

# Mikrobna zajednica u sedimentima livada morskih cvjetnica *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii* u priobalju zapadne Istre

---

Podolšak, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:217:206326>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Ivan Podolšak

**Mikrobna zajednica u sedimentima livada morskih  
cvjetnica *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii* u  
priobalju zapadne Istre**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, Ivan Podolšak, student Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi Savska 2, 10 290 Zaprešić, OIB 23947008437, JMBAG 0119036337, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj diplomski rad pod naslovom: Mikrobna zajednica u sedimentima livada morskih cvjetnica *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii* u priobalju zapadne Istre, isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, 25. veljače 2022.



---

Potpis

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Ivan Podolšak

**Mikrobna zajednica u sedimentima livada morskih  
cvjetnica *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii* u  
priobalju zapadne Istre**

Diplomski rad  
predložen Geološkom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta  
Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog stupnja  
magistar geologije

Mentori:  
doc. dr. sc. Kristina Pikelj  
doc. dr. sc. Paolo Paliaga

Zagreb, 2022.

*Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Kristini Pikelj na brojnim savjetima, strpljenju i potpori tijekom izrade ovog rada.*

*Isto tako zahvaljujem se komentoru doc. dr. sc. Paolu Paliagi na neposrednom vodstvu te pomoći i savjetima tijekom terena.*

*Hvala Jasni i Patriciji za pomoć pri mjerenju listova cvjetnica.*

*Veliko hvala mom kumu Hrvoju bez kojeg bi ovo razdoblje života bilo monotono i dosadno.*

*Na posljatku, veliko hvala mojoj obitelji na podršci i strpljenju tijekom pisanja ovog rada, ali i podršci koju mi pružate tijekom cijeloga života.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

### **Mikrobna zajednica u sedimentima livada morskih cvjetnica *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii* u priobalju zapadne Istre**

**Ivan Podolšak**

**Rad je izrađen u:** Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Horvatovac 102 a, studij: Geologija

#### **Sažetak:**

U ovom diplomskom radu analizirani su uzorci sedimenta, morskih cvjetnica i algi, te je određena brojnost mikrobne zajednice tijekom proljeća, ljeta i jeseni 2021. g., i to u uvalama Ribnjak, Funtana i Veštar na zapadnoj obali Istre. Karakteristike sedimenta u uvalama odraz su izloženosti taložnog okoliša i različitog donosa materijala s kopna. Stanje livada cvjetnica i s njime povezana brojnost mikrobne zajednice su pod utjecajem čovjeka i karakteristika sedimenta. Uvala Ribnjak je pod manjim antropogenim utjecajem, a sadrži muljevit sediment i očuvanu livadu cvjetnica. U uvali Veštar livada u karbonatnom pijesku je značajnije devastirana, vjerojatno radi turističkih aktivnosti, a mikrobna zajednica je najmanje zastupljena. Na uglavnom muljevitom dnu uvale Funtana livadu cvjetnica degradira utjecaj invazivne alge, a moguć je i utjecaj turističkih aktivnosti.

**Ključne riječi:** Mikrobna zajednica, morske cvjetnice, invazivna vrsta, zapadna Istra

**Rad sadrži:** 50+V stranica, 22 slika, 6 tablica, 39 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

**Mentor(i):** doc. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb

doc. dr. sc. Paolo Paliaga, Institut Ruđer Bošković, Rovinj

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb

prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović, PMF, Zagreb

v. pred. mr. sc. Dražen Kurtanjek, PMF, Zagreb

**Datum završnog ispita:** 25. veljače 2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Graduate Thesis

**Microbial community in the sediments of seagrasses *Cymodocea nodosa* and *Zostera noltii* in the coastal area of western Istria**

**Ivan Podolšak**

**Thesis completed in:** Institute of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Zagreb, Horvatovac 102 a, Geology

#### **Abstract:**

In this thesis sediment, seagrass, and algae together with microbial abundance were analysed in Ribnjak, Funtana, and Veštar Bays along the western Istrian coast during spring, summer and, autumn 2021. Sediment characteristics in all bays are the result of sedimentary environment exposure together with various inputs of terrigenous material. Seagrass meadow conditions and related microbial abundances reflect the anthropogenic influence and sediment nature. Ribnjak Bay with muddy sea bottom and seagrass meadow in good condition is the least affected by human activities. Veštar Bay meadow, developed in carbonate sand, is significantly degraded, probably due to the tourism, while its microbial community is of the lowest abundance. Mostly muddy sea bottom of the Funtana Bay is covered by a partially degraded seagrass meadow, probably due to the competition of invasive algae, while touristic activities is not excluded.

**Keywords:** microbial community, seagrass meadows, invasive species, western Istria

**Thesis contains:** 50+V pages, 22 figures, 6 tables, and 39 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Library of Geology, Department of Geology, Faculty of Science

**Supervisor:** Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant Professor, PMF, Zagreb  
Paolo Paliaga, Ph.D. Assistant professor, Institut Ruđer Bošković, Rovinj

**Reviewers:** Kristina Pikelj, Ph.D. Assistant Professor, PMF, Zagreb  
Blanka Cvetko Tešović, Ph.D. Full Professor, PMF, Zagreb  
Dražen Kurtanjek, mr. sc. senior lecturer, PMF, Zagreb

**Date of the final exam:** February 25, 2022

## Sadržaj

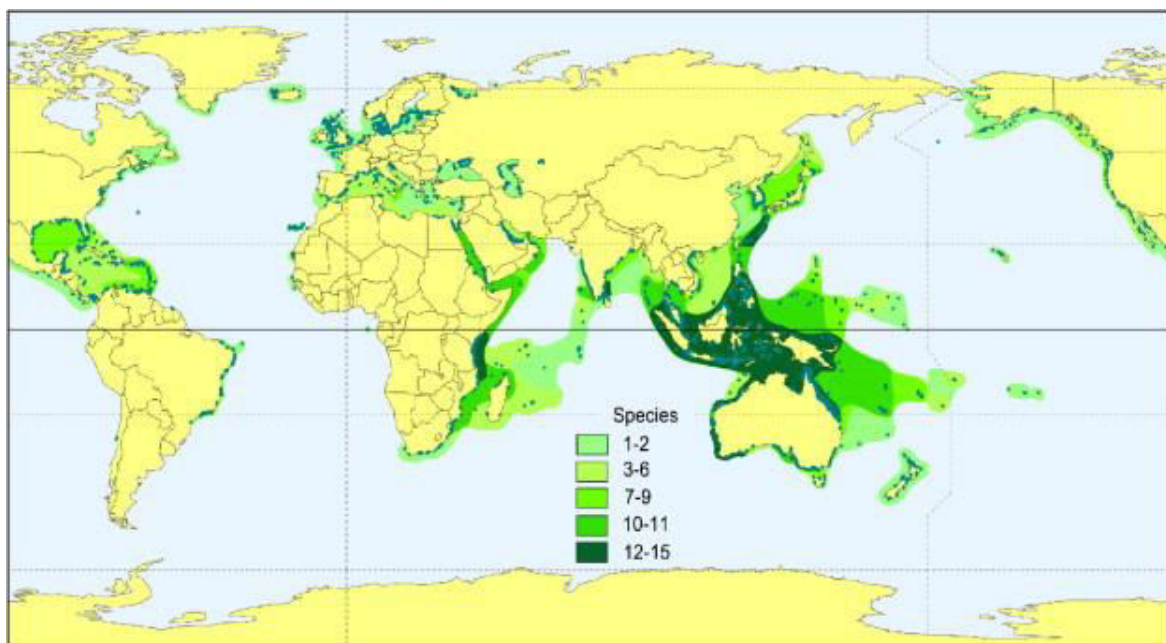
1.	Uvod.....	1
1.1.	Čimbenici kontrole rasta i distribucije .....	4
1.1.1.	Svjetlost.....	5
1.1.2.	Fizička izloženost.....	5
1.1.3.	Podloga.....	6
1.1.4.	Anorganski ugljik.....	6
1.1.5.	Hranjive tvari.....	6
1.1.6.	Temperatura .....	7
1.1.7.	Salinitet.....	8
1.1.8.	Kisik .....	8
1.1.9.	Sulfidi .....	9
1.1.10.	Kompeticija .....	9
1.1.11.	Ispaša.....	10
1.2.	<i>Cymodocea nodosa</i> (Ucria) Ascherson .....	10
1.3.	<i>Zostera noltii</i> Hornemann.....	11
1.4.	<i>Caulerpa cylindracea</i> Sonder.....	12
2.	Geološka situacija .....	14
2.1.	Uvala Ribnjak.....	16
2.2.	Uvala Veštar .....	16
2.3.	Uvala Funtana.....	17
3.	Materijali i metode.....	19
3.1.	Uzorkovanje.....	19
3.2.	Laboratorijske metode .....	19
3.2.1.	Analiza veličine zrna.....	20
3.2.2.	Određivanje udjela karbonata površinskih uzoraka .....	21
3.2.3.	Mjerenje gustoće i stanja livada morskih cvjetnica i algi .....	22
3.2.4.	Određivanje brojnosti mikrobne zajednice u sedimentima .....	23
4.	Rezultati.....	24
4.1.	Hidrografski uvjeti i podaci o jezgri.....	24
4.1.1.	Uvala Ribnjak.....	24
4.1.2.	Uvala Veštar .....	24
4.1.3.	Uvala Funtana .....	25



