanicama). Stanice imaju dva biča koja strše u gastrovaskularnu šupljinu. U gastrodermi se još nalaze enzimatско-žljezdane stanice s mjehurićima koji oslobađaju probavne enzime u gastrovaskularnu šupljinu (Habdija i sur. 2011) (slika 4.).



Slika 4. Histološka građa stijenke tijela žarnjaka (Habdija i sur. 2011).

Hidrostatika gastrovaskularne šupljine, hidroskelet, održava stalni oblik polipa. U koralja nalazimo vanjske i unutarnje skelete. Vanjske skelete luči epiderma, a unutarnje skelete izgrađuju skleroblasti iz mezogleje. Skleroblasti stvaraju vapnena tjelešca sklerodermite (sklerite).

Najkompaktnije vanjske skelete imaju kameni koralji. U solitarnih (pojedinačnih) vrsta kamenih koralja, donji dio polipa na podnožnoj ploči luči osnovnu ploču od vapnenca u kristalnoj modifikaciji aragonita. Epiderma osnovne ploče luči vapnenačke lamele, stvarajući nabore epiderme na dnu gastrovaskularne šupljine. Paralelno tomu, epiderma podnožne ploče luči teke. Teke su izdignute iz osnovice i usijecaju se u unutrašnjost polipa, stvarajući nabor epiderme. Nabori epiderme s kamenim lamela zovu se sklerosepta. U nekih vrsta kamenih koralja, na osnovnoj kamenoj ploči gradi se kružni cilindar, epiteka (egzoskelet). U nekih vrsta kamenih koralja, na osnovnoj kamenoj ploči epiderma luči stožastu kolumelu. U kolonijama, kamena čaška se gradi slojevito. Polip se nalazi u kamenoj čaški i stalno se luče poprečne vapnenačke ploče, tabule. Tabule dijele gastrovaskularnu šupljinu. Epitel u donjim slojevima odumire te se radi vapnenačka koraljna tvorba. Koralit je skelet svakog pojedinačnog polipa (slika 5.).



Slika 5. Shematski prikaz građe egzozoskeleta u kamenih koralja (Habdija i sur. 2011).



Unutarnji skelet nalazimo kod kolonija skupine Alcyonaria. Kod njih se u cenenhimu nalaze sklerodermiti, koje luče skleroblasti u mezogleji. Sklerodermiti su vapnenačka tjelešca. Sklerodermiti mogu biti slobodni, kao kod *Alcyonium palmatum*, ili povezani rožnatom tvari, gorgoninom, ili vapnencem u potporni skelet, kao kod gorgonija (npr. crveni koralj).

Kod kolonija koralja, osnova je želatinozna mezogleja, cenenhim. U nj su usađeni polipi. Polipi u koloniji se zovu antokodij. Gastrovaskularne šupljine antokodija su povezane cijevima, solenijama. Prema stupnju razgranatosti cenenhima razlikujemo mnoštvo oblika zadruga, od razgranatih (*Veretillum cynomorium*) do žbunasto (rod *Eunicella*) i perasto (rod *Perunatula*) razgranatih kolonija (Habdija i sur. 2011).

Koralji se razmnožavaju spolno i nesporno. Nesporno razmnožavanje je uzdužno dijeljenje, poprečno dijeljenje, pedalna laceracija ili pupanje. Pedalnom laceracijom (cijepanjem), podložna se ploča raspada i iz svakog djelića ploče razvija se nova jedinka. Poprečnim dijeljenjem nove jedinke nastaju kao pupovi na lovkama. Kod zadruga, novi polipi nastaju pupanjem. Spolno razmnožavanje u koralja može biti kao jednospolci i dvospolci. Gonade se razvijaju na septama (u gastrodermi pregrada), padaju u gastrovaskularnu šupljinu i kroz usta se izbacuju u vodeni stupac. Oplođnja je vanjska, a kod dvospolaca se odvija u gastrovaskularnoj šupljini. Iz oplođenoj jaja razvija se trepetljikava ličinka planula, koja pliva dok se ne pričvrsti za supstrat (Habdija i sur. 2011).

Kontrakcija tijela i kretanje lovaka polipa vrše mišićni polovi epitelno-mišićnih stanica s vanjske strane mezogleje i gastrodermalno-mišićne stanice unutrašnje strane mezogleje.

Većina koralja su karnivori. Pomoću lovki hvataju plijen, omame ga žarnicama te progutaju. Koralji probavljaju hranu u gastrovaskularnoj šupljini, ekstracelularna probava. Žljezdane stanice gastroderme luče probavne enzime. U prvoj fazi probave, plijen se usitnjava na čestice i makromolekule. Bičaste stanice gastroderme omogućavaju konstantnu cirkulaciju sadržaja u gastrovaskularnoj šupljini. Gastrodermalne stanice fagocitiraju usitnjene čestice hrane čime započinje intracelularna probava. U zadružnih koralja, čestice hrane se raznose solenijama do svih polipa. Neprobavljeni ostatci se izbacuju kroz usta. Mnogi koralji sadrže intracelularne mutualističke alge zooksantele, koje pridonose prehrani (Habdija i sur. 2011). Odnos je mutualistički, dakle pozitivan za obje strane. Koralj omogućuje zooksantelama siguran životni prostor (svoje tkivo), a staničnim disanjem proizvodi ugljikov dioksid i vodu, potrebne zooksantelama za obavljanje fotosinteze. Zauzvrat, zooksantele, obavljajući fotosintezu,

opskrbljuju koralj s kisikom, glukozom, glicerolom i amino kiselinama. Koralj koristi produkte fotosinteze za stvaranje proteina, masti i ugljikohidrata, za proizvodnju kalcijevog karbonata. Ovaj odnos iznimno je bitan u oligotrofnim morima niske produktivnosti, jer je glavni izvor hranjivih tvari te ujedno i pokretačka sila izgradnje koraljnih grebena (Nacionalni park Brijuni 2022). Uz to, zooksantele su odgovorne za raskošne boje koralja. Koralji pod utjecajem stresa izbacuju zooksantele iz polipa, čime kolonije postaju bijele (izbjeljivanje koralja). Prekidom simbioze se gubi fotosintetska energija. Iako, koralji ne doživljavaju trenutnu smrt, dolazi do izgladnjivanja, veće podložnosti bolestima, nesposobnosti reprodukcije i kompeticije s drugim organizmima na grebenu. Simbioza se može obnoviti ako neodgovarajući uvjeti ne potraju predugo (Hoegh-Guldber i Smith 1989). Za zdravlje koraljnih grebena neophodna je prozirnost vode kako bi prodor (intenzitet) sunčeve svjetlosti bio što veći, a fotosinteza uspješna. Stoga, koraljne grebene nalazimo u eufotičkoj zoni oligotrofnih voda s malom količinom suspendiranih čestica u vodenom stupcu. Iako su upravo koraljni grebeni hot-spotovi bioraznolikosti i produktivnosti morskih staništa.

#### 1.4.2. Rasprostranjenost i biološka raznolikost

Koralji su stenohalini morski organizimi, imaju usku ekološku valenciju s obzirom na salinitet, a neke vrste koje žive ispod 40 metara dubine i stenotermne (Habdija i sur. 2011). Gledajući na izgradnju grebena, koralje dijelimo na grebenotvorce (hermatipične vrste) i one koji ne tvore greben (ahermatipične vrste). Koralji koji tvore grebene rasprostranjeni su u tropima i plitkim morima. Koralji koji ne tvore grebene prevladavaju u hladnijima morima (do 4°C) do dubine od 6000 metara.

Poznato je oko 6000 vrsta koralja i taksonomski se dijele u dva podrazreda Zoantharia (Hexacorallia) i Alcyonaria (Octocorallia). Od 116 vrsta koralja u Jadranskom moru, 91 vrsta pripada podrazredu šesterolovkaša, Zoantharia, a 25 vrsta pripada podrazredu osmerolovkaša, Alcyonaria (Kružić, 2020).

Zoantharia imaju šesterozraku simetriju ili simetriju prema umnošku broja šest. Postoje združeni i solitarni oblici. Najpoznatiji združeni oblici su kameni koralji. U Jadranskom moru živi oko 80 vrsta Zoantharia. Najpoznatiji redovi su Actinaria, Scleractinia, Zoanthidea, Corallimorpharia, Antipatharia i Cerantharia (Habdija i sur. 2011).

#### 1.4.3. Red: Scleractinia ili Madreporaria (kameni ili madreporni koralji)

Scleractinia je najbrojnija skupina koralja s oko 3600 vrsta. Glavno obilježje im je vapnenački egzoskelet. Mogu izgraditi kolonije s više od 100 000 jedinki i nekoliko metara visoke, a postoje i solitarni (pojedinačni) oblici. *Cladocora caespitosa* je najrasprostranjeniji kameni koralj združnog oblika u Jadranu. Kameni koralji solitarnog oblika u Jadranu su *Balanophyllia inornata*, *Leptpsammia pruvoti* i *Caryophyllia inornata*. Kameni koralji grebenotvorci najrasprostranjeniji su u Tihom oceanu, točnije u Koraljnom moru istočno od Nove Gvineje i Australije. Također, nalazimo ih u Crvenom moru i uz istočne obale Afrike i Madagaskar. Najveća koraljna tvorba je Veliki koraljni greben dug 2000 kilometara uz istočnu obalu Australije (Habdija i sur. 2011).

## 2. Cilj istraživanja

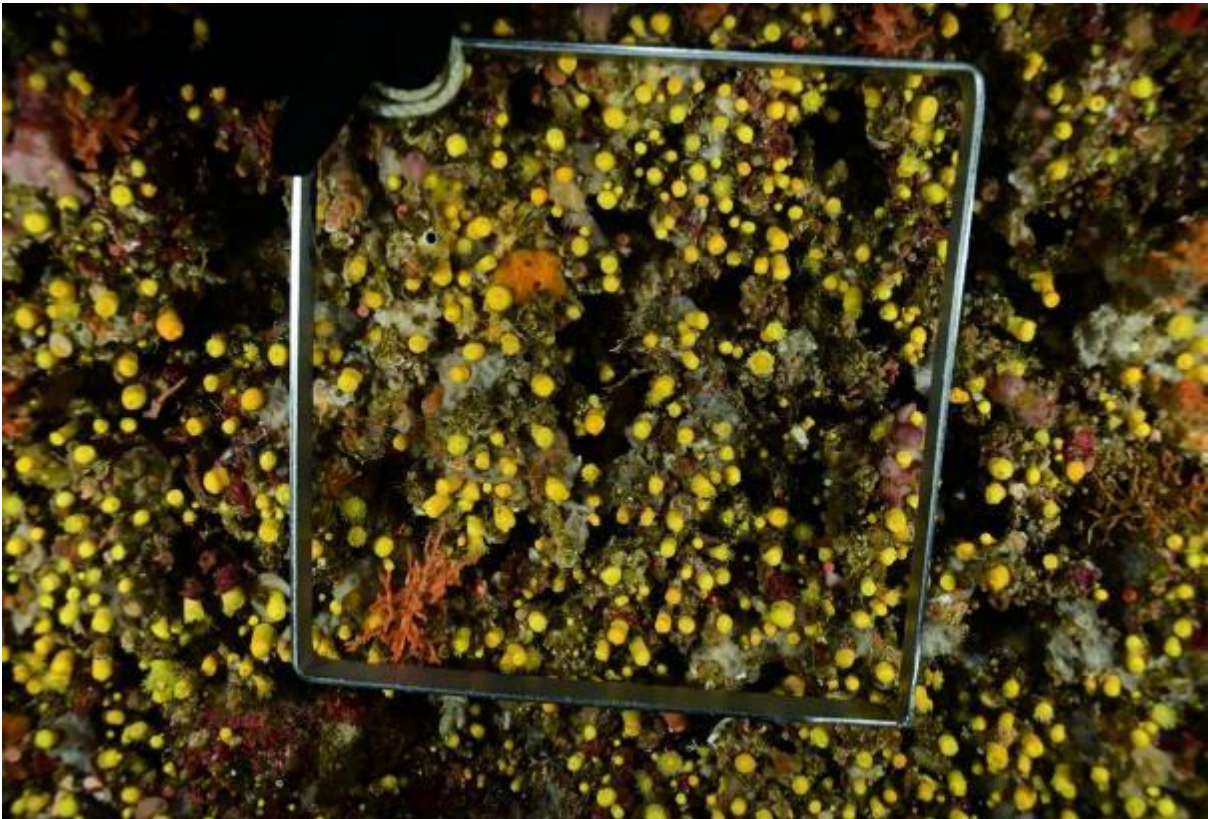
Cilj ovog diplomskog rada je utvrditi raznolikost faune kamenih koralja u podmorju Nacionalnog parka Brijuni. Posebna pozornost ovog rada usmjerena je na ugrožene i zaštićene vrste kamenih koralja. Uz popis faune koralja, utvrdit će se njihova dubinska rasprostranjenost i stupanj ugroženosti. Istražit će se uzroci negativnih utjecaja poput povećanja temperature, onečišćenja mora i pojava invazivnih vrsta (poput invazivne alge *Caulerpa cylindracea* (Harvey, 1858)) kroz smrtnost ili oštećenost kolonija ili jedinki koralja. Posebno će se bilježiti vrste simbiotskih koralja (*Cladocora caespitosa* i *Balanophyllia europaea*) koje su ugrožene povećanim temperaturama mora. Istraživane postaje usporedit će se prema sastavu i broju kamenih koralja koji ih naseljavaju. Podacima s istraživanja dobit će se uvid u trenutno stanje i stupanj ugroženosti vrsta koralja, ali i biocenoza, kako bi se lakše mogla planirati zaštita u području Nacionalnog parka Brijuni.