4.2.	Rezultati analize veličine zrna.....	25
4.2.1.	Uvala Ribnjak.....	26
4.2.2.	Uvala Veštar- <i>Cymodocea nodosa</i> .....	27
4.2.3.	Uvala Veštar- <i>Zostera noltii</i> .....	28
4.2.4.	Funtana 1 .....	28
4.2.5.	Funtana 3 .....	29
4.2.6.	Funtana 5 .....	30
4.3.	Rezultati određivanja udjela karbonata u površinskim uzorcima.....	31
4.4.	Rezultati mjerenja gustoće i stanja livada morskih cvjetnica i algi.....	31
4.4.1.	Proljetno uzorkovanje .....	31
4.4.2.	Ljetno uzorkovanje.....	33
4.4.3.	Jesensko uzorkovanje.....	34
4.5.	Rezultati određivanja brojnosti mikrobne zajednice u sedimentima.....	35
4.5.1.	Proljetno uzorkovanje .....	35
4.5.2.	Ljetno uzorkovanje.....	36
4.5.3.	Jesensko uzorkovanje.....	38
5.	Rasprava.....	40
5.1.	Uvala Ribnjak.....	40
5.2.	Uvala Veštar .....	40
5.3.	Uvala Funtana.....	41
6.	Zaključak .....	45
7.	Literatura.....	47

## 1. Uvod

Morske cvjetnice pripadaju skupini vaskularnih biljaka koje su u potpunosti prilagođene životu u moru. Razvile su se prije otprilike 120 milijuna godina (razdoblje starije krede) iz kopnenih biljaka koje su se vratile u morski okoliš (BIANCHI i sur., 2008). Zaštićene su morske vrste koje obitavaju u područjima slane ili bočate vode na pjeskovitom ili muljevitom dnu. Ne pojavljuju se u područjima s krupno-zrnastom podlogom kao što je šljunak ili stijenski blok (STEVENS i LACY, 2012). Morske je cvjetnice moguće naći u gotovo svim obalnim područjima osim Antarktičke obale (slika 1). Smatra se da je to zbog leda koji ih uništava te ta područja čini nepogodnim za njihov opstanak (HAMMINGA i DUARTE, 2004). Karakteristične su u zoni infralitorala koja se nalazi ispod donje granice plime i oseke, pa sve do dubine na kojoj im je moguć rast s obzirom na adekvatnu dostupnost svjetla. U sjevernom je Jadranu ta dubina otprilike 20 m, a u srednjem i južnom nešto veća. Sediment na kojem se nalaze cvjetnice najčešće je anoksičan te se podzemni dijelovi biljke opskrbljuju kisikom iz listova koji posjeduju sustav kanala ispunjenih kisikom (BORUM i sur., 2004).



Slika 1: Globalna raznolikost i distribucija morskih cvjetnica (SHORT i sur., 2007).

Morske cvjetnice imaju razvijene prave biljne organe. Pričvršćene su za podlogu korijenom i tako uzimaju hranjive tvari iz sedimenta. Horizontalno položena stabljika ima na sebi okomito pružane listove. Listovi na sebi imaju žile koje imaju ulogu provođenja

hranjivih tvari duž same biljke. Kao i kopnene biljke, morske cvjetnice posjeduju cvijet, plod i sjemenku (BIANCHI i sur., 2008).

Neke od karakteristika morskih cvjetnica u su njihova prilagođenost životu u slanim vodama, u kojima mogu biti potpuno potopljene, imaju razvijen sustav razmnožavanja u morskom okolišu, imaju pravo korijenje koje služi za pričvršćivanje na sediment te čine suživot i prilagodbu s ostalom morskom florom i faunom (ORLANDO-BONACA i sur., 2015). Razmnožavanje cvjetnica događa se ispod površine mora te ne zahtijeva kontakt sa zrakom. Cijeli reproduktivni ciklus, cvatnja i oprašivanje, počinje i završava u moru (BORUM i sur., 2004). Staništa morskih cvjetnica imaju relativno visoku primarnu produktivnost, a pružanjem skloništa od grabežljivaca mogu podržati visoku biološku raznolikost, faunalnu gustoću i biomasu (ONDIVIELA i sur., 2014).

U Europi, morske su cvjetnice najveći potopljeni ekosustav vodene vegetacije koji je zaštićen (slika 2). Osim što su najveći potopljeni ekosustav vodene vegetacije zaštićen u Europi, one igraju važnu ekološku ulogu pružajući vrlo vrijedne usluge ekosustava, uključujući i obalnu zaštitu. Obalni su ekosustavi neki od najčešće korištenih i najugroženijih prirodnih sustava. U Europskoj uniji obala se proteže na oko 170 000 km i u njenoj neposrednoj blizini živi više od 70 milijuna stanovnika. Oko 25% morskog dna Mediterana na dubinama između 0 i 40 m prekriveno je morskim cvjetnicama zbog čega je izrazito bitna zaštita takvog staništa (ONDIVIELA i sur., 2014). Obalno područje postaje važno središte zbog mnogih usluga ekosustava koje nudi kao i zbog toga što oko 40% ljudske populacije živi baš u tom području. Izravno uništavanje staništa meliorizacijom i izgradnjom luka glavni je izvor smetnji na livadama morskih cvjetnica zbog aktivnosti jaružanja i odlaganja otpada, kao i smanjenja prozirnosti vode povezane s obje aktivnosti (BORUM i sur., 2004).



Slika 2: Raspodjela morskih cvjetnica u Mediteranu (EFFROSYNIDIS i sur., 2019).

Rast ljudske populacije uz istodobno povećano zagađenje, očvršćivanje i mijenjanje obala te transport sedimenta slivovima prijeti ekosustavima morskih cvjetnica i u zadnjim desetljećima rezultiralo je značajnim i ubrzavajućim gubitkom takvih staništa. Gubitak cvjetnica rezultira značajnijim gubitkom biološke raznolikosti i predstavlja veliko smanjenje ekološke i gospodarske vrijednosti za obalne ekosustave kao i glavni izvor zabrinutosti upravljanja obalama. Smatra se da je primarni uzrok gubitka morskih cvjetnica smanjenje bistrine vode zbog povećanja unosa hranjivih tvari (BORUM i sur., 2004).

Izravni ljudski utjecaji: ribolov i akvakultura, unošenje egzotičnih vrsta, vožnje brodovima i sidrenje te promjena staništa prijete livadama morskih cvjetnica, osobito u gusto naseljenim i turističkim područjima. Eksplozivni rast akvakulture, najbrže rastuće industrije proizvodnje hrane, dovelo je do zasjenjivanja i fizičkog oštećenja livada, kao i pogoršanja kvalitete vode i sedimenta što je dovelo do značajnijih smanjenja rasprostranjenosti staništa morskih cvjetnica. Metode ribolova poput jaružanja i koče mogu izravno ukloniti cvjetnice. Uvođenje egzotičnih morskih organizama, slučajnim ispuštanjem ili uhvaćenima za plovila ostaje zabrinjavajuća pojava, osobito tamo gdje su unesene vrste kompetitori na morskome dnu poput alge roda *Caulerpa* sp. i gliste vrste *Sabella spallanzanii*. Inženjerski projekti velikih razmjera također su rezultirali invazijom vrsta poput migrantske vrste *Caulerpa racemosa* unesene kroz Sueski kanal. Osim alge, otvaranje Sueskog kanala omogućilo je dolazak morske cvjetnice *Halophila stipulacea* u Mediteran. U plitkim područjima s gustim prometom zabilježena su izravna oštećenja uzrokovana propelerima brodova. Sidrenje plovila kao i vezovi također ostavljaju ožiljke u

livadama cvjetnica. Ponovno naseljavanje na poremećenom morskom dnu može trajati desetljećima. Jaružanjem se uklanja morska cvjetnica, ali i sediment ispod nje te se ostavlja goli pijesak što rezultira promjenama bioloških, kemijskih i fizikalnih karakteristika staništa. Obnavljanje plaža može utjecati na cvjetnice nasipavanjem i ispiranjem neadekvatnog sedimenta koji ih može zatrpati. Prihranjivanje plaža također može utjecati na morske cvjetnice koje rastu u područjima gdje se sediment s plaže akumulira, često na dubinama manjim od 30 m (BORUM i sur., 2004).

Aktivnosti koje mijenjaju kvalitetu vode i sedimenta posebno utječu na cvjetnice zbog njihovih specifičnih svjetlosnih uvjeta i vrste sedimenta. Plitko obalno okruženje cvjetnica također je sklono fizičkim stresorima, bilo zbog valova ili turbulencija povezanih s jakim strujama. Jaki poremećaji, poput ekstremnih meteoroloških pojava, također mogu dovesti do velikih gubitaka morskih cvjetnica (BORUM i sur., 2004).

Razvoj obalnog turizma, jedne od najbrže rastućih industrija na svijetu također je dovelo do velike transformacije obalnog područja s ugodnom klimom. Oko 2/3 mediteranske obale trenutno je urbanizirano s tim da taj udio prelazi 75% u regijama s najrazvijenijom turističkom industrijom s lukama koje zauzimaju oko 1250 km europske mediteranske obale. Urbanizacija obale često uključuje uništavanje dina i naslaga pijeska, promičući eroziju plaža. Globalna trgovina povećala je mobilnost morskih vrsta, namjerno, poput akvarijskih primjeraka ili nenamjerno, poput organizama koji se prenose u balastnim vodama. Povećani transport vrsta između geografski udaljenih lokacija povećao je učestalost invazivnih vrsta. Slučaj koji pogađa mediteranske, a vjerojatno i istočno-pacifičke morske cvjetnice je invazija Mediterana tropskom vrstom alge vrste *Caulerpa taxifolia* koja se prvi put naselila u francuski dio Mediterana početkom 80-ih godina prošlog stoljeća. Pretpostavlja se da je puštena iz akvarija, a brzo raste i čini se da kolonizira područja bez morskih cvjetnica, ali je opaženo da se natječe za prostor i resurse s njima (BORUM i sur., 2004).

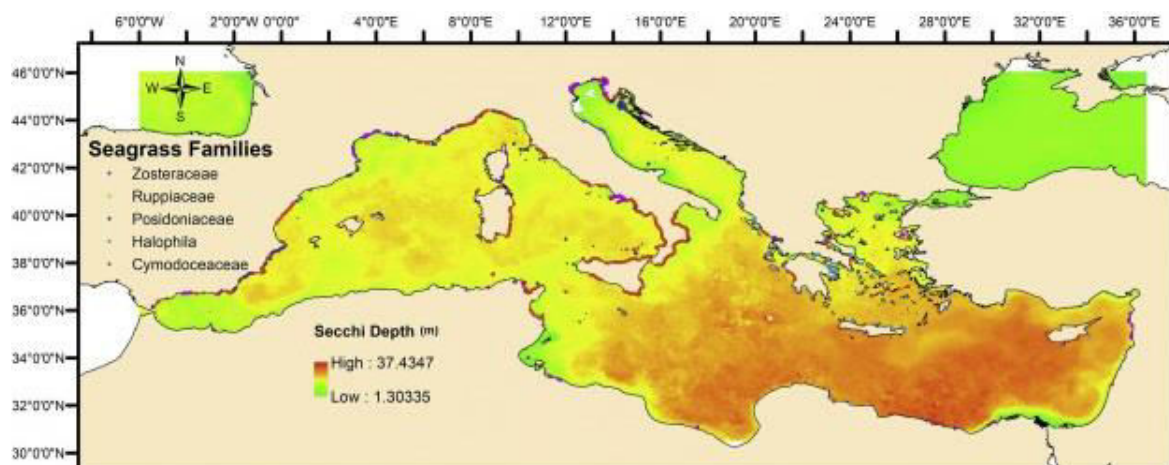
### 1.1. Čimbenici kontrole rasta i distribucije

Dovoljna količina svjetla, pogodan supstrat i umjerena razina valova samo su neki od osnovnih fizikalnih zahtjeva morskih cvjetnica. Na distribuciju i rast morskih cvjetnica, osim osnovnih fizikalnih i kemijskih uvjeta, utječe i biološka kompeticija s ostalim vrstama (BORUM i sur., 2004). Morske cvjetnice zahtijevaju neke od najvećih količina

svjetlosti za razliku od algi i to kako bi korijenju i rizomu dale kisik i podržale veliku količinu nefotosintetskog tkiva. Zbog toga su one osjetljive na promjene u okolišu, osobito one promjene koje smanjuju dostupnost svjetla, kao što su nanos sedimenta, eutrofikacija ili pokrivač epifita na njihovu lišću (NAJDEK i sur., 2020a).

### 1.1.1. Svjetlost

Jedan od najvažnijih čimbenika koji regulira donju granicu (dubinu) distribucije je svjetlost (slika 3). Morske cvjetnice rastu samo u plitkomorskim okolišima s dovoljnom količinom svjetlosti. Ona je potrebna za fotosintezu, a samim time i za rast. S povećanjem dubine eksponencijalno se smanjuje količina svjetlosti. To smanjenje utječe na njih tako da cvjetnice produžuju svoje listove te smanjuju gustoću izdanaka. Cvjetnice zajedno s algama iskorištavaju dio sunčeve svjetlosti koja prolazi kroz vodeni stupac, a njena se energija koristi u procesu fotosinteze za proizvodnju hrane (BORUM i sur., 2004).



Slika 3: Transparentnost vode (EFFROSYNIDIS i sur., 2018).

### 1.1.2. Fizička izloženost

Najvažniji čimbenici koji kontroliraju gornju granicu distribucije cvjetnica su plima i oseka, struje te djelovanje valova. Procjenjuje se da na prilično izloženim obalama nema morskih cvjetnica. Djelovanje valova i struja uzrokuje resuspendiranje i transport sedimenta što sprječava rast i rasprostranjenost cvjetnica. Jake struje i valovi mogu uzrokovati i fragmentaciju cvjetnica ili čak spriječiti stvaranje novog izdanka (BORUM i sur., 2004).

Morske cvjetnice smanjuju protok vode u blizini kopna i rasipaju energiju valova (LUHAR i sur., 2017). One imaju tendenciju prigušivanja valova, posebno u plitkim vodama gdje su valovi u kontaktu s morskim biljkama na isti način kao što su plitki valovi u kontaktu s morskim dnom (KOCH i sur., 2006). Na dubini gdje val „osjeća“ morsko dno, to jest na dubini koja je jednaka polovini valne duljine, orbite mu postaju ravnije. Kod približavanja vala obali, brzina mu opada, visina raste, a čestice vode se kreću brže od kretanja vala. Nakon toga val postaje nestabilan i dolazi do loma vala. Gubitak energije zanemariv je zbog trenja, a energija vala se rasprši na morsko dno što uzrokuje kretanje sedimenta prema naprijed (BROWN i sur., 1999). Obrušavanje vala prema obali, odnosno njegov doseg u potplimnoj zoni i u zoni plime i oseke uzrokuje povlačenje sedimenta s plaže u dublje dijelove, a taj je mehanizam jači što je energija vala viša. Ukoliko je energija vala inicijalno smanjena djelovanjem livade morskih cvjetnica, posljedično djelovanje vala na eroziju sedimenta će biti manje.

#### 1.1.3. Podloga

Jedan od bitnijih čimbenika za distribuciju morskih cvjetnica je podloga. One obitavaju na podlozi pretežito građenoj od pijeska ili mulja gdje se korijenje može pričvrstiti, a rizomi izdužiti (BORUM i sur., 2004).

#### 1.1.4. Anorganski ugljik

Za proces fotosinteze, osim svjetla, morskim je cvjetnicama potreban i anorganski ugljik. Anorganski ugljik u vodi postoji u tri oblika:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{CO}_3^{2-}$ . Lišće ima nizak kapacitet izvlačenja anorganskog ugljika u obliku  $\text{CO}_2$  iz morske vode te je fotosinteza, čak i pod normalnim pH uvjetima i salinitetu limitirana dostupnošću anorganskog ugljika i pod visokim svjetlosnim uvjetima. Morske cvjetnice mogu profitirati iz neprestanog rasta globalnog atmosferskog  $\text{CO}_2$  uzrokovanog upotrebom fosilnih goriva (BORUM i sur., 2004).

#### 1.1.5. Hranjive tvari

Morske cvjetnice zahtijevaju različite anorganske tvari od kojih su dušik i fosfor u obliku nitrata i fosfata kvantitativno najvažniji. Zahtjevi za nutrijentima su i do četiri puta niži s obzirom na ostale morske organizme poput fitoplanktona i algi. Ti niži zahtjevi daju cvjetnicama prednost za rast u uvjetima smanjene količine nutrijenata. Razina hranjivih

tvari u vodenom stupcu je obično niža iznad morskih cvjetnica, osobito u toplijim područjima poput Mediterana. Osim uzimanja nutrijenata iz vodenog stupca, morske cvjetnice uzimaju i hranjive tvari iz sedimenta. Većina sedimenta je bogata nutrijentima zbog remineralizacije organske tvari, dok su iznimka karbonatni sedimenti koji na sebe vežu fosfor i time uzrokuju ograničenje fosfora za biljke. *Cymodocea nodosa* često raste na karbonatnim sedimentima s malo hranjivih tvari te je uočeno da vrlo niske koncentracije nutrijenata mogu reducirati rast biljaka. *Zostera noltii* obično raste na organskim naslagama i rijetko je ograničena hranjivim tvarima (BORUM i sur., 2004).

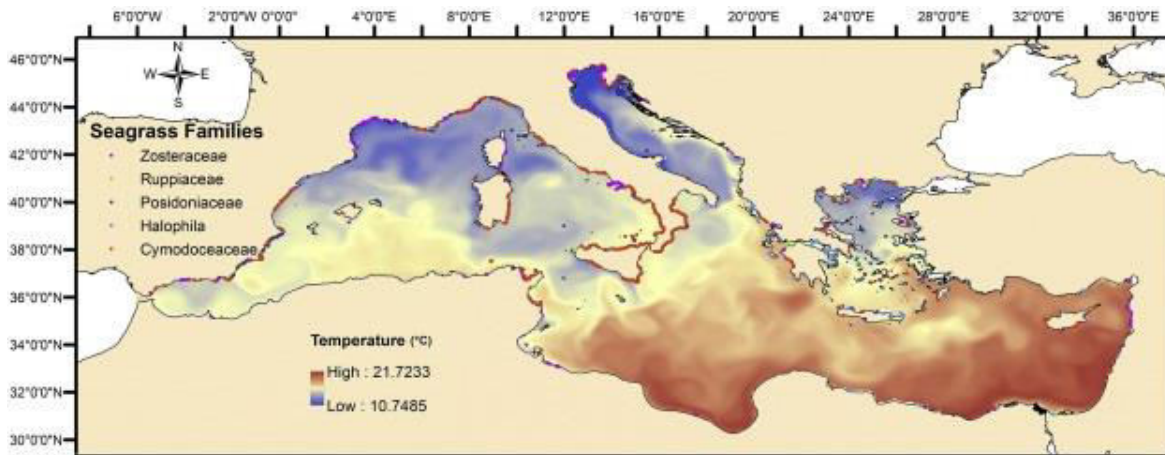
Prekomjerno obogaćivanje obalnih voda nutrijentima širom svijeta je faktor odgovoran za smanjenje površina pod morskim cvjetnicama. Netaknuta ušća i obale ograničene su dušikom, a dušik iz raznih izvora uzrokuje eutrofikaciju. Opće je poznato da povećano unošenje nutrijenata mijenja strukturu i funkciju obalnih ekosustava. Osim unosa hranjivih tvari s kopna, povećani unosi nutrijenata javljaju se i u obalnim područjima u blizini industrijski razvijenih regija izravnim taloženjem atmosferskog dušika dajući dodatne hranjive tvari koje se mogu smanjiti samo na mjestu njihova nastanka (BORUM i sur., 2004).