## 3. Materijali i metode

Terenski dio istraživanja napravila sam uz pomoć svog mentora izv. prof. dr. sc. Petra Kružića, na 6 postaja unutar Nacionalnog parka Brijuni (uz otočiće Gaz, Galija, Grunj, Vrsar, Peneda i Jerolim) ronjenjem s autonomnom ronilačkom opremom u listopadu i studenom 2022. godine. Duž istraživanih profila utvrdili smo životne zajednice i zabilježili utvrđene vrste koralja. Vrste koralja koje nije bilo moguće odrediti tijekom terenskog istraživanja, sakupili smo i odredili u laboratoriju (Laboratorij za biologiju mora Zoologijskog zavoda Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu). Napravili smo baza utvrđenih staništa (biocenoza), te pripadajuće faune koralja. Za svaku utvrđenu vrstu koralja bilježili smo stanje vrste s obzirom na ugroženost i smrtnost jedinki i kolonija, te odredili brojnost (abundanciju) duž 100 metara transekta na svakoj istraživanoj postaji. Također, bilježili smo prisutnost invazivne alge *Caulerpa cylindracea*, te moguće onečišćenje mora (krupni otpad i cvjetanje mora) na istraživanim postajama.

S obzirom da smo terenska istraživanja radili tijekom mjeseca listopada i studenog, podaci temperature mora uzeli smo s postaje kanjon Muzil (mjerjenja za potrebe drugog istraživanja), oko 4 kilometara južno od granice NP Brijuni. Temperatura mora mjerila se na dubinama od 5 i 10 metara pomoću temperaturnih data loggera (*Onset Computers*). Temperatura je mjerena svakih sat

vremena te su iz tih podataka izračunate prosječne mjesečne vrijednosti. Zbog blizine istraživanih postaja nije bilo potrebno mjeriti temperaturu mora na drugim postajama unutar parka. Ostali fizikalno-kemijski parametri (salinitet, pH morske vode, koncentracija otopljenog kisika) mjereni su na lokaciji Muzil pomoću oceanografske sonde Seabird SBE19plus V2 (*Seabird Scientific*) na dubinama gdje su utvrđene populacije crvenog koralja. Uzorkovana je morska voda (1 litra) na postajama Grunj i Jerolim za analizu hranjivih soli koja je napravljena u Nastavnom zavodu za javno zdravstvo Istarske županije.



Slika 6. Kvadrat 25 x 25 cm. Postaja Peneda, 23 metra dubine.

Za potrebe istraživanja i monitoringa koralja koristila sam metodu fotografiranja kvadrata (25 x 25 cm) (Slika 6). Koristio se fotoaparatom Sony 6300 u Sea&Sea podvodnom kućištu sa dvije Sea&Sea D2 bljeskalice. Uz kvadrate, fotografirane su i druge vrste važne za monitoring vrsta i staništa, te moguća oštećenja na vrstama. Za istraživanje stanja populacija odabrani su kameni koralji *Cladocora caespitosa*, *Balanophyllia europaea*, *Caryophyllia inornata*, *Leptopsammia pruvoti*, te zadržna moruzgva *Parazoanthus axinellae* (Abel, 1959). Izabrane vrste pokazale su

se kao dobri indikatori klimatskih promjena u moru (povišene temperature mora) (Cerrano i sur. 2000; Garrabou i sur. 2001; Kružić i sur. 2016). Monitoring istraživanih koralja napravili smo ronjenjem autonomnom ronilačkom opremom između 1 i 25 metara dubine. Promjene u morfologiji i smrtnost koralja utvrdili smo po transektu (mrtve jedinice ili kolonije koralja vidljive se kao čaške koralja bez živih polipa) ili smo brojali unutar fotografiranih kvadrata. Kod izbjeljivanja („bleaching“) simbiotskih koralja (*Cladocora caespitosa* i *Balanophyllia europaea*) vide se prozirni polipi bez simbiotskih zooksantela. Kod nekroze tkiva polipa koralja vide se polipi uvučeni unutar čaške sa nedostatkom većeg ili manjeg dijela polipa. Uginuli koralji više nemaju polip unutar čaške. Nedavno uginuli koralji su bijele boje (boja skeleta od kalcij karbonata). Stariji uginuli koralji imaju skelet pod obraštajem.

Za statističku obradu podataka raznolikosti i brojnosti jedinki pojedine vrste po postajama, te smrtnosti jedinki koralja unutar populacija koristila sam program Excel (Microsoft Office) i PRIMER 6.0. (PRIMER-e)

### 3.1. Područje istraživanja

Istraženo je 6 postaja unutar parka (Slika 1, Tablica 1). Izabrane postaje birane su na način da su uzeti u obzir ekološki čimbenici (dubina, morska strujanja) i izloženost obale (otvoreno more i uvale). Većina postaja nalazi se na vanjskom pozicijama nacionalnog parka (postaje Gaz, Galija, Grunj, Vrsar i Peneda), dok je jedna postaja na južnom dijelu (postaja Jerolim). Sve postaje su okrenute prema otvorenom moru ili jugo-zapadnom dijelu parka (postaja Jerolim) kako bi antropogeni utjecaj (potencijalno onečišćenje mora kanalizacijom i otpadom) bio što manji.



Slika 7. Istraživane postaje u NP "Brijuni" (Nacionalni park Brijuni 2022)

Tablica 1. Istraživane postaje u NP "Brijuni"

| lokacija | koordinate                   |
|----------|------------------------------|
| Gaz      | (N 44° 56' 22, E 13° 42' 57) |
| Galija   | (N 44° 55' 06, E 13° 43' 32) |
| Grunj    | (N 44° 54' 46, E 13° 43' 00) |
| Vrsar    | (N 44° 53' 55, E 13° 44' 22) |
| Peneda   | (N 44° 53' 11, E 13° 45' 08) |
| Jerolim  | (N 44° 53' 48, E 13° 47' 10) |

## 4. Rezultati

### 4.1. Životne zajednice na istraživanim područjima

Na svim istraživanim profilima razvijene su sljedeće životne zajednice:

**Kod po: NKS:**

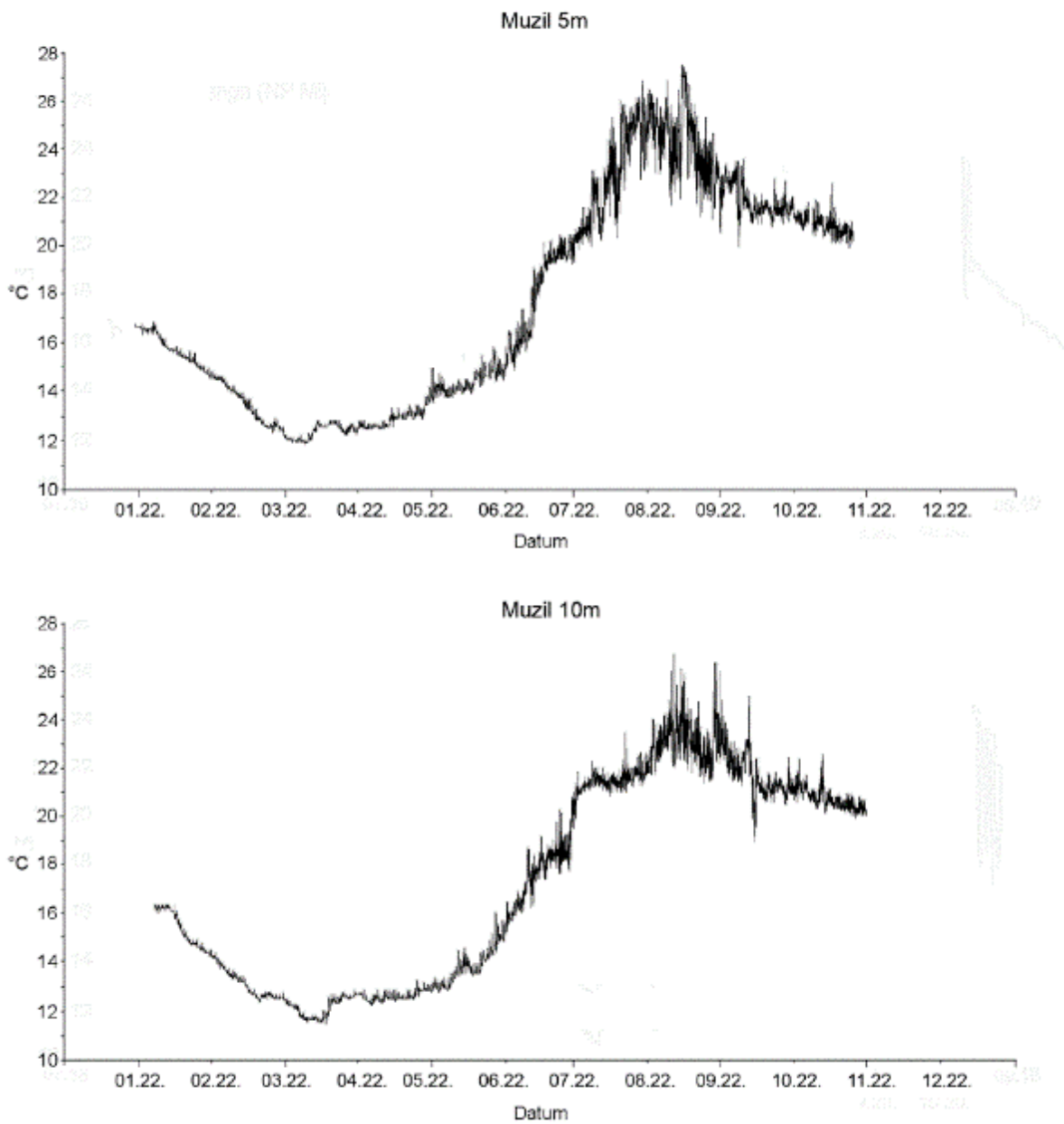
|   |          |
|---|----------|
| 1. Biocenoza supralitoralnih stijena                | F.4.2.1. |
| 2. Biocenoza gornjih stijena mediolitorala          | G.2.4.1. |
| 3. Biocenoza donjih stijena mediolitorala           | G.2.4.2. |
| 4. Biocenoza livada vrste <i>Posidonia oceanica</i> | G.3.5.1. |
| 5. Biocenoza infralitoralnih alga                   | G.3.6.1. |
| 6. Biocenoza sitnih ujednačenih pijesaka            | G.3.2.2. |
| 7. Biocenoza zamuljenih pijesaka zaštićenih obala   | G.3.2.3. |
| 8. Koralijska biocenoza                             | G.4.3.1. |
| 9. Biocenoza polutamnih špilja                      | G.4.3.2. |

(NKS – Nacionalna klasifikacija staništa NN 07/2006)

### 4.2. Fizikalno-kemijski parametri na postajama Grunj i Jerolim

Vrijednosti temperature mora na dubinama od 5 i 10 metara izmjereni tijekom 2022. godine su u granicama normalnih i uobičajenih vrijednosti za područje sjevernog Jadrana (Slika 8). Povišene temperature do 27,7°C na dubini od 1 metar i 26,8°C na dubini od 5 metara utvrđene su tijekom 8 mjeseca. Zabilježene su varijacije temperature mora između 7. i 10. mjeseca od 6°C na dnevnoj razini, što predstavlja stres za bentoske organizme. Vanjska strana NP Brijuni često je pod udarom bure i juga koji miješanjem i strujanjem mora hlade ili dodatno griju donje slojeve mora. Na svim istraživanim postajama negativan utjecaj povišene temperature mora vidi se kroz odumiranje (nekroza) tkiva na spužvama, kamenim koraljima i mahovnjacima, a na nekim postajama i kao mortalitet jedinki i kolonija, te posljedično smanjenje istraživanih populacija.





Slika 8. Vrijednosti temperature mora na postaji Muzil tijekom 2022. godine.

Tablica 2. Koncentracije hranjivih soli na postajama Grunj i Jerolim u listopadu 2022. godine.

| <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (μmol/L)</b>  |              |                |
|---|--------------|----------------|
|   | <b>Grunj</b> | <b>Jerolim</b> |
| <b>Dubina</b>                               |              |                |
| <b>5m</b>                                   | 0,304        | 0,379          |
| <b>10m</b>                                  | 0,292        | 0,377          |
| <b>15m</b>                                  | 0,275        | 0,356          |
| <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (μmol/L)</b>  |              |                |
|   | <b>Grunj</b> | <b>Jerolim</b> |
| <b>Dubina</b>                               |              |                |
| <b>5m</b>                                   | 0,629        | 0,638          |
| <b>10m</b>                                  | 0,587        | 0,628          |
| <b>15m</b>                                  | 0,561        | 0,593          |
| <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (μmol/L)</b> |              |                |
|   | <b>Grunj</b> | <b>Jerolim</b> |
| <b>Dubina</b>                               |              |                |
| <b>5m</b>                                   | 0,039        | 0,042          |
| <b>10m</b>                                  | 0,038        | 0,040          |
| <b>15m</b>                                  | 0,035        | 0,039          |
| <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (μmol/L)</b>  |              |                |
|   | <b>Grunj</b> | <b>Jerolim</b> |
| <b>Dubina</b>                               |              |                |
| <b>5m</b>                                   | 0,062        | 0,071          |
| <b>10m</b>                                  | 0,061        | 0,075          |
| <b>15m</b>                                  | 0,057        | 0,069          |

Najveće vrijednosti nitrata izmjerene su na postaji Jerolim na 5 metara dubine (0,379 μmol/L), nitrita izmjereni su također na postaji Jerolim na 5 metara dubine (0,638 μmol/L) (Tablica 2). Najveće vrijednosti fosfata izmjerene su na postaji Jerolim na 5 metara dubine (0,042 μmol/L), a amonijaka na postaji Jerolim na 10 metara dubine (0,075 μmol/L). Veće vrijednosti koncentracija

hranjivih soli i amonijaka tijekom mjerenja na postaji Jerolim vjerojatno je razlog što je ta postaja pod većim antropogenim utjecajem s kopna.

Vrijednosti saliniteta, otopljenog kisika i pH ne razlikuju se značajno između postaja i mjerenih dubina (Tablica 3).

Tablica 3. Vrijednosti mjerenih hidrografskih parametara na postajama Grunj i Jerolim u listopadu 2022. godine.

| <b>Salinitet (‰)</b>        |              |                |
|-----------------------------|--------------|----------------|
|                             | <b>Grunj</b> | <b>Jerolim</b> |
| <b>Dubina</b>               |              |                |
| <b>5m</b>                   | 37,6         | 37,5           |
| <b>10m</b>                  | 37,8         | 37,7           |
| <b>15m</b>                  | 37,9         | 37,7           |
| <b>O<sub>2</sub> (mg/L)</b> |              |                |
|                             | <b>Grunj</b> | <b>Jerolim</b> |
| <b>Dubina</b>               |              |                |
| <b>5m</b>                   | 8,02         | 8,01           |
| <b>10m</b>                  | 8,03         | 8,01           |
| <b>15m</b>                  | 8,03         | 8,02           |
| <b>pH</b>                   |              |                |
|                             | <b>Grunj</b> | <b>Jerolim</b> |
| <b>Dubina</b>               |              |                |
| <b>5m</b>                   | 8,24         | 8,23           |
| <b>10m</b>                  | 8,23         | 8,22           |
| <b>15m</b>                  | 8,24         | 8,22           |

### 4.3. Raznolikost koralja na istraživanim postajama u NP Brijuni

Na istraživanim postajama u NP Brijuni utvrđeno je ukupno 34 vrsta koralja (Prilog 1). Najviše vrsta koralja utvrđeno je na postajama Vrsar (26 vrsta) i Peneda (25 vrsta), a najmanje na postajama Galija i Gaz (po 19 vrsta). Vrste koralja koje su zabilježene na svim postajama su moruzgve *Actinia equina*, *Aiptasia diaphana*, *Anemonia viridis*, *Phymanthus pulcher*, *Epizoanthus paxi* i kameni koralji *Balanophyllia europaea* (Slika 9), *Caryophyllia inornata*, *C. smithii*, *Cladocora caespitosa* (Slika 10) i *Leptopsammia pruvoti* (Slika 11).



Slika 1. Vrsta *Balanophyllia europaea* utvrđena na postaji Gaz.

Na najmanje postaja (1-2 postaje) utvrđene su vrste *Clavularia crassa*, *Epizoanthus steueri*, *Pachycerianthus multiplicatus*, *Paranemonia cinerea* i *Paracyathus pulchellus*. Većina utvrđenih vrsta nalazi se u biocenozi infralitoralnih alga, dok u koraligenskoj biocenozi prevladavaju vrste *Caryophyllia inornata*, *Hoplangia durothrix*, *Leptopsammia pruvoti* i *Parazoanthus axinellae* (Slika 12).



Slika 2. Kolonija koralja *Cladocora caespitosa* utvrđena na postaji Grunj.



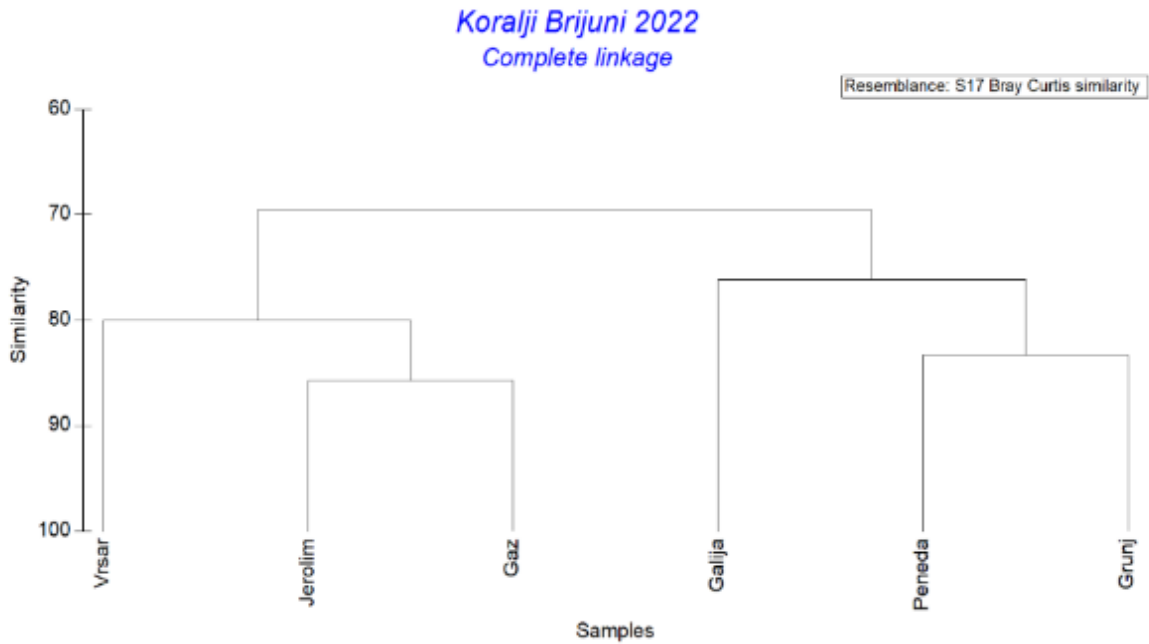
Slika 3. Jedinke vrste *Leptopsammia pruvoti* utvrđene na istraživanoj postaji Peneda.



Slika 4. Kolonije vrste *Parazoanthus axinellae* utvrđene na istraživanoj postaji Vrsar.

Tablica 4. Bray-Curtis koeficijent sličnosti (u %) prikazuje koliko zajedničkog u numeričkim vrijednostima imaju postaje s obzirom na ukupno utvrđene vrste koralja. Što je veći postotak, to postaje imaju više zajedničkih vrsta koralja.

|         | Jerolim | Peneda | Vrsar  | Grunj  | Galija | Gaz |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-----|
| Jerolim |         |        |        |        |        |     |
| Peneda  | 79,167  |        |        |        |        |     |
| Vrsar   | 81,633  | 82,353 |        |        |        |     |
| Grunj   | 69,565  | 83,333 | 77,551 |        |        |     |
| Galija  | 76,190  | 77,273 | 75,556 | 76,190 |        |     |
| Gaz     | 85,714  | 77,273 | 80,000 | 71,429 | 78,947 |     |



Slika 5. Graf klaster analize s obzirom na vrste koralja po istraživanim postajama. Istraživane postaje grupirane su prema broju i identitetu vrsta identificiranih koralja.



Slika 6. nMDS graf s obzirom na vrste koralja po istraživanim postajama. Udaljenost ili blizina istraživanih postaja povezana je s obzirom na zajednički broj vrsta koralja.

Najsličnije postaje obzirom na ukupne utvrđene vrste koralja su Jerolim i Gaz (85,7% sličnosti), Peneda i Grunj (83,3% sličnosti), Peneda i Vrsar (82,4% sličnosti), te Jerolim i Vrsar (81,6% sličnosti). Najmanje sličnosti imaju postaje Jerolim i Grunj (69,6%), Grunj i Gaz (71,4%), te Vrsar i Galija (75,6%) (Tablica 4). Posebno se izdvajaju postaje Gaz i Jerolim, zajedno sa postajom Vrsar zbog velike sličnosti biocenoza, te istih vrsta koralja na postajama (Slika 12). Na nMDS prikazu najviše se izdvaja postaja Galija, sa najmanje utvrđenih vrsta koralja i sličnosti sa ostalim postajama, primarno zbog toga što je to najplića postaja s najmanje rupa u polušpilja koje odgovaraju koraljima kao stanište (do 12 metara dubine) (Slika 13).

#### 4.4. Praćenje stanja koralja na istraživanim postajama

Tijekom istraživanja 2022. godine na postajama u NP „Brijuni“ izmjerene su povišene temperature mora koje djeluju negativno na istraživane vrste koralja na svim istraživanim postajama, iako izmjerene temperature mora nisu imale vrijednosti kao prijašnjih godina (do 28°C), Utjecaj povišene temperature mora na indikatorske vrste koralja prikazan je u Tablici 5.

Tablica 5. Utjecaj povišene temperature mora na istraživane vrste koralja na istraživanim postajama u NP „Brijuni“ (P - pojačan utjecaj; N - nema utjecaja).