Eutrofikacija može imati negativne učinke izravno proizašle iz visoke koncentracije hranjivih tvari, jer visoke koncentracije nitrata i amonijaka mogu biti otrovne za morske cvjetnice (BORUM i sur., 2004).

#### 1.1.6. Temperatura

Na sve biološke procese utječe temperatura (slika 4). Prvenstveno, temperatura utječe na povećanje brzine reakcije biokemijskih puteva. Fotosinteza i disanje se na niskim temperaturama odvijaju usporeno, a povišenjem temperature raste brzina njihova odvijanja. Različite vrste imaju različite optimalne raspone temperature. Vrsta *Zostera noltii* raste u hladnim staništima na sjeveru, ali podnosi i temperature veće od 25°C. *Cymodocea nodosa* raste u područjima raspona temperature od 10°C do 30°C. Smatra se da je temperatura parametar koji kontrolira geografsku raspodjelu morskih cvjetnica (BORUM i sur., 2004).

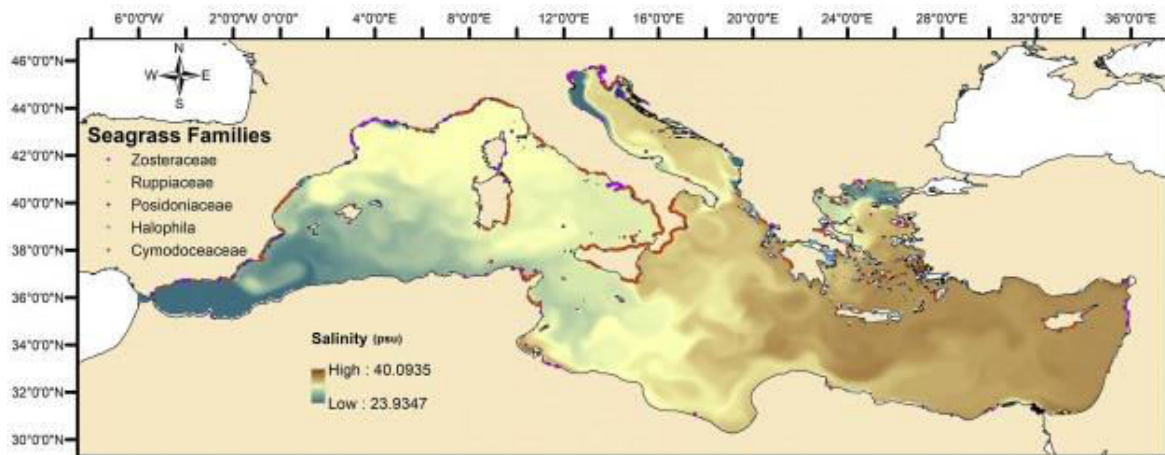




Slika 4: Raspodjela temperature (EFFROSYNIDIS i sur., 2018).

### 1.1.7. Salinitet

Morske cvjetnice rastu u područjima gdje je salinitet između 5 i 45 ‰ (slika 5). Salinitet utječe na osmotski tlak u stanicama, ali mnoge su vrste dobro prilagođene iznenadnim promjenama saliniteta. Tolerancija na promjene saliniteta razlikuje se među vrstama (BORUM i sur., 2004).



Slika 5: Raspodjela saliniteta (EFFROSYNIDIS i sur., 2018).

### 1.1.8. Kisik

Kisik je potreban morskim cvjetnicama za opskrbu metabolizma na i u sedimentu. Dok je lišće smješteno u vodenom stupcu koji sadrži kisik, rizomi i korijenje se nalaze u anoksičnom sedimentu. U normalnim uvjetima kisik se prenosi difuzijom iz listova do

korijenja. Dijelovi biljke koji se nalaze u sedimentu mogu ostati bez kisika ukoliko vodeni stupac postane hipoksičan ili anoksičan tijekom razdoblja razgradnje organske tvari u sedimentu te u kombinaciji sa stratificiranim vodenim stupcem. Anoksični uvjeti negativno utječu na metabolizam biljaka što rezultira lošom energetsom dostupnošću i proizvodnjom toksičnih metabolita. To sve može dovesti do negativnog utjecaja na rast i opstanak morskih cvjetnica (BORUM i sur., 2004).

#### 1.1.9. Sulfidi

Sulfidi su prisutni u organskom tvari bogatim sedimentima koji su osiromašeni željezom. Da bi bili toksični, sulfidi moraju ući u biljku. Visoke koncentracije sulfida u sedimentu mogu biti na štetu morskim cvjetnicama budući da inhibiraju disanje (BORUM i sur., 2004). Sedimenti nastanjeni morskim cvjetnicama obično su anoksični, visoko reducirani i bogati sulfidom ( $H_2S$ ), jakim fitotoksinom koji je uključen u nekoliko događaja vezanih za uginuće cvjetnica. Sumporovodik proizvode bakterije koje reduciraju sulfat i koriste sulfat kao terminalni akceptor elektrona za remineralizaciju organske tvari. Visoke koncentracije  $H_2S$  mogu nastati kao posljedica pojačane mineralizacije zbog povećane temperature, organskog opterećenja ili iscrpljivanja kisika. U tim uvjetima sulfidi mogu prodrijeti u biljke. Ponovna oksidacija  $H_2S$  u rizosferi ugradnjom SO u podzemno tkivo prepoznata je kao glavna strategija preživljavanja morskih cvjetnica u sulfidnim sedimentima (NAJDEK i sur., 2020a).

#### 1.1.10. Kompeticija

Jedan od biotičkih čimbenika je kompetencija između različitih vrsta morskih cvjetnica. Ona također postavlja granicu rasta i rasprostranjenosti. *Zostera noltii* često nastanjuje zonu plime i oseke gdje druge vrste ne mogu zasnovati populaciju. U dubljem moru gdje *Cymodocea nodosa* može uspostaviti populaciju i gdje ima kompetitivnu prednost, *Zostera noltii* će nestati (BORUM i sur., 2004).

### 1.1.11. Ispaša

U svijetu postoji nekoliko organizama koji se hrane morskim cvjetnicama. Na primjer, salpa (*Sarpa salpa*) se hrani vrstom *Posidonia oceanica* u Mediteranu, rak vrste *Idotea chelipes* i hidrinski ježinac (*Paracentrotus lividus*) također se hrane morskim cvjetnicama. Ispaša organizama veća je kod brzorastućih vrsta jer one imaju manji udio neprobavljivog spoja lignin-celuloze nego spororastuće vrste (BORUM i sur., 2004).

## 1.2. *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson

Morska cvjetnica *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson (slika 6) široko je rasprostranjena i uobičajena vrsta po cijelom Mediteranu (NAJDEK i sur., 2020a). Naziva se još i čvorasta morska resa. U Mediteranu obitava na dubinama od 50 do 60 m, a u Jadranu se nalazi pliće, na dubinama do 10 m zbog manje prozirnosti mora. *Cymodocea* sp. preferira pjeskovita i muljevita dna bogata organskom tvari. Svijetlozeleni listovi su dugački od 15 do 45 cm te široki 3 do 4 mm, a nalaze se povezani u snopovima od 2 do 5 listova. Naziv je dobila po svojoj glavnoj karakteristici, gusto formiranim čvorovima (lat. *nodum*). Vrsta je jednospolna te posjeduje sjemenke veličine oko 8 mm, a cvjeta od ožujka do kraja lipnja. Cvjetovi su jednostavni i neugledni, jer se ne oslanjaju na zoogamiju. Cvjetanje je često kontrolirano temperaturom, a događa se na izbojcima starijima od godine dana (BORUM i sur., 2004).



Slika 6: *Cymodocea nodosa*.

*Cymodocea nodosa* razlikuje se od ostalih morskih cvjetnica po tome što njeni izdanci izlaze iz vertikalnih segmenata rizoma, a koji se razvijaju iz horizontalnog dijela rizoma. Rizom može biti ružičast, crven ili smeđ te raste vrlo brzo, do nekoliko metara na godinu. Zbog te brzine *Cymodocea* vrlo brzo kolonizira područje. Osim velike brzine rasta rizoma, *Cymodocea nodosa* može podnijeti veliku količinu antropogenog opterećenja što je još jedna prednost za uspješnu kolonizaciju i rasprostranjenost. Zbog brzog rasta rizoma, *Cymodocea nodosa* se smatra pionirskom vrstom koja može brzo naseliti morsko dno. Korijeni se nalaze duž rizoma, a svaki segment rizoma ima samo jedan korijen koji se račva (BORUM i sur., 2004).

Iako pokazuje veliku fenotipsku plastičnost, prilagođavajući se različitim prirodnim i antropogenim stresorima fiziološkim i morfološkim prilagodbama, u posljednjih nekoliko desetljeća zabilježen je ozbiljan pad jedinki u obalnim područjima, uključujući i sjeverni Jadran (NAJDEK i sur., 2020a).

### 1.3. *Zostera noltii* Hornemann

Morska cvjetnica *Zostera noltii* Hornemann naziva se patuljasta svilina (slika 7). Posjeduje listove veličine od 5 do 25 cm i širine 1 do 5 mm. Vrhovi listova su srcolika oblika. Snopovi sadrže 2 do 5 listova koji izlaze iz rizoma. Rizom se nalazi horizontalno na sedimentu te je djelomično ili u potpunosti prekriven supstratom. Segmenti rizoma dugi su između 5 i 35 mm. *Zostera noltii* posjeduje muške i ženske cvjetove te sjemenke veličine 1,5 do 2 mm dužine. Ona raste na pjeskovitom i muljevitom dnu na dubinama do 5 m te pod utjecajem slatke vode. Specifična je po tome što nekoliko dana može izdržati bez vode pa zato nastanjuje mjesta koje *Zostera marina* ne može. Također, specifična je mala razlika između masa listova i rizoma ove cvjetnice (BORUM i sur., 2004). Podnosi velike oscilacije saliniteta što je čini eurihalinom vrstom (DEN HARTOG, 1970). Za razliku od vrste *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii* ima samo horizontalne rizome, ne i vertikalne (BORUM i sur., 2004).