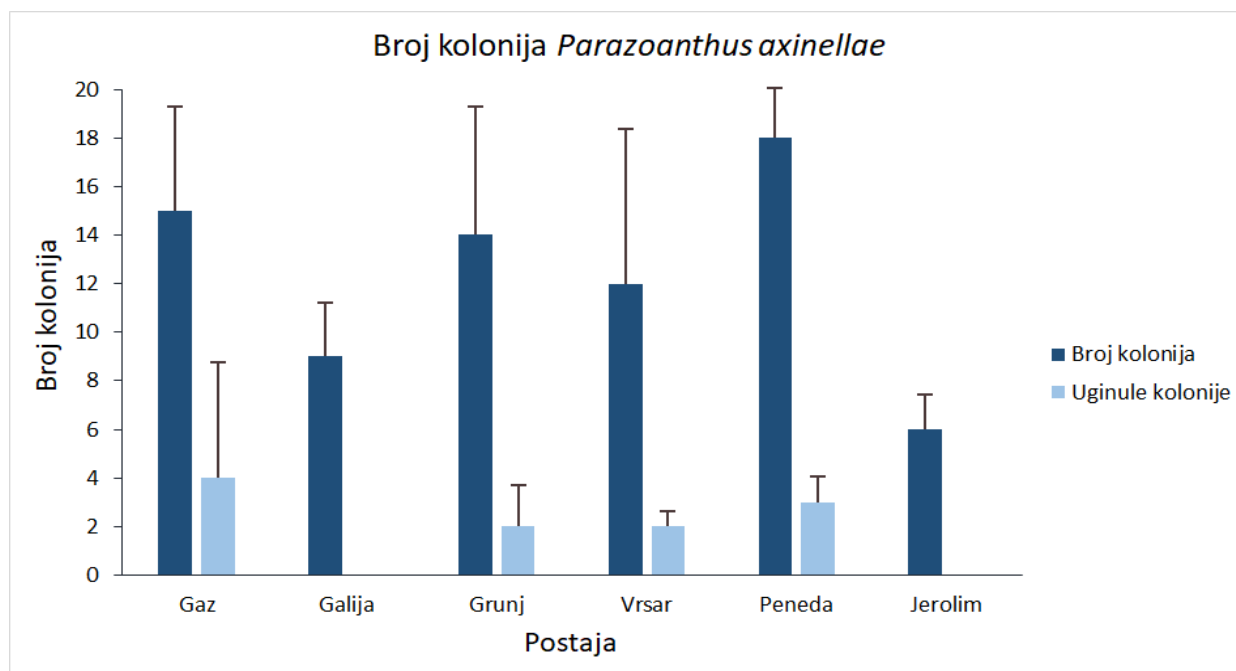
|                               | Postaja |        |       |       |        |     |
|-------------------------------|---------|--------|-------|-------|--------|-----|
|                               | Jerolim | Peneda | Vrsar | Grunj | Galija | Gaz |
| <b>Vrsta indikator</b>        |         |        |       |       |        |     |
| <i>Parazoanthus axinellae</i> | N       | P      | P     | P     | N      | P   |
| <i>Cladocora caespitosa</i>   | N       | P      | P     | N     | P      | P   |
| <i>Balanophyllia europaea</i> | P       | P      | P     | P     | P      | P   |
| <i>Caryophyllia inornata</i>  | N       | P      | P     | N     | N      | P   |
| <i>Leptopsammia pruvoti</i>   | P       | P      | P     | P     | P      | P   |



Kod vrsta *Balanophyllia europaea* i *Leptopsammia pruvoti* tijekom istraživanja utvrđen je pojačan negativan utjecaj povišene temperature mora na svim istraživanim postajama, dok je kod ostalih vrsta negativan utjecaj bio na većini istraživanih postaja. Oštećenja na koraljima su vidljiva u obliku nekroze tkiva kod kamenih koralja (djelomično ili potpuno nestali polip zbog nekroze) ili kao izbjeljivanje polipa simbiotskih koralja (npr. *Balanophyllia europaea* i *Cladocora caespitosa*). Oštećenja su i tijekom istraživanja 2022. godine utvrđena i na spužvama (*Petrosia ficiformis*, *Spongia officinalis*, *S. agaricina*, *Ircinia* sp. i rodu *Axinella*) i mahovnjacima (*Margaretta cereoides*, *Myriapora truncata*, *Pentapora fascialis* i *Smittina cervicornis*).

#### 4.4.1. *Parazoanthus axinellae* Schmidt, 1862

Tijekom istraživanja 2022. godine utvrđena je djelomična nekroza tkiva kod ove vrste na istraživanim postajama (Slika 14).



Slika 14. Brojnost zdravih i uginulih kolonija vrste *Parazoanthus axinellae* na istraživanim postajama (prosjek  $\pm$  standardna devijacija) po istraživanim kvadratima (25x25 cm) na svim istraživanim dubinama).



Slika 15. Zatvoreni polipi na koloniji vrste *Parazoanthus axinellae* na istraživanoj postaji Peneda.

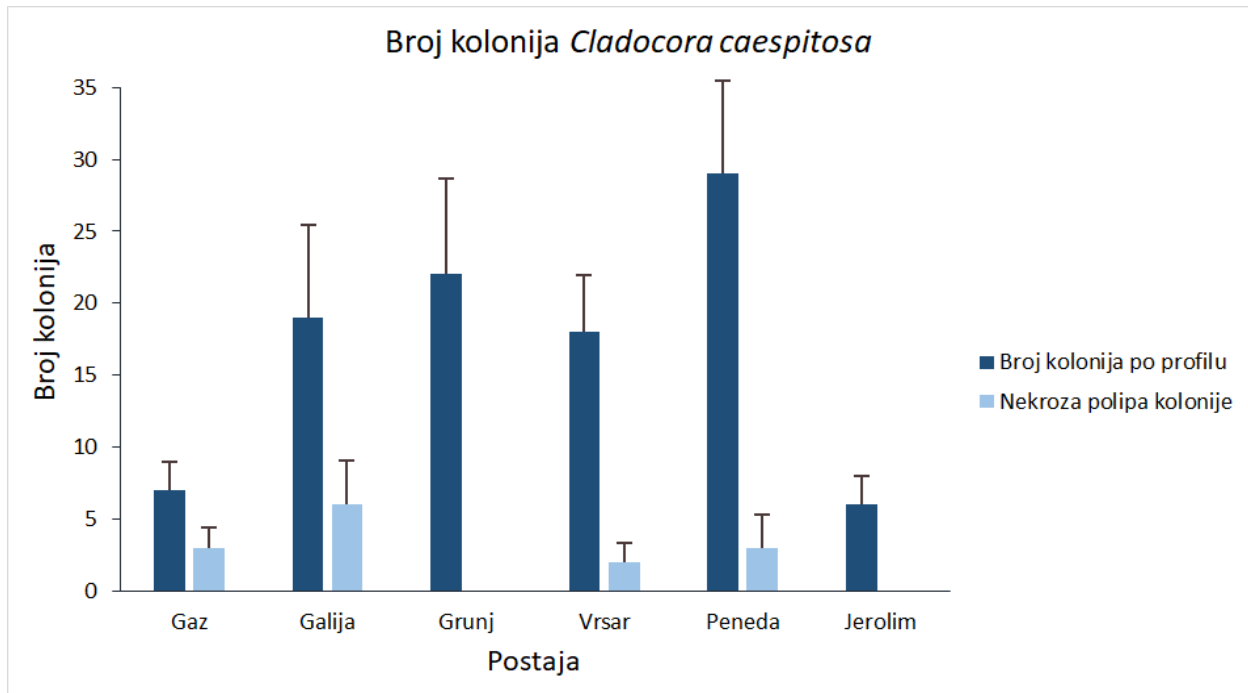
Stres kod ove vrste izražen je zatvorenim polipima djelomične ili cijele kolonije, a nekroza se vidi kao odumiranje tkiva polipa. Najviše su ugrožene kolonije na postaji Gaz ( $26,7 \pm 18,5\%$  kolonija), Vrsar ( $16,7 \pm 7,3\%$ ) i Peneda ( $16,7 \pm 5,6\%$  kolonija). Na postajama Galija i Jerolim nisu utvrđene kolonije sa nekrozom polipa ove vrste. Ova vrsta zadružne moruzgve prilično je česta u rupama i polušpiljama na vanjskim istraživanim postajama u NP Brijuni, a zadnjih desetak godina sve je više ugrožena, prvenstveno visokom temperaturom mora, ali i onečišćenja mora. Ugroženije su pliće kolonije, do 10 metara dubine, osjetljive na povećanje temperature mora u ljetnom razdoblju. Polipi žute moruzgve se uglavnom ne oporave, već zbog nekroze tkiva polipa uginu cijela kolonija. Pojava nekroze tkiva kod polipa žute moruzgve prisutna je u cijelom istočnom dijelu Jadrana. Ova vrsta pokazuje nešto veću otpornost na povišenu temperaturu mora i patogene od drugih vrsta moruzgvi i koralja, ali dugotrajna visoka temperatura mora ugrožava preživljavanje ove vrste, što se pokazalo i kod istraživanja u NP Brijuni.

#### 4.4.2. *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767)

Vrsta *Cladocora caespitosa* je česta na svim istraživanim postajama u NP Brijuni (Slika 16). Zbog eutrofnog mora područje NP Brijuna je idealno stanište za ovu vrstu koralja. Povišena temperatura mora, te posljedična nekroza tkiva i izbjeljivanje polipa koralja, glavni je čimbenik ugroženosti kolonijalnog koralja *C. caespitosa* na istraživanim postajama u NP Brijuni. Smrtnost kolonija utvrđena je na svim istraživanim postajama, osim na postaji Jerolim. Najviše uginulih kolonija na postajama utvrđeno je na postajama Gaz ( $42,9 \pm 17,4\%$ ), Galija ( $31,6 \pm 21,5\%$ ) i Vrsar ( $11,1 \pm 3,8\%$ ) (Slike 17 i 19). Smrtnost kolonija koralja *C. caespitosa* je posljedica dugotrajnih vremenskih razdoblja s visokom temperaturom mora tijekom ljetnih mjeseci i posljedični razvoj patogena (bakterije i virusi) zbog kojih dolazi do nekroze tkiva polipa. Iako tijekom 2022. godine nije bilo ekstremno povišenih temperature mora kao ranijih godine, očito je da i temperatura mora od  $28^\circ\text{C}$  može stvoriti negativne posljedice za kolonije ove vrste simbiotskog koralja. Uz nekroze tkiva polipa utvrđeno je i izbjeljivanje polipa („bleaching“ kao kod tropskih koralja) (Slika 18).



Slika 16. Kolonija koralja *Cladocora caespitosa* na postaji Grunj.



Slika 17. Brojnost zdravih i oštećenih kolonija vrste *Cladocora caespitosa* na istraživanim postajama tijekom 2022 (prosjeak ± standardna devijacija).



Slika 18. Izbjeljivanje polipa koralja *Cladocora caespitosa* na postaji Peneda.



Slika 19. Uginula kolonija koralja *Cladocora caespitosa* na postaji Galija.



Slika 20. Kompeticija koralja *Cladocora caespitosa* i zelenih alga na postaji Grunj.

Iako postoji mogućnost oporavka polipa koralja nakon izbjeljivanja u godinama kada nema temperaturnih anomalija (primjer kolonija u Piranskom zaljevu), takav proces nije utvrđen u području NP Brijuni.

Problem na svim istraživanim postajama je i velika kompeticija sa algama, prvenstveno vrstama zelenih alga *Anadyomene stellata*, *Halimeda tuna* i rodovima *Codium* i *Valonia* (Slika 20). Utvrđeno je i cvjetanje mora, te prisutnost alge *Acinetospora crinita* na svim istraživanim postajama. Alga prekriva kolonije koralja i „guši“ ga nedozvoljavajući polipima hranjenje zooplanktonom, te smanjuje količinu svjetlosti simbiotskim zooksantelama u polipima koralja

#### **4.4.3. *Balanophyllia europaea* (Risso, 1826)**

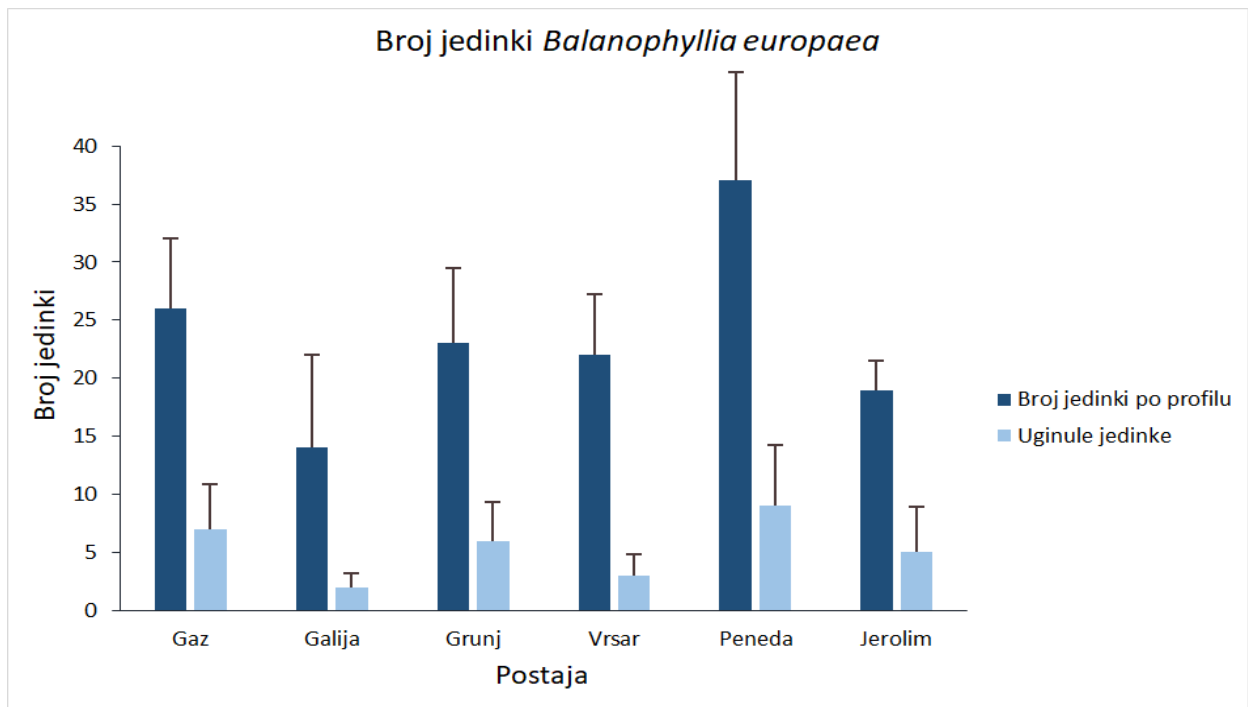
Vrsta *Balanophyllia europaea* je najugroženija vrsta kamenog koralja u Jadranu zbog velike osjetljivosti na dugotrajno povišene temperature u plićim dijelovima mora (biocenoza infralitoralnih alga) (Slika 21). Izbjeljivanje polipa i nekroza tkiva polipa kod ovog koralja utvrđena je na svim istraživanim postajama u NP Brijuni (Slika 22). Najviše je uginulih jedinki koralja utvrđeno na postajama Gaz (26,9% uginulih jedinki), Jerolim (26,3±15,3% uginulih jedinki), Grunj (26,1±12,3% uginulih jedinki) i Peneda (24,3±8,6% uginulih jedinki) (Slika 23). I na ostalim postajama utvrđena je smrtnost jedinki (između 13 i 15%). Na velikom broju uginulih jedinki utvrđena je smrtnost novijeg datuma, jer im je skelet potpuno bijel, bez obraštaja koji se javlja nakon 2-3 mjeseca (Slika 24). Smrtnost ove vrste je odličan primjer negativnog utjecaja povišene temperature mora unutar zadnja dva desetljeća. Velik dio jedinki koralja *B. europaea* bio je prekriven je algama *Acinetospora crinita* i *Caulerpa cylindracea*, što, kao i kod vrste *Cladocora caespitosa*, onemogućuje hranjenje polipa i fotosintezu simbiotskih alga. S obzirom da nije utvrđen veći antropogeni utjecaj (ribarski alati) na ovu vrstu, temperatura mora (uz dalji negativan učinak bakterija) i obraštajne alge su glavni čimbenik koji znatno ugrožava ovu vrstu. Na istraživanim postajama nije utvrđen oporavak polipa nakon izbjeljivanja.



Slika 21. Koralj *Balanophyllia europaea* na postaji Gaz.



Slika 22. Izbjeljivanje polipa kamenog koralja *Balanophyllia europaea* na postaji Peneda.



Slika 23. Brojnost zdravih i uginulih jedinki vrste *Balanophyllia europaea* na istraživanim postajama tijekom 2022. godine (prosjeak ± standardna devijacija).



Slika 24. Uginula jedinka kamenog koralja *Balanophyllia europaea* na postaji Vrsar.

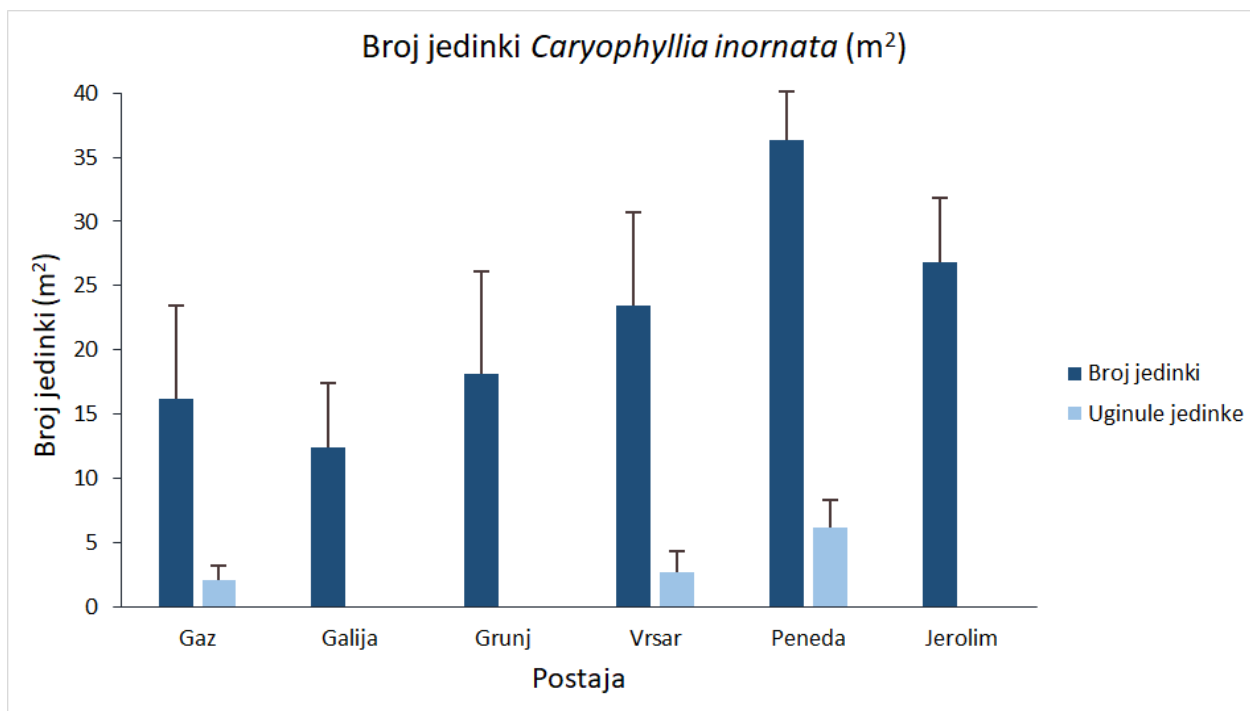


#### 4.4.4. *Caryophyllia inornata* (Duncan, 1878)

Vrsta *Caryophyllia inornata* vrlo je ugrožena u srednjem i južnom dijelu Jadrana, a na sjevernom Jadranu za sada, srećom, ne pokazuje veću ugroženost (Slika 25). Kod kamenog koralja *C. inornata* najugroženije su jedinke do 20 metara dubine primarno zbog visokih temperatura mora tijekom ljetnih mjeseci. Nastanak nekroze polipa ove vrste sličan je kao kod vrste *Leptopsammia pruvoti* (s obzirom da ove dvije vrste dijele isto stanište), pa je i kod ove vrste prisutna nekroza polipa zbog povišene temperature mora i izgladnjivanja. Iako je dosad ova vrsta prilično otporna na promjene temperature zbog velikog dubinskog raspona, danas je sve ugroženija i djelovanjem onečišćenja mora. Kod ove vrste kamenog koralja negativan utjecaj temperature mora je bio znatno manji tijekom istraživanja 2022. godine, nego godina prije. Iako ova vrsta kamenog koralja pokazuje znatno veću otpornost na temperaturne anomalije, nekroza tkiva i smrtnost utvrđena je na svim istraživanim postajama, ali u relativno malim postocima. Uginule jedinke koralja utvrđene su na postajama Peneda ( $17,1 \pm 6,2\%$  uginulih jedinki), Gaz ( $12,9 \pm 3,8\%$  uginulih jedinki) i Vrsar ( $11,5 \pm 21,7\%$  uginulih jedinki) (Slika 26). Na postajama Galija, Grunj i Jerolim nisu utvrđene uginule jedinke.



Slika 25. Jedinke kamenog koralja *Caryophyllia inornata* na postaji Gaz.



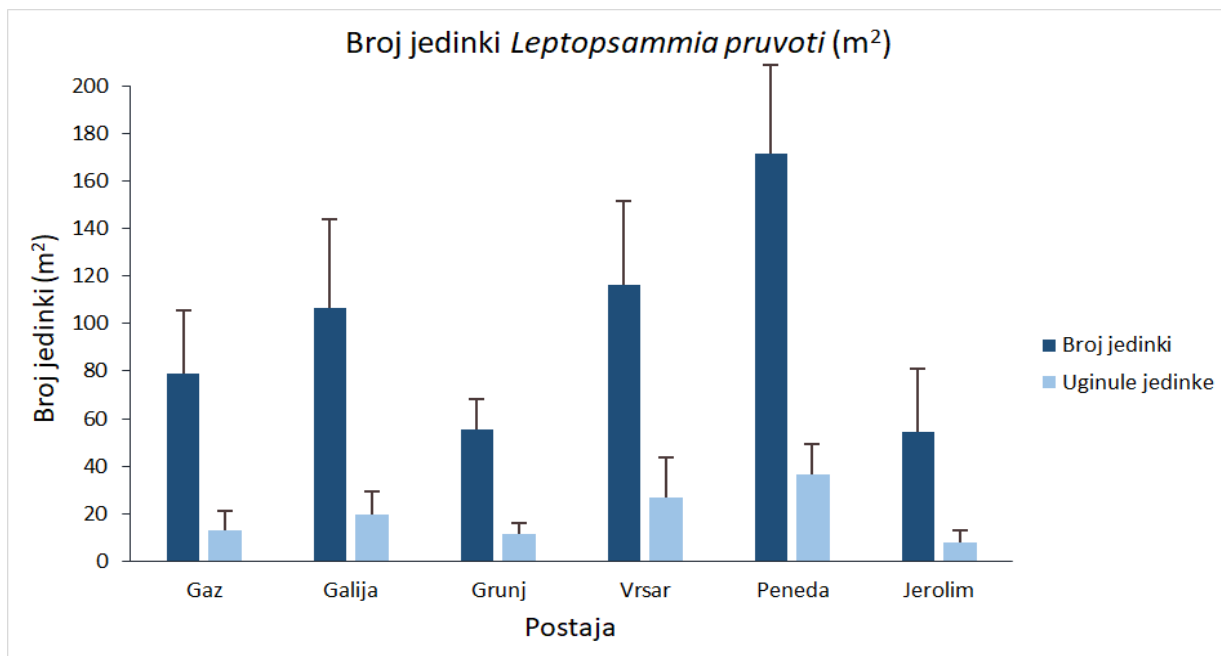
Slika 26. Brojnost zdravih i uginulih jedinki *Caryophyllia inornata* na istraživanim postajama (prosjek ( $\pm$  standardna devijacija) po istraživanim kvadratima (25 x 25 cm) na svim istraživanim dubinama) tijekom 2022. godine.