Slika 7: *Zostera noltii*.

#### 1.4. *Caulerpa cylindracea* Sonder

Zelena makroalga *Caulerpa cylindracea* Sonder (slika 8) autohtona je alga Crvenoga mora. Njen hrvatski naziv je grozdasta kaulerpa zbog svojih dugih filoida koji nalikuju grozdu. Od ostalih varijeteta ovog roda razlikuje se po jako tankim rizoidima. Talus kaulerpe je tanak i pričvršćen za podlogu pomoću tankih korijenskih rizoida dugih do 20 mm i širokih do 1 mm. Korijenski rizoidi su usko postavljeni duž stolona pomoću kojih se biljka pridržava za podlogu (VERLAQUE i sur., 2003).

Slika 8: *Caulerpa cylindracea*.

U Mediteranu, ova vrsta nalazi se na dubinama do 70 m, a „mrtvi“ dijelovi livada cvjetnice *Posidonia oceanica* čine se kao njeno najdraže stanište. Preživljava najniže zimske temperature od 10,5°C, a na nižim temperaturama preživljava u obliku zigota i/ili malih fragmenata. Sezonski ciklus na sjeverozapadnom Mediteranu karakterizira

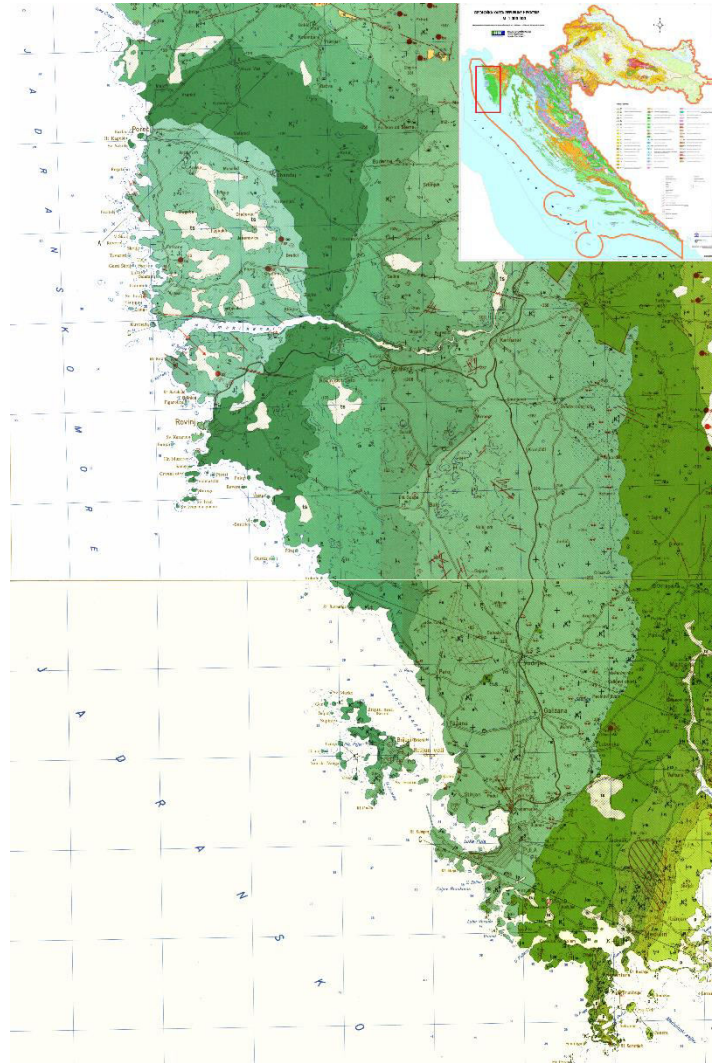
maksimalni razvoj od ljeta do jeseni, drastična regresija zimi i obnova rasta u proljeće (RUITTON i sur., 2005).

Vrsta *Caulerpa cylindracea* prvi je put identificirana 2000. godine na srednjem Jadranu i sukcesivno se širila prema sjeveru do najhladnijeg područja širenja na Mediteranu. Ova invazivna alga kolonizira sve vrste podloga, od stjenovitog dna do livada morskih cvjetnica. U umjerenim područjima veliko širenje kaulerpe pripisano je uspješnoj prilagodbi sezonskim promjenama okolišnih uvjeta u oba načina razmnožavanja, vegetativnim putem i spolnom reprodukcijom (NAJDEK i sur., 2020b).

Cilj ovoga rada je analizirati brojnost mikrobne zajednice u sedimentima livada morskih cvjetnica *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii*, te provjeriti da li se u sedimentima različitih cvjetnica razlikuju ekološki uvjeti i abundancija prokariota. Istraživanje je napravljeno na tri lokacije duž zapadne obale Istre tijekom tri sezone (proljeće, ljeto i jesen). Na lokaciji Uvala Ribnjak uzeta je jedna sedimentna jezgra, na lokaciji Uvala Veštar dvije, a na lokaciji Uvala Funtana tri ili pet, ovisno o sezoni. Osim sedimentnih jezgra, na svakoj je lokaciji uzorkovan kvadrant s morskim cvjetnicama i određene su karakteristike vode.

## 2. Geološka situacija

Istra je najveći hrvatski poluotok koji je izgrađen od plitkomorskih karbonatnih naslaga i manjim dijelom od fliša i vapnenačkih breča (slika 9), koje su istaložene na sjeverozapadnom dijelu nekadašnje Jadranske karbonatne platforme (VELIĆ i sur., 1995).



Slika 9: Geološka karta zapadne Istre (modificirano prema POLŠAK, 1967 te POLŠAK i ŠIKIĆ, 1969).

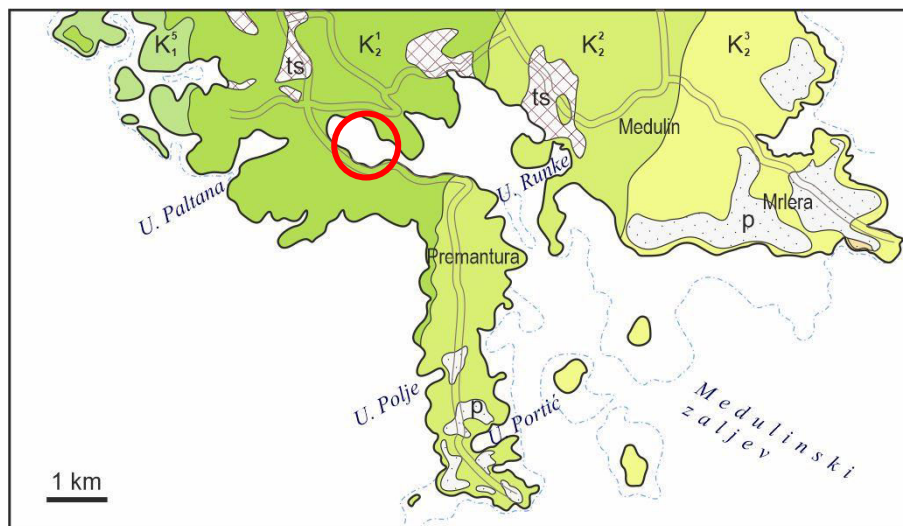
Najstarije otkrivene naslage Istre su jurske starosti. Javljaju se na prostoru između Poreča i Rovinja i to u jezgri Zapadnoistarske antiklinale. Geološka povijest Istarskog poluotoka može se slijediti od mlađe jure, ali se iz istražnih bušotina mogu izvesti i zaključci o geološkim događajima prije jure. Za vrijeme mladeg perma odvijala se plitkomorska klastična sedimentacija s brojnim subgrebentskim foraminiferama i za to doba značajnim fuzulinidama. Donji trijas sadrži breče koje ukazuju na događaje u

sedimentacijskom bazenu koje su popraćene vulkanizmom. Srednji trijas karakteriziran je nastankom šejla, pješčenjaka i dolomita. Gornji trijas nije nađen u naslagama što upućuje na regresiju i kopnenu fazu toga vremena. Regresija je lokalnog karaktera jer postoje naslage gornjeg trijasa u okolnim područjima poput Gorskog Kotara i Slovenije. U starijoj juri dolazi do transgresije te prevladava plitkovorska karbonatna sedimentacija. U gornjem dijelu gornje jure dolazi do produbljivanja te se talože pelagički sedimenti i rožnjaci. Jurske naslage pripadaju kimeridžu i titonu u kojima se odvija plitkovodna karbonatna sedimentacija. Tijekom mlađeg kimeridža dolazi do regresije jakim oplićavanjem u kojoj dolazi do okršavanja vapnenaca i traje sve do mlađeg titona. U mlađem titonu dolazi do transgresije tijekom koje se sedimentacijski bazen proširuje i produbljuje te se talože autohtoni pelagički vapnenci. Tijekom krede, točnije od valendisa do kampana vrši se kontinuirana, gotovo isključivo plitkovodna karbonatna sedimentacija. Za vrijeme apta, kojem pripadaju najstarije otkrivene naslage u području lista Pula, talože se gotovo isključivo vapnenačke naslage. Za vrijeme alba mjestimično u nešto većoj mjeri talože se dolomit, a samo iznimno tanki proslojci i leće lapora. Pri kraju alba gotovo u cijeloj Istri, osim u najjužnijem dijelu, nastaju dolomit i dolomitno-vapnenačke breče. Tijekom cenomana i turona sedimenti se počinju obogaćivati ljušturama rudista. Tijekom konijaka taloži se pretežito dobro uslojeni vapnenac s kolonijama radiolitida. U gornjem dijelu mlađe krede dolazi do potpune regresije i tektonskih pokreta. U tom je periodu na području Istre formirana prostrana i blaga Zapadnoistarska antiklinala čija se os pruža u pravcu sjeveroistok–jugozapad. Također, dolazi do jakog okršavanja te se formiraju ležišta boksita. Početkom paleogena, u krednom reljefu antiklinale, formiraju se kotline u kojima se unutar gornjih dijelova liburnijskih naslaga talože tanki slojevi ugljena. Paleogenska je transgresija prodrla duboko u kredne naslage, najprije povremeno, a potom kontinuirano nastupaju brakična i marinska sedimentacija o kojima govori foraminiferska zajednica miliolida i alveolina. Krajem eocena ili tijekom starijeg oligocena dolazi do konačne i potpune emerzije u Istri. U području Zapadnoistarske antiklinale najprije su erodirane paleogenske, a zatim i kredne i jurske naslage. Tijekom erozije dolazi do taloženja zemlje crvenice, a mjestimično u pleistocenu koštanih breča i pećinskih sedimenata. Na sve mlade morfo-genetske i hidrogeološke procese imali su znatnog utjecaja višestruki epirogenetski pokreti, a na te pokrete ukazuju potopljeni dijelovi riječnih dolina poput Limskog kanala i Raškog zaljeva (POLŠAK i ŠIKIĆ, 1973; POLŠAK, 1970).



## 2.1. Uvala Ribnjak

Uvala Ribnjak (slika 10) nalazi se u središnjem dijelu južne Istre, a nalazi se pored mjesta Pomer. Pripada listu Pula Osnovne geološke karte (OGK) koji zauzima 1480 km<sup>2</sup> površine. Najveći dio područja obuhvaćenog ovim listom OGK prekriven je morem, dok kopneni dio zauzima nešto manje od 300 km<sup>2</sup>. Čitav taj teren je dio prostranog i zaravnjenog jurskokrednog područja, koje zauzima čitavu zapadnu Istru te se često naziva Istarskom zaravni. Teren je građen gotovo isključivo od gornjokrednih naslaga, a dominiraju karbonatne stijene, vapnenci i dolomiti, a u manjoj mjeri javljaju se breče, lapor, kvarcni pijesak i rožnjak (POLŠAK, 1970). U uvali Ribnjak može se naći morska cvjetnica *Cymodocea nodosa*.

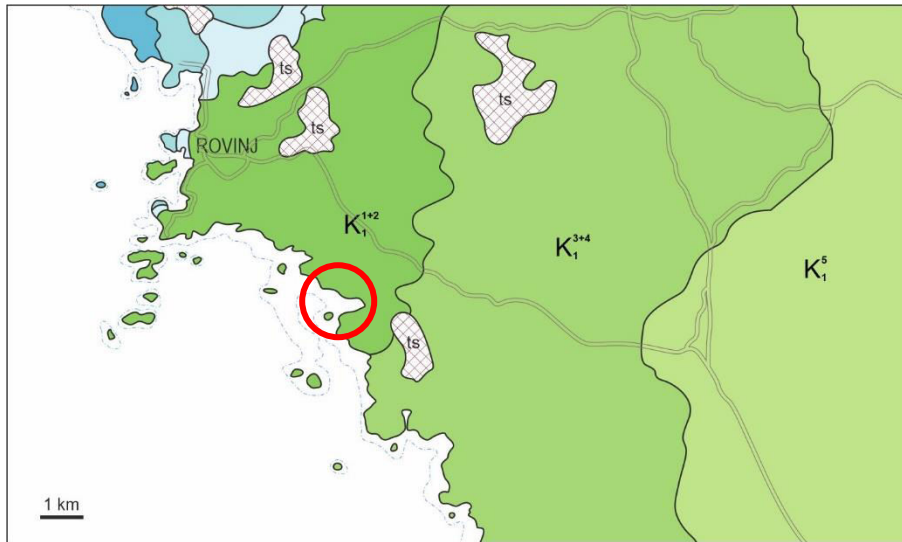


Slika 10: Prikaz geologije terena uvale Ribnjak (modificirano prema POLŠAK, 1967).

## 2.2. Uvala Veštar

Uvala Veštar (slika 11) pripada listu Rovinj OGK koji zauzima 1480 km<sup>2</sup> površine od čega na kopneni dio otpada otprilike 1120 km<sup>2</sup>. Obala je izgrađena od vapnenaca i dolomita koji se izmjenjuju. Ovo područje pripada zapadnom dijelu srednje Istre (POLŠAK i ŠIKIĆ, 1973). Nalazi se unutar turističkog kampa „Veštar“, uvučena je u kopno otprilike 600 m, a širine je otprilike 500 m na samom ulazu. Uvala je plitka te je zbog toga privlačna turistima. Tijekom ljetnih mjeseci, u samom jeku turističke sezone, uvala je pod velikim antropogenim utjecajem. Turisti gaze cvjetnice, kupaju se, sidre brodice te čiste

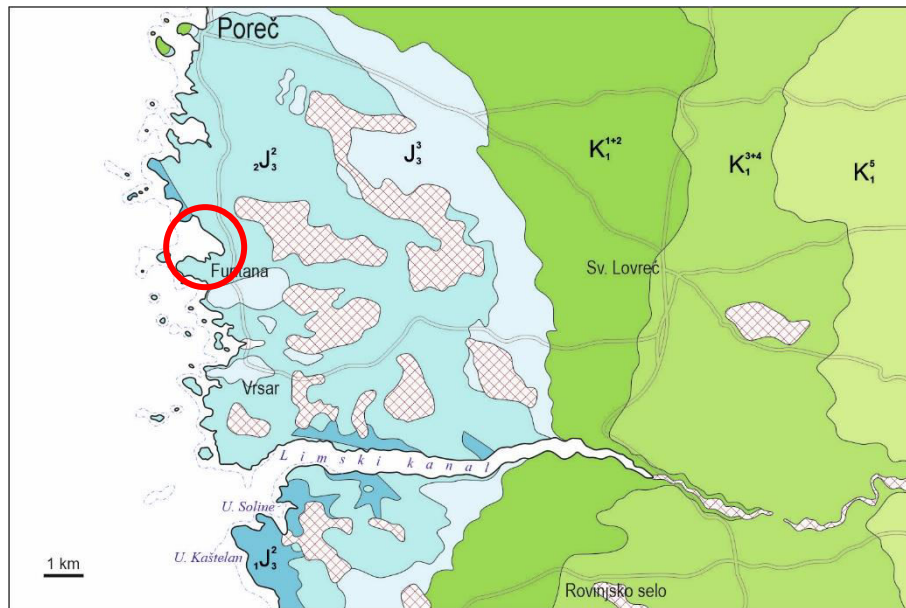
autokampove neposredno uz samu obalu. U uvali se mogu naći dvije vrste morskih cvjetnica, *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii*. Plaža u dnu uvale je karbonatnog sastava.



Slika 11: Prikaz geologije terena uvale Veštar (modificirano prema POLŠAK i ŠIKIĆ, 1969).

### 2.3. Uvala Funtana

Kao i uvala Veštar, uvala Funtana (slika 12) također pripada listu Rovinj OGK. Obala uvale prirodno je stjenovita i uvučena. Dubina uvale je relativno mala, svega do 4 m te je zbog toga privlačna turistima. Obalno područje uvale građeno je od vapnenačkih stijena jurske starosti uz mjestimičnu pojavu slojeva crvenice kvartarne starosti. Uslijed proširivanja kapaciteta plaža za revitalizaciju kupališnog turizma napravljena je plaža Perila. Plaža Perila je nasipana valuticama koji je definiran na terenu. Valutice su od riječnog sedimenta te magmatskog i metamorfnog sastava kao što je kvarcit, šejlovi i slično. Sama plaža napravljena je između dva lukobrana, u zaobljenom dijelu plaže. U uvali se mogu naći morske cvjetnice *Cymodocea nodosa* i *Zostera noltii*, alge *Caulerpa cylindracea* i *Flabellia petiolata*, a na plaži su primijećene fragmentirane ljuštore periski.



Slika 12: Prikaz geologije terena uvale Funtana (modificirano prema POLŠAK i ŠIKIĆ, 1969).

### 3. Materijali i metode

#### 3.1. Uzorkovanje

Uzorkovanje sedimenta i morskih cvjetnica obavljeno je 8. svibnja 2021., 24. srpnja 2021. i 24. listopada 2021. godine na tri lokacije: uvala Ribnjak, uvala Veštar i uvala Funtana.

Sedimenti su uzorkovani korerom na dubinama od oko 2 m. Na lokaciji Ribnjak uzeta je po jedna jezgra, na lokaciji Veštar dvije, a na lokaciji Funtana tri. Nakon uzorkovanja, svaka je jezgra fotografirana, izmjerena, određeno je na kojoj dubini se pojavljuje anoksičan sloj te su za analize veličine zrna jezgre sedimenta podijeljene u poduzorke debljine 2 cm. Iz dijelova uzoraka 0–2, 4–6 i 8–10 cm dubine jezgre izvučen je po jedan gram sedimenta te je stavljen u bočice s 4 ml formaldehida i 30 ml pročišćene morske vode za kasniju analizu brojnosti mikrobne zajednice.