#### 4.4.5. *Leptopsammia pruvoti* Lacase-Duthiers, 1897

Žuta čaška česta je u koraligenu, te plićim rupama i polušpiljama na istraživanim postajama u NP Brijuni (Slika 27). Kod žute čaške jedinke koje žive pliće (iznad 20 metara dubine) (u procjepima, rupama, polušpiljama i špiljama) otpornije su na promjene temperature mora od onih ispod 20 metara dubine (na primjer pravi koraligen ili duboke špilje). Negativan utjecaj povišene temperature mora utvrđen je na svim istraživanim postajama. Brojnost žute čaške kao i kod ostalih vrsta koje se broje unutar kvadrata ovisi primarno o slučajnosti izabranih mjesta postavljenih kvadrata („random sampling“). Najveći broj uginulih jedinki utvrđen je na postajama Vrsar (22,9 $\pm$ 12,5% uginulih jedinki), Peneda (21,3 $\pm$ 14,3% uginulih jedinki) i Grunj (20,4 $\pm$ 9,7% uginulih jedinki). Najmanji broj uginulih jedinki utvrđen je na postaji Jerolim (14,5% uginulih jedinki) (Slika 28). Stres kod žute čaške počinje zatvaranjem polipa, a duže vremensko razdoblje utjecaja povišene temperature mora dovodi do nemogućnosti hranjenja, te nekroze tkiva polipa i uginuća jedinke (Slika 29).



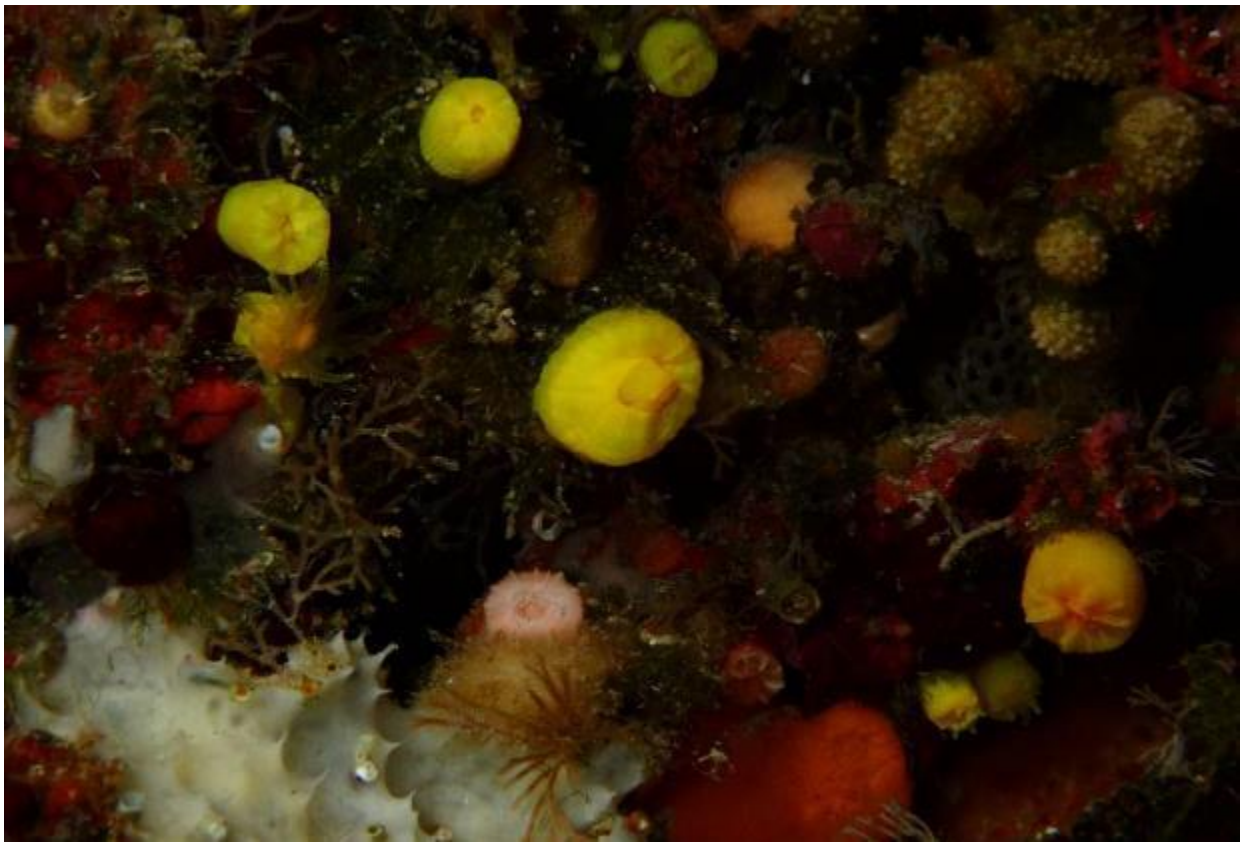
Slika 27. Jedinke kamenog koralja *Leptopsammia pruvoti* na postaji Peneda.



Slika 28. Brojnost zdravih i uginulih jedinki vrste *Leptopsammia pruvoti* na istraživanim postajama (prosjeak  $\pm$  standardna devijacija) po istraživanim kvadratima (25 x 25 cm) na svim istraživanim dubinama) tijekom 2022. godine.

Smrtnost jedinki žute čaške u istočnom dijelu Jadrana povećava se za gotovo 10% godišnje, što predstavlja prilično veliku prijetnju za ovu vrstu. Nije utvrđena povezanost mukusa od cvjetanja mora sa mortalitetom jedinki ove vrste na istraživanim postajama, tako da je mortalitet gotovo isključivo povezan sa povišenom temperaturom mora i povezanim bakterijskim bolestima.

Glavni razlog velikog grupiranja jedinki žute čaške je razvedenost istraživanih profila (mnoštvo pukotina, rupa i polušpilja), što je karakteristika zapadne strane otočića u NP Brijuni. Kod žute čaške negativan utjecaj povišene temperature mora nije bio je povećan tijekom istraživanja 2022. godine, za razliku od istraživanja prošlih godine.



Slika 29. Jedinke kamenog koralja *Leptopsammia pruvoti* na postaji Grunj. Vide se otvoreni i zatvoreni polipi koralja.

#### 4.5. Negativni utjecaji na raznolikost koralja na istraživanim postajama

Tijekom istraživanja koralja u NP Brijuni utvrđeno je intenzivno širenje invazivne alge *Caulerpa cylindracea* Sonder na svim istraživanim postajama (Slika 30). Prisutna je u biocenozi fotofilnih alga, iako se može širiti i dublje u koraligensku biocenu. Alga guši koralje prerastajući preko njih, primarno sprečavajući hranjenje polipa, a kod vrsta sa simbiotskim algama sprečava fotosintezu simbiotskih zooksantela u polipu.

Smeđa alga *Acinetospora crinita* prekrivala je morsko dno na svim istraživanim postajama istraživanih u jesen 2022. godine (Slika 31). Ova smeđa alga prekriva sesilne vrste, poput spužvi i koralja (kamenih koralja i gorgonija) i razgradnjom ove alge bakterije napadaju spomenute sesilne vrste. Često znatno stradavaju populacije spužavi, koralja i mahovnjaka.



Slika 30. Alga *Caulerpa cylindracea* na postaji Peneda.



Slika 31. Smeđa alga *Acinetospora crinita* i zelena alga *Caulerpa cylindracea* na postaji Grunj.



Slika 7. Ostavljena ribarska mreža na postaji Vrsar.

Cvjetanje mora je učestalije na postajama koja su u blizini naselja zbog kanalizacijskih ispusta, dok je u NP Brijuni manji utjecaj na vanjskoj, zapadnoj strani parka. To je također problem eutrofikacije obalnog dijela istočnog Jadrana, koji je sve manje oligotrofan kao nekad. Taloženjem mukusa alga na morsko dno i bakterijskom razgradnjom tog mukusa često dolazi do anoksije koja je poznata za sjeverni dio Jadrana i vrlo opasne za bentoske organizme.

Velika je i kompeticija alga sa koraljima, pogotovo vrstama *Cladocora caespitosa* i *Balanophyllia europaea* (Slika 20). Većinom su to alge *Anadyomene stellata* (Wulfen) C. Agardh, *Chaetomorpha linum* (Müller) Kützing; *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V. Lamouroux, *Halimeda tuna* (Ellis et Solander) Lamouroux, *Flabellia petiolata* (Turra) Nizamuddin, te rodovima *Codium* i *Valonia*.

Kao što je, na žalost, slučaj i sa ostalim zaštićenim područjima u istočnom Jadranu i u NP Brijuni su utvrđeni ostavljeni ribolovni alati. Na postajama Vrsar i Jerolim utvrđene su ostavljene ribarske mreže i vrše (Slika 32).

## 5. Rasprava

Na istraživanim postajama u NP Brijuni utvrđeno je 34 vrste koralja, što je 29,3% vrsta utvrđenih za Jadransko more (116 vrsta) (Kružić, 2023, *u tisku*). Glavni razlog manje raznolikosti koralja uz istočnu obalu Istarskog poluotoka, za razliku od ostalih dijelova istočnog Jadrana je raznolikost staništa, primarno nedovoljno razvijena koraligenska biocenoza (iako je prisutna na svim istraživanim postajama) kao glavnog staništa za koralje. Uz to je razlog i relativno plitka staništa, te smanjena prozirnost mora.

S obzirom da nema značajnijih razlika u utvrđenim staništima i biocenzama istraživanih postaja nije utvrđena niti značajnija razlika u sličnosti istih vrsta između postaja. Sličnosti prema Bray-Curtis indeksu kreću se između 70 i 85%. Najsličnije postaje obzirom na ukupne utvrđene vrste koralja su postaje sa vrlo sličnom morfologijom dna (dubina, reljef staništa) poput postaja Jerolim, Gaz, te Peneda, Vrsar i Grunj. Najmanje sličnosti s ostalim postajama ima najplića postaja Galija, sa najmanje utvrđenih vrsta koraljama. Nema značajnijih razlika vezano uz bioraznolikost koralja u NP Brijuni između istraživanja 2018. godine i 2022. godine (Kružić i sur., 2018).

Temperature mora nešto nižih vrijednosti nego prošlih godina kada su temperature mora išle i do 30°C na 5 metara dubine (2018., 2019, i 2021. godine), ali su i dalje prijatnija za sesilne vrste. Duži vremenski period povišenih temperatura mora koji može trajati i po nekoliko tjedana može uzrokovati nekroze tkiva i ugibanja sesilnih organizama, prvenstveno spužava i koralja, što je već utvrđeno na istraživanim postajama tijekom prijašnjih istraživanja (Kružić, 2019). Vrijednosti temperature mora na dubinama od 5 i 10 metara izmjereni tijekom 2022. godine su u blago povišene za područje sjevernog Jadrana, ali znatno manje od povišene temperature mora zadnjih dvadesetak godina u sjevernom Jadranu (Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) 2022). Povećane temperature mora (temperaturene anomalije) do 50 metara dubine utvrđene su u Jadranskom moru u zadnjih 20-tak godina. Rijetke su godine kada nije bilo povišenih temperatura mora uz istočnu jadransku obalu. I tijekom 2022. godine nastavio se umjereniji „trend“ temperature mora u cijelom Jadranu kao posljedica znatno nemirnijeg mora (prvenstveno bura i maestral u srednjem dijelu Jadrana) koji je more hladio tijekom ljetnih mjeseci. Tijekom kasnog ljeta i jeseni temperatura mora se povisila, ali bez dužih vremenskih perioda toplog mora na većim dubinama koje bi znatnije ugrozilo sesilne vrste. Takav mirniji „trend“ temperature mora na istraživanim postajama u NP Brijuni vjerojatno je posljedica znatno nemirnijeg mora (prvenstveno bura i maestral u sjevernom dijelu Jadrana) koji je more donekle hladio tijekom ljetnih mjeseci.