Morske su cvjetnice i prisutne alge uzorkovane probnim kvadrantom tako da je na područje prosječne gustoće livade bačen kvadratni okvir dimenzije 20x20 cm te su s područja kvadrata one i iskopane. Alge i cvjetnice su temeljito oprane u morskoj vodi da se ukloni preostali sediment. Na lokaciji uvala Ribnjak uzet je po jedan uzorak zbog prisutnosti samo cvjetnice *Cymodocea nodosa*, na lokaciji uvala Veštar uzeta su po dva uzorka, jedan s cvjetnicom *Cymodocea nodosa*, a drugi s cvjetnicom *Zostera noltii*. Na lokaciji uvala Funtana uzeta su po tri uzorka: jedan s čistom *Zostera noltii*, jedan s cvjetnicom *Cymodocea nodosa* te algom *Caulerpa* i jedan s cvjetnicom *Cymodocea nodosa* te algama *Flabellia petiolata* i *Caulerpa*.

Pri svakom terenskom radu pomoću sonde pIONeera 65 (Radiometar analitički, Kopenhagen) određene su karakteristike vode: temperatura i salinitet, a tijekom terena u srpnju određeni su i pH te saturacija kisikom.

#### 3.2. Laboratorijske metode

Na uzorcima su napravljene četiri analize: analiza veličine zrna mokrim sijanjem, određivanje udjela karbonata površinskih uzoraka volumetrijom plina na Scheiblerovoj

aparaturi, mjerenje gustoće i stanja livada morskih cvjetnica te određivanje brojnosti mikrobne zajednice u uzorcima sedimenta pomoću epifluorescentnog mikroskopa.

### 3.2.1. Analiza veličine zrna

Metodom mokrog sijanja određen je veličinski sastav uzorka za čestice veće od 0,063 mm na sedam sita, dok su čestice manje od 0,063 mm prikazane ukupno kao mulj.

Iz jezgara s lokacije uvala Veštar uzeto je 25 uzoraka mase 70,00 g, iz jezgara s lokacije uvala Ribnjak uzeto je 9 uzoraka mase 30,00 g i iz jezgara s lokacije Funtana uzeto je 27 uzoraka mase 30,00 g.

Svi uzorci prosijani su kroz set standardnih Retsch® ASTM sita od nehrđajućeg čelika u kombinaciji s tresilicom Fritsch Analysette®. Set od sedam sita sadrži sita promjera otvora od 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm, a njihove su granice određene temeljem Udden–Wentworth-ove ljestvice za klasifikaciju. Proces sijanja je za svaki uzorak trajao 30-ak minuta uz neprekidno ispiranje destiliranom vodom. Na svakom su situ ostale frakcije sedimenta veće od promjera otvora tog sita, a manje od otvora sita iznad njega. Sve zaostale frakcije su sa sita prebačene u staklene posude te su ostavljene da se osuše. Nakon sušenja, svaka je frakcija zasebno izvagana te skladištena u papirnate vrećice. Sediment koji je prošao kroz sva sita, tj. čije su čestice manje od 0,063 mm, sakupljen je u staklenim posudama u obliku suspenzije te je ostavljen da se istaloži.

Nakon sijanja set podataka za svaki uzorak obrađen je pomoću statističkog paketa Gradistat Version 6.0 (BLOTT i PYE, 2001): određen je tip sedimenta prema Folkovoj klasifikaciji (1954) pomoću trokomponentnih dijagrama, ovisno o prisutnosti šljunka u uzorku.

Zbog lakšeg prikazivanja jako malih vrijednosti, neke su vrijednosti izražene logaritamskom  $\Phi$  vrijednosti.

$$\Phi = -\log_2 d \quad d = \text{veličina zrna u milimetrima}$$

Za svaki su uzorak izračunati granulometrijski parametri prema FOLK i WARD (1957):

- $Md = \Phi_{50} \rightarrow$  srednja veličina zrna: veličina zrna od koje je 50% čestica uzorka veće, a 50% manje, odnosno veličina zrna na 50 % kumulativne granulometrijske krivulje;

- $Mz = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$  → prosječna veličina zrna: aritmetički izračunata prosječna veličina zrna;
- $So = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6}$  → sortiranje: pokazuje jednoličnost distribucije veličine čestica u sedimentu;
- kategorije sortiranosti:
 

$< 0,35$	vrlo dobra
$0,35-0,5$	dobra
$0,5-0,71$	umjereno dobra
$0,71-1$	umjerena
$1-2$	slaba
$> 2$	vrlo slaba
- $Sk = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$  → koeficijent asimetrije: pokazatelj simetričnosti distribucije čestica. Ako je  $Sk > 0$  to znači da prevladavaju krupnije čestice, a ako je  $Sk < 0$  onda prevladavaju sitnije čestice;
- kategorije asimetričnosti:
 

$-1$ do $-0,3$	vrlo negativno zakošena krivulja
$-0,3$ do $-0,1$	negativno zakošena krivulja
$-0,1$ do $0,1$	gotovo simetrična krivulja
$0,1$ do $0,29$	pozitivno zakošena krivulja
$0,3$ do $1$	vrlo pozitivno zakošena krivulja
- $Kg = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$  → zakošenost krivulje
- kategorije zaoštrenosti:
 

$< 0,67$	vrlo zaravnjena
$0,67 - 0,9$	zaravnjena
$0,9 - 1,11$	srednje zaoštrena
$1,11 - 1,5$	zaoštrena
$1,5 - 3$	vrlo zaoštrena
$> 3$	izuzetno zaoštrena

### 3.2.2. Određivanje udjela karbonata površinskih uzoraka

Za potrebe analize određivanja udjela karbonata, površinski su uzorci usitnjeni na čestice veličine praha te su analitičkom vagom izvagana po dva poduzorka mase otprilike 300 mg. Volumetrijom plina na Scheiblerovoj aparaturi određen je udio karbonata. Metoda

kalcimetrije temelji se na određivanju volumnog udjela CO<sub>2</sub> koji nastaje kao produkt otapanja karbonata u destiliranom vodom razrijeđenoj klorovodičnoj kiselini (u omjeru 1:1). Prije određivanja udjela karbonata u površinskim uzorcima napravljeno je mjerenje čistog kalcijeva karbonata kao standarda. Odvagana su dva uzorka standarda mase 300 mg te je svaki stavljen u Erlenmeyerovu tikvicu s magnetom i 5 ml klorovodične kiseline u plastičnoj posudici kako ne bi došlo do kemijske reakcije prije početka mjerenja. Gumenim je čepom tikvica zatvorena te je tako dobiven potpuno zatvoreni sustav. Prije uključivanja magnetne miješalice očitani su temperatura (°C) i tlak (mmHg) u prostoriji. Uključenjem magnetne miješalice kiselina je prolivena iz plastične posudice te dolazi do reakcije s uzorkom. Postupak traje otprilike 5 minuta. Prilikom reakcije otapanja karbonata klorovodičnom kiselinom oslobađa se ugljikov dioksid čiji se volumen mjeri i očitava te se pomoću formule dobiva udio karbonata u uzorku. Formula za izračunavanje udjela karbonata u uzorku:

$$\%CaCO_3 = \frac{\text{ml CO}_2 * F * 2,274 * 100}{\text{masa uzorka (mg)}}$$

Istim je postupkom napravljeno određivanje udjela karbonata za sve površinske uzorke te su se pri svakom mjerenju očitavale vrijednosti tlaka i temperature za određivanje faktora F iz tablice pretvorbe volumena izmjenjenog ugljikovog dioksida iz mililitara u miligrame.

Za svaki su uzorak i standard izvršena dva mjerenja te je kao konačna vrijednost udjela karbonata u uzorku korištena aritmetička sredina dobivenih rezultata.

### 3.2.3. Mjerenje gustoće i stanja livada morskih cvjetnica i algi

Nakon uzorkovanja morskih cvjetnica i alga probnim kvadrantom, dolaskom u laboratorij svaki je uzorak ispran vodom te su identificirane prisutne vrste. Nakon samog odvajanja vrsta, algi i cvjetnica, koristeći škare odvojeni su s cvjetnica listovi, rizomi i korijenje koji su potom izvagani, svaki dio posebno, na preciznoj digitalnoj vagi uzimajući u obzir dvije decimale (određivanje mokre mase). Izdvojeni listovi podijeljeni su na stare listove i nove listove te je svakom od njih ravnalom izmjerena duljina.

Nakon vaganja mokre mase, listovi, korijenje i rizomi sušeni su na 50°C 24 sata te je nakon toga odrađeno vaganje suhe mase uzoraka.

#### 3.2.4. Određivanje brojnosti mikrobne zajednice u sedimentima

Određivanje brojnosti mikrobne zajednice u sedimentima rađeno je na dubinama od 0–2 cm, 4–6 cm i 8–10 cm. Uzorci su prikupljeni iz vertikalnih korera dubina od 20 cm do 42 cm koji su se rezali na debljinu od 2 cm. Iz svakog uzorka na određenoj dubini izdvojeno je po 2 g sedimenta koji je smješten u plastične tube volumena 50 ml. U svaku je posudu dodano 30 ml filtrirane morske vode (veličina pora 0,22  $\mu\text{m}$ ) i 4 ml formaldehida zbog konzerviranja. U laboratoriju je uzorcima dodano 50  $\mu\text{l}$  Tween 80 ulja zbog boljeg odvajanja mikroorganizama od čestica sedimenta nakon čega je uslijedila ultrasonikacija u trajanju od 15 minuta (EPSTEIN i ROSSEL, 1995). Po završetku ultrasonikacije prikupljeno je 1 ml supernatanta kojemu je dodana DAPI boja do koncentracije od 5  $\mu\text{g/ml}$ . Petnaest minuta nakon, supernatant je filtriran kroz crne polikarbonatne filtre veličine pora 0,22  $\mu\text{m}$  te je uslijedilo brojanje heterotrofnih prokariota pomoću epifluorescentnog mikroskopa (Zeiss Axio Imager Z1) pri povećanju od 1000 puta (PORTER i FEIG, 1980). Rezultat brojanja izražen je kao koncentracija stanica po gramu mokrog sedimenta.