Tada također nije bilo dugotrajnih izuzetno toplih dana (više od 30 dana u nizu) na području srednjeg Jadrana, koji bi zagrijali more, niti čestog južnog vjetra koji bi potpomognuo zagrijavanje uzobalnog mora. Polipi koralja stalno su uvučeni, pa se vrsta ne hrani, što dodatno uzrokuje mortalitet. Najveći problem je duljina vremena sa povišenom temperaturom mora, koja ponekad može biti i više od mjesec dana. Zbog nekroze tkiva koralja kod povišenih temperatura mora ostaje goli skelet na koji se kasnije hvataju razni organizmi koji trebaju čvrstu podlogu za život. Često nalazimo crvene alge, obrubnjake i mahovnjake na skeletu. Nekroze tkiva kod spužava, kamenih koralja i gorgonija utvrđeni su svih godina sa povećanim temperaturnim anomalijama. Na svim istraživanim postajama u NP Brijuni vidljivo je djelomično smanjivanje populacija i negativan utjecaj povišene temperature mora. Ovakav negativan utjecaj primjećuje se kao odumiranje (nekroza) tkiva na spužvama, kamenim koraljima i mahovnjacima, te kao mortalitet jedinki i kolonija i smanjenje njihove populacije. Usporedba promjena u zadnjih 20 godina kod istraživanih staništa (prvenstveno koraligenske biocenoze i biocenoze infralitoralnih alga) u istočnom Jadranu pokazuje pozitivnu korelaciju između povišenja temperature mora i povećanja smrtnosti kod vrsta koralja indikatora (Kružić i sur., 2014; 2016). Stres kod koralja može dovesti do smrti unutar populacija i kod jakih dnevnih oscilacija temperature mora (Kružić i sur., 2016). To je utvrđeno i kod ovog istraživanja gdje su oscilacije varirale i do 6°C dnevno. Kod ovakvih oscilacija važnu ulogu imaju i vjetrovi, prvenstveno hladna bura, ali i toplo jugo i maestral.

Fizikalno-kemijski parametri su na razini koncentracija u moru sjevernog Jadrana, te mogu predstavljati značajnu ugrozu za podmorski svijet NP Brijuni, primarno zbog suviška hranjivih soli koje izaziva znatno cvjetanje mora tijekom toplijeg dijela godine (prvenstveno zbog rijeke Po i turizma uz zapadnu obalu Istre) (Turk, 2011). Izmjerene vrijednosti hranjivih soli u listopadu 2022. godine ne pokazuju drastična odstupanja od prosječnih vrijednosti za sjeverni Jadran (Giani i sur. 2012). Veće vrijednosti koncentracija hranjivih soli i amonijaka tijekom mjerenja na postaji Jerolim vjerojatno je razlog što je ta postaja pod većim antropogenim utjecajem s kopna.

Problem na istraživanim postajama predstavlja cvjetanje mora (i planktonske i bentoske alge (većinom nitasta smeđa alga roda *Acinetospora*)) tijekom istraživanja početkom ljeta, ali i početkom zime. Ovo kasnije cvjetanje moglo bi se povezati s turizmom na Jadranu i kanalizacijskim sustavom obalnih gradova i turističkih naselja. Cvjetanje mora u sjevernom Jadranu ugrožava podmorski svijet taloženjem mukusa na morsko dno što uzrokuje bakterijsku razgradnju koja šteti sesilnim organizmima poput koralja (Cerrano i sur., 2000). Na žalost, ovakve

epizode cvjetanja mora u današnje vrijeme je prisutno duž cijele istočne obale Jadranskog mora. Masovni pomori vrsta zbog cvjetanja alga poznati su za zapadni dio Istarskog poluotoka u kasno proljeće, ljeto i jesen. Ipak, jake pridnene struje čiste more i sprječavaju nakupine mukusa alga na morskom dnu. Najveći problem stvaranja mukusa alga je kasnija bakterijska razgradnja koja dovodi do anoksije zbog bakterijske potrošnje kisika i pomora bentoskih organizama. Uz povišenu temperaturu mora, na nekrozu tkiva kamenih koralja utječe i pojačani razvoj bakterija, virusa i gljivica kojima odgovara povišena temperatura mora. Negativan utjecaj ima i mukus nastao kod cvjetanja alga koji bakterije razgrađuju, te pritom napadaju i tkivo koralja. Razvoj mukusa je postala uobičajena pojava za cijeli Jadran i u zadnjih nekoliko godina česta je u podmorju NP „Brijuni“.

Sve odabrane vrste koralja indikatora pokazuju stupnjeve oštećenja populacija vezano za temperaturne anomalije. Najviše su ugroženi kameni koralji *Cladocora caespitosa*, *Balanophyllia europaea*, te *Leptopsammia pruvoti*, vrste kod kojih je utvrđena smrtnost na svim istraživanim postajama. Posebna pozornost usmjerena je na kolonijalni kameni koralj *Cladocora caespitosa*, čije su populacije zbog klimatskih promjena i temperaturnih anomalija vrlo ugrožene u cijelom Sredozemnom moru. Koralj *C. caespitosa* u NP Brijuni ugrožen je previsokim temperaturama mora, te negativnim utjecajem bakterijske razgradnje mukusa koji nastaje prekomjernim cvjetanjem mora tijekom toplijih mjeseci. Populacije ovog koralja rijetko pokazuju oporavak zbog povišenih temperatura mora, jer se kolonija ne hrani zbog uvučenih polipa. Nakon toga dolazi do nekroze tkiva polipa i smrti kolonije. Izbjeljivanje polipa kod vrsta *Cladocora caespitosa* i *Balanophyllia europaea* utvrđeno je tijekom ovog istraživanja na svim postajama, osim na postaji Jerolim kod vrste *Cladocora caespitosa*. Kod izbjeljenih polipa nije utvrđen kasniji mogući oporavak, te dolazi do smrti polipa. Za razliku od NP Brijuni, u Piranskom zaljevu većina kolonija se nakon izbjeljivanja polipa oporavi (Kružić i sur., 2014). Vrsta *Leptopsammia pruvoti* također je ugrožena na istraživanim postajama povišenom temperaturom mora. Vrsta je poznata kao jedna od osjetljivijih koralja vezano za klimatske promjene (Cerrano i sur., 2000). Iako je vrsta u plićim područjima južnog Jadrana otpornija na povišene temperature mora (Kružić i sur., 2014), u sjevernom dijelu Jadrana to nije slučaj. S obzirom da vrsta *L. pruvoti* živi u rupama, polušpiljama i špiljama, ona je uglavnom zaštićena od negativnog djelovanja mukusa nakon cvjetanja alga. Stoga je glavni razlog ugroze ove vrste povišena temperatura mora. Također je utvrđen pojačan negativni utjecaj na vrstu *Parazoanthus axinellae* na istraživanim postajama, osim na postaji

Jerolim. Na ovoj postaji su prilično jake pridnene morske struje koje djelomično smanjuju negativan utjecaj povišene temperature mora, pa bi to mogao biti razlog izostanka smrtnosti kod kolonija vrsta *Cladocora caespitosa* i *Parazoanthus axinellae*. I kod ovogodišnjeg istraživanja veliki dio kolonija *P. axinellae* bio je sa zatvorenim polipima ili je utvrđena nekroza tkiva, što je znak ugroženosti povišenom temperaturom mora.

Tijekom istraživanja koralja u NP Brijuni utvrđena je široka rasprostranjenost invazivne alge *Caulerpa cylindracea* Sonder na svim istraživanim postajama. Alga guši bentoske sesilne vrste, pa tako i koralje prerastajući preko njih, primarno sprečavajući hranjenje polipa, a kod vrsta sa simbiotskim algama sprečava fotosintezu simbiotskih alga zooxantela u polipu (Kružić i sur., 2008). Alga je raširena po cijelom istočnom dijelu Jadrana, a na istraživanim postajama je utvrđena i na tvrdoj i na pomičnoj podlozi. Gusti slojevi alge stvaraju i anoksični sloj ispod talusa, što dodatno ubija koralje. Širenje ove alge ovisno je i o hidrodinamizmu mora koji trga i raznosi fragmente alge. Kako fragmenti alge tonu, morsko ih gibanje može odnijeti najviše nekoliko stotina metara gdje se razvija novo naselje alge. Alga je na postaji Peneda utvrđena i na 30 metara dubine.

Iako su na istraživanim postajama pronađeni ostavljeni ribolovni alati, ti alati nisu uzrok nekih većih ugroza. Ostavljene ribarske mreže („ghost nets“) predstavljaju opasnost za ribe prvih godinu dana, a nakon što se za njih uhvati obraštaj prestaju biti stvarna opasnost, već samo „otpad“.

Duž gotovo svih istraživanih postaja u NP Brijuni prilikom ronilačkog pregleda primijećen je antropogeni utjecaj na morsko dno u vidu odbačenog krutog otpada. Dio tog otpada dolazi s brodova, dok dobar dio dolazi s kopna nošen morskim strujama. To su uglavnom razni metalni (većinom limenke), te stakleni i najviše plastični predmeti (boce, posuđe).

Sadašnji trend povišenih temperatura mora u Sredozemnom moru, pa tako i u Jadranu tijekom ljetnih mjeseci, sigurno će dovesti do nove ugroze koralja i smrtnost populacija koja bi uskoro mogla postati i sve učestalija. Uz masovno cvjetanje alga u sjevernom dijelu Jadranskog mora, sve jačeg širenja invazivne alge *Caulerpa cylindracea*, povećanje temperature mora je novi, ako ne i glavni uzrok ugibanja koralja u istočnom dijelu Jadrana kojem se više ne možemo oduprijeti. S obzirom na blaže temperaturne anomalije tijekom istraživanja u 2022. godini, pitanje ostaje je li spomenuta godina samo mali predah u klimatskim promjenama koje znatno utječu na bioraznolikost Jadranskog mora.

## 6. Zaključci

- Na istraživanim postajama u NP Brijuni utvrđeno je ukupno 34 vrste koralja što predstavlja 29,3% vrsta ukupno utvrđenih u Jadranskom moru (116 vrsta).
- Najviše vrsta koralja u NP Brijuni utvrđeno je na postajama Vrsar (26 vrsta koralja) i Peneda (25 vrsta koralja). Najmanje vrsta koralja utvrđeno na postajama Galija i Gaz (19 vrsta koralja).
- Vrste koralja koje su zabilježene na svim postajama jesu: *Aiptasia diaphana*, *Anemonia viridis*, *Balanophyllia europaea*, *Caryophyllia inornata*, *C. smithii*, *Cladocora caespitosa*, *Epizoanthus paxi*, *Hoplangia durothrix*, *Leptopsammia pruvoti* i *Phymanthus pulcher*.
- Najsličnije postaje obzirom na ukupne utvrđene vrste koralja su postaje sa vrlo sličnom morfologijom dna (dubina, reljef staništa). Najsličnije istraživane postaje obzirom na ukupne utvrđene vrste koralja su Jerolim i Gaz (85,7% sličnosti), Peneda i Grunj (83,3% sličnosti), Peneda i Vrsar (82,4% sličnosti). Najmanje sličnosti imaju postaje Jerolim i Grunj (69,6%), Grunj i Gaz (71,4%).
- Kod vrsta *Balanophyllia europaea*, *Cladocora caespitosa*, *Leptopsammia pruvoti* i *Parazoanthus axinellae* tijekom istraživanja utvrđen je pojačan negativan utjecaj povišene temperature mora kroz nekrozu tkiva polipa i smrtnost jedinki i kolonija.
- Izbjeljivanje polipa zbog povišene temperature mora utvrđeno je kod vrsta *Cladocora caespitosa* i *Balanophyllia europaea* na svim istraživanim postajama.
- Na svim istraživanim postajama utvrđeno je cvjetanje bentoskih alga te pojava sluzavih nakupina koje negativno djeluju na populacije koralja. Smeđa alga *Acinetospora crinita* prekriva morsko dno na svim istraživanim postajama.
- Utvrđeno je intenzivno širenje invazivne alge *Caulerpa cylindracea* Sonder na svim postajama unutar NP Brijuni. Alga je opasna za populacije koralja, jer sprječava hranjenje polipa i fotosintezu kod simbiotskih vrsta (vrste *Balanophyllia europaea* i *Cladocora caespitosa*).
- Na istraživanim postajama Vrsar i Jerolim utvrđeni su ostavljeni ribolovni alati (stare ribarske mreže). Novo postavljene ribarske alate nisu utvrđeni što pokazuje dobru zaštitu područja.

## 7. Literatura

1. Abel E F. 1955. Eine neue Krustenanemone der Adria, *Epizoanthus paxi*, nov.spec. Österr. zool. Zeitschr. 6 (1-2): 1-6
2. Aguilar R. 2004. The Corals of the Mediterranean. Oceana. Madrid. 1-86
3. Bianchi C N. 1997. Climate change and biological response in the marine benthos. In: Piccazzo, M. (eds.). Proceedings of the Italian Association for Oceanology and Limnology. Genova. 1: 3-20
4. Cerrano, C., Bavestrello, G., Bianchi, C.N., Cattaneo-Vietti, R., Bava S., Morganti, C., Morri, C., Picco, P., Sara, G., Schiaparelli, S., Siccardi, A., Sponga, F. 2000. A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian sea (NW Mediterranean), summer 1999. Ecology Letters. 3: 284-293.
5. Cushman-Roisin B, Gačić M, Poulain PM, Artegiani A. 2001. Physical oceanography of the Adriatic Sea. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Neederlands
6. Dorman CE, Carniel S, Cavaleri L, Sclavo M, Chiggiato J, Doyle J, Haack T, Pullen J, Grbec B, Vilibić I, Janeković I, Lee C, Malačić V, Orlić M, Paschini E, Russo A, Signell RP. 2006. February 2003. marine atmospheric conditions and the bora over the northern Adriatic. Journal of geophysical research: oceans 111, C03S03
7. Garrabou J., Coma R., Bally M., Bensoussan N., Chevaldonné P., Cigliano M., Diaz D., Harmelin J.G., Gambi M.C., Kersting D. K., Lejeusne C., Linares C., Marschal C., Pérez T., Ribes M., Romano J.C., Serrano E., Teixidó N., Torrents O., Zabala M., Zuberer F., Cerrano C. 2009. Mass mortality in northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. Glob. Chang. Biol., 15, 1090-1103.
8. Giani M., Djakovac T., Degobbis D., Cozzi S., Solidoro C., Fonda Umani S. 2012. Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. Estuar. Coast. Shelf Sci. 115, 1–13.
9. Grube A E. 1840. Actinien, Echinodermen und Würmer des Adriatischen und Mittelmeers nach eigenen Sammlungen beschrieben. J.H.Bon. Königsberg. 1-92
10. Habdija I, Primec Habdija B, Radanović I, Špoljar M, Matoničkin R, Vujčić Karlo S, Miliša M, Ostojčić A, Sertić Perić M. 2011. Protista-protzoa i metazoza invertebrata: Strukture i funkcije. Alfa. Zagreb. 102-117

11. Kružić P, Zibrowius H, Požar-Domac A. 2002. Actiniaria and Scleractinia (Cnidaria, Anthozoa) from the Adriatic Sea (Croatia): first records, confirmed occurrences and significant range extensions of certain species. *Ital. J. Zool.* 69 (4): 345-353
12. Kružić P. 2001. Grebenaste tvorbe vrste *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767) (Anthozoa, Scleractinia) u Jadranskom moru. M. Sc. Thesis. Sveučilište u Zagrebu. 1-107
13. Kružić, P., Žuljević, A., Nikolić, V. 2008: The highly invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* poses a new threat to the banks of the coral *Cladocora caespitosa* in the Adriatic Sea. *Coral Reefs.* 27 (2): 441
14. Kružić, P., Lipej L., Mavrič, B., Rodić, P. 2014. Impact of bleaching on the coral *Cladocora caespitosa* in the eastern Adriatic Sea. *Marine Ecology Progress Series.* 509: 193-202.
15. Kružić P., Rodić P., Popijač A., Sertić M. 2016. Impacts of temperature anomalies on mortality of benthic organisms in the Adriatic Sea. *Marine ecology.* 37 (6): 1190-1209.
16. Kružić P., Buršić M., Blašković A., Ankon P., Sviben S. 2018. „Procjena utjecaja klimatskih promjena na bioraznolikost koralja u NP Brijuni“. JU NP Brijuni– Projekt MPA-ADAPT. 1-29.
17. Kružić, P. 2023. Crvena knjiga koralja Hrvatske. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Uprava za zaštitu prirode, Zagreb, u tisku.
18. Lyons DM, Supić N, Smodlaka N. 2007. Geostrophic circulation patterns in the northeastern Adriatic Sea and the effects of air-sea coupling: May-September 2003. *Journal of geophysical research* 112, C03S08
19. Meteorološki i hidrološki bilten 2022. Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, Zagreb, 11/2022., 1-68.  
(<https://radar2.dhz.hr/~stars2/bilten/2022/bilten1122.pdf>)
20. Nacionalni park Brijuni (2022) <https://www.np-brijuni.hr/hr/brijuni/opci-podatci-1/brijuni-u-brojkama>, (Pristupljeno 4.12.2022.)
21. Narodne Novine NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19 : Zakon o zaštiti prirode (2019)
22. Orlić M, Gačić M, Laviolette PE. 1992. The currents and circulation of the Adriatic Sea. *Oceanologica acta* 15, 109 – 124
23. Pax F, Müller I. 1962. Die Anthozoenfauna der Adria. *Fauna et Flora Adriatica.* Split. 3: 1-343

24. Peirano A, Morri C, Mastronuzzi G, Bianchi C N. 1998. The coral *Cladocora caespitosa* (Anthozoa, Scleractinia) as a bioherm builder in the Mediterranean Sea. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. 52 (1994): 59-74
25. Prvan M, Jakl Z. 2016. Priručnik za zaštitu mora i prepoznavanje živog svijeta Jadrana. Udruga za prirodu, okoliš i održivi razvoj Sunce, Split
26. Supić N, Kraus R, Kuzmić M, Paschini E, Precali R, Russo A, Vilibić I. 2012. Predictability of northern Adriatic winter conditions. Journal of marine systems 90, 42-57
27. Supić N, Orlić M, Degobbis D. 2000. Istrian coastal counter-current and its year-to-year variability. Estuarine coastal and shelf science 50, 385 – 397
28. Turk, T. 2011. Pod površinom Mediterana. Školska knjiga, d.d., Zagreb. 1-590.
29. Vilibić I, Orlić M. 2002. Adriatic water masses, their rates of formation and transport through the Otranto Strait. Deep-sea research I 49, 1321 – 1340
30. Vilibić I, Supić N. 2005. Dense water generation on a shelf: the case of the Adriatic Sea. Ocean Dynamics 55, 403–415
31. Viličić D, Bosak S, Burić Z, Caput-Mihalić K. 2007. Phytoplankton seasonality and composition along the coastal NE Adriatic Sea during the extremely low Po River discharge in 2006. Acta botanica Croatica 66, 101 - 115
32. Viličić D. 1991. A study of phytoplankton in the Adriatic Sea after the July 1984 bloom. Internationale revue der gesamten hydrobiologie 76, 197-211
33. Viličić D. 1994. Distribution of phytoplankton biomass in relation to oceanographic conditions in the Adriatic Sea. Period. Biol. 96, 444–446
34. Viličić D. 2013. Jadran i globalne promjene. Priroda 103, 22-28
35. Viličić D. 2014. Specifična oceanološka svojstva hrvatskog dijela Jadrana. Hrvatske vode 90, 297-314
36. Zavodnik D, Špan A, Zavodnik N, Šimunović A, Antolić B. 1981. Benthos of the western coast of the Island Krk (Rijeka Bay, the North Adriatic Sea). Thalassia Jugosl. 17 (3/4): 285-337
37. Zavodnik D, Vidaković J. 1982. Bentoske zajednice na području Rapca. Acta Adriat. 23 (1/2): 243-258
38. Zibrowius H, Greishaber A. 1977 (1975). Scléactiniaux de l'Adriatique. Téthys 7 (4): 375-384

39. Zibrowius H. 1980. Les Scléactiniaires de la Méditerranée et de l'Atlantique nord-oriental. Mém. Inst. océanogr. Monaco. 11: 1-284
40. Zore – Armanda M. 1969. Water exchange between the Adriatic and the eastern Mediterranean. Deep-sea research 16, 171 – 178



## ŽIVOTOPIS

### OSOBNNE INFORMACIJE

Ime i Prezime: Katia Štokić

e-mail: [katia.stokic@gmail.com](mailto:katia.stokic@gmail.com)

### OBRAZOVANJE

Listopad 2020. – trenutno. Sveučilište u Zgrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek, Diplomski studij Ekologije i zaštite prirode

Rujan 2017. – rujan 2020. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Prvostupnik Znanosti o moru

### ZNANJA I VJEŠTINE

Strani jezici: engleski (B2), talijanski (A2), Španjolski (A1)

Digitalne vještine: korisnik Microsoft Office paketa, Primer, Q-GIS

Voditelj ronjenja (dive guide SSI); 215 zarona; specijalnosti: Dive guide, React right, Stress and rescue, Science of diving, Deep diving, Navigation, Night and limited visibility, Wreck diving, Nitrox

## Prilog

Prilog 1. Popis vrsta koralja utvrđenih na istraživanim postajama u NP Brijuni.

| Vrsta   | Jerolim | Peneda | Vrsar | Grunj | Galija | Gaz |
|---|---------|--------|-------|-------|--------|-----|
| <i>Actinia cari</i> Delle Chiaje, 1841              | x       |        |       | x     | x      | x   |
| <i>Actinia equina</i> Linnaeus, 1758                | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Aiptasia diaphana</i> (Rapp, 1829)               | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Aiptasia mutabilis</i> (Gravenhorst, 1831)       |         | x      |       | x     |        |     |
| <i>Anemonia viridis</i> (Forsk. 1775)               | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Balanophyllia europaea</i> (Risso, 1826)         | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Bunodactis verrucosa</i> (Pennant, 1777)         |         | x      | x     | x     | x      |     |
| <i>Bunodeopsis strumosa</i> Andres, 1881            |         | x      |       | x     |        |     |
| <i>Calliactis parasitica</i> (Couch, 1842)          | x       |        | x     |       | x      | x   |
| <i>Caryophyllia inornata</i> (Duncan, 1878)         | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Caryophyllia smithii</i> Stokes & Broderip, 1828 | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Cereus pedunculatus</i> (Pennant, 1777)          | x       | x      | x     | x     | x      |     |
| <i>Cerianthus membranaceus</i> (Spallanzani, 1784)  | x       | x      | x     | x     |        | x   |
| <i>Cladocora caespitosa</i> (Linnaeus, 1767)        | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Clavularia crassa</i> (Milne Edwards, 1848)      |         |        | x     |       |        |     |
| <i>Condylactis aurantiaca</i> (Delle Chiaje, 1825)  | x       | x      | x     | x     |        | x   |
| <i>Cribrinopsis crassa</i> (Andres, 1883)           | x       | x      | x     |       |        | x   |
| <i>Epizoanthus arenaceus ingeborgae</i> Pax, 1952   | x       | x      | x     |       | x      |     |
| <i>Epizoanthus paxi</i> Abel, 1955                  | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Epizoanthus steueri</i> Pax, 1937                | x       | x      |       |       |        |     |
| <i>Hoplangia durothrix</i> Gosse, 1860              | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Hormathia coronata</i> (Gosse, 1858)             | x       |        | x     | x     |        |     |
| <i>Leptopsammia pruvoti</i> Lacaze-Duthiers, 1897   | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Nausithoe punctata</i> Kolliker, 1853            |         | x      | x     | x     |        |     |
| <i>Pachycerianthus multiplicatus</i> Carlgren, 1912 | x       |        |       |       |        |     |
| <i>Pachycerianthus solitarius</i> (Rapp, 1829)      | x       | x      | x     |       |        | x   |
| <i>Paractinia striata</i> (Risso, 1826)             | x       | x      | x     |       | x      | x   |
| <i>Paracyathus pulchellus</i> (Philippi, 1842)      |         |        | x     |       |        |     |
| <i>Paranemonia cinerea</i> (Contarini, 1844)        |         |        | x     | x     |        |     |
| <i>Parazoanthus axinellae</i> Schmidt, 1862         |         | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Phymanthus pulcher</i> Andres, 1883              | x       | x      | x     | x     | x      | x   |
| <i>Sagartiogeton entellae</i> Schmidt, 1972         |         | x      |       | x     | x      |     |