## 4. Rezultati

### 4.1. Hidrografski uvjeti i podaci o jezgri

#### 4.1.1. Uvala Ribnjak

Temperatura vode u uvali Ribnjak u svibnju iznosila je 16,90°C dok je salinitet iznosio 36,80. Dubina jezgre iznosila je 36 cm te se na dubini od 1,5 cm pojavio anoksičan sloj.

U srpnju je temperatura bila najviša u odnosu na ostala mjerenja te je iznosila 26,79°C. Salinitet je bio nešto niži u odnosu na mjerenje u svibnju te je iznosio 35,52. Izmjeren je i pH vode koji je iznosio 8,33 te saturacija vode kisikom koja je bila 71,5%. Dubina jezgre bila je 36 cm, a anoksija se protezala kroz cijelu jezgru.

U listopadu je izmjerena najniža temperatura od 14,47°C, najviši salinitet od 37,87, saturacija kisikom od visokih 92,6% te pH 8,45. Dubina jezgre iznosila je 38 cm, a anoksičan sloj se pojavljuje na 1 cm dubine.

#### 4.1.2. Uvala Veštar

Temperatura vode u uvali Veštar je u svibnju iznosila 17°C, a salinitet 20. Dubina jezgre izvađene na manjoj dubini u području rasta morske cvjetnice *Z. noltii* iznosila je 42 cm, a anoksija se pojavljuje na 7,5 cm dubine. U području rasta *C. nodosa* dubina jezgre je iznosila 20 cm, a anoksičan se sloj pojavljuje na 3 cm dubine. Također, u jezgri s područja raste *C. nodosa* zabilježeno je puno korijenja.

U srpnju je temperatura mora iznosila 26,53°C, salinitet je bio 33,2, pH 7,99, dok je saturacija mora kisikom iznosila 81,5%. Jezgra u području rasta *Z. noltii* bila je dubine 20 cm, anoksičan sloj počeo je na 5 cm te su se na dubini od 6 do 8 cm završavali korjenčići. Jezgra iz područja *C. nodosa* dubine je 24 cm, a anoksija se pojavljuje na 3 cm.

U listopadu je zabilježena temperatura mora 16,94°C, najviši salinitet od 37,08, pH 8,26 te je saturacija mora kisikom bila 89,7%. Dubina jezgre u području *Z. noltii* iznosila je 32 cm, a anoksija je započela na 4 cm. Dubina jezgre u području rasta *C. nodosa* iznosila je 24 cm dok anoksija počinje na 3,5 cm. Također, u obje je jezgre zapažena promjena

anoksičnog sloja uoksičan sloj na nešto većoj dubini koju nije bilo moguće točno definirati, radi miješanja sedimenta tijekom uzorkovanja.

#### 4.1.3. Uvala Funtana

Temperatura vode na plaži Funtana u svibnju je iznosila 18°C, a salinitet je iznosio 32. Istočno od plaže, u blizini močvare, temperatura iznosila 20°C, a salinitet 23. Jezgra F1 (najbliža močvari) bila je dubine 34 cm s početkom anoksije na 3 cm te vrhom punim cvjetnice zostere. Dubina jezgre F3 iznosi 28 cm, a anoksija počinje na 3 cm. Dubina jezgre F5 (najdalje od močvare) iznosi 25 cm, a anoksija počinje na 3,5 cm.

U srpnju je temperatura vode na plaži Funtana iznosila 28,19°C, salinitet je iznosio 30,59, pH 8,0, a saturacija mora kisikom je bila 90,00%. Istočno od točke mjerenja, bliže močvari, temperatura je iznosila visokih 30,2°C, salinitet je bio 29,15, pH 8,39, a saturacija mora kisikom vrlo visokih 117,0%. Jezgra F1 je bila dubine 26 cm, a anoksija je počela na 0,5 cm dubine. Jezgra F3 bila je dubine 32 cm s anoksijom kroz cijelu jezgru. Jezgra F5 dubine je 28 cm također s anoksijom kroz cijelu jezgru.

U listopadu je temperatura mora iznosila 16,74°C na plaži i 16,98°C bliže močvari. Salinitet je bio sličan: 36,07 u Funtani, a 36,01 bliže močvari. pH je iznosio 8,15 dok je bliže močvari iznosio 8,33. Saturacije mora kisikom su bile vrlo visoke: 95,7% u području plaže i 103,4% istočno od nje. Jezgra F1 je bila dubine 40 cm, F3 također 40 cm, a F5 je bila 20 cm. U sve tri jezgre anoksija započinje na manje od 0,5 cm dubine. U listopadu je uočeno da se *Caulerpa cylindracea* proširila na cijelo područje Funtane, osim na područje s morskom cvjetnicom *Zostera noltii* što u proteklim mjesecima nije bio slučaj.

## 4.2. Rezultati analize veličine zrna

Analizom veličine zrna svaki uzorak sedimenta iz jezgara klasificiran s obzirom na udio šljunka, pijeska i mulja. Osim veličine čestica, izračunani su i granulometrijski podaci poput srednje i prosječne veličine zrna, sortiranost, asimetričnost raspodjele i zaoštrenost krivulje.

## 4.2.1. Uvala Ribnjak

Površinski sediment (0–2 cm dubine) uzorkovan tijekom sva tri terena okarakteriziran je kao blago šljunkoviti mulj, dok se na ostalim analiziranim dubinama vide razlike (tablica 1). Na dubini od 2 do 4 cm tijekom proljetnog uzorkovanja sediment je okarakteriziran kao blago šljunkovito-pjeskoviti mulj, a tijekom ljetnog i jesenskog kao blago šljunkoviti mulj. Na dubini od 30 do 32 cm u proljeće i ljeto prevladava šljunkoviti mulj, a tijekom jeseni blago šljunkovito-pjeskoviti mulj.

Srednja veličina zrna je 0,05 mm za površinski sediment i sediment na dubini od 2 do 4 cm, dok je na dubini od 30 do 32 cm 0,05 mm, odnosno 0,06 mm za sediment uzorkovan tijekom proljeća.

Prosječna je veličina zrna 0,05 mm za sve uzorke osim uzoraka sedimenta na dubini od 30 do 32 cm iz svibnja (0,13 mm) i srpnja (0,16 mm).

Sortiranost varira od vrlo slabe do dobre sortiranosti, a koeficijent asimetričnosti pokazuje vrlo negativno zakošene krivulje za sve sedimente osim površinskog iz svibnja gdje je krivulja negativno zakošena (FOLK i WARD, 1957).

Vrijednosti koeficijenta zaoštrenosti prikazuju zaoštrene i izuzetno zaoštrene krivulje te jednu zaravnjenu krivulju (sediment s 30–32 cm dubine iz srpnja).

Tablica 1: Rezultati granulometrijske analize za uzorke sedimenta iz uvale Ribnjak.

Dubina	SVIBANJ			SRPANJ			LISTOPAD		
	0–2	2–4	30–32	0–2	2–4	30–32	0–2	2–4	30–32
Šljunak (%)	0,46	2,67	12,00	4,50	3,30	15,03	3,37	2,80	1,30
Pijesak (%)	6,53	15,33	26,80	6,97	6,87	19,16	7,99	7,79	9,41
Mulj (%)	93,00	82,00	61,20	88,53	89,83	65,80	88,63	89,40	89,30
Md (mm)	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Mz (mm)	0,05	0,05	0,13	0,05	0,05	0,16	0,05	0,05	0,05
So ( $\Phi$ )	0,44	0,97	2,31	1,03	0,87	2,49	0,93	0,86	0,77
Sk ( $\Phi$ )	-0,23	-0,52	-0,79	-0,41	-0,39	-0,82	-0,40	-0,39	-0,37
Kg ( $\Phi$ )	1,35	3,15	1,16	4,15	3,41	0,73	3,64	3,36	2,86
Tip sedimenta	Blago šljunkoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Šljunkoviti mulj	Blago šljunkoviti mulj	Blago šljunkoviti mulj	Šljunkoviti mulj	Blago šljunkoviti mulj	Blago šljunkoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj

4.2.2. Uvala Veštar- *Cymodocea nodosa*

Svi su sedimenti, osim površinskog uzorkovanog u listopadu (šljunkovito-muljeviti pijesak) i sedimenta s dubine od 22 do 24 cm iz srpnja (šljunkovito-muljeviti pijesak), okarakterizirani kao blago šljunkovito-muljeviti pijesak (tablica 2).

Srednja veličina zrna varira između 0,07 mm (površinski uzorak iz srpnja) i 0,14 mm (sediment s dubine od 2 do 4 cm iz svibnja). Prosječna veličina zrna također varira, između 0,08 mm i 0,13 mm za površinske sedimente, između 0,10 mm i 0,13 mm za sediment na dubini od 2 do 4 cm i između 0,09 mm i 0,14 za sediment na većim dubinama.

Sortiranost je slaba do umjerena, a koeficijent asimetričnosti pokazuje da se radi o pozitivno zakošenim krivuljama iz svibnja, negativno zakošenim, gotovo simetričnim i pozitivno zakošenim krivuljama iz srpnja te negativno i vrlo negativno zakošenim krivuljama iz listopada.

Tablica 2: Rezultati granulometrijske analize za uzorke sedimenta iz uvale Veštar u području rasta cvjetnice *C. nodosa*.

	SVIBANJ			SRPANJ			LISTOPAD		
	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20
<i>Dubina</i>	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20
<i>Šljunak (%)</i>	3,02	0,90	0,32	0,13	0,86	0,72	8,80	2,32	3,48
<i>Pijesak (%)</i>	80,31	84,85	78,25	58,67	75,14	79,68	66,65	69,23	71,03
<i>Mulj (%)</i>	16,66	14,24	21,41	41,20	24,00	19,60	24,54	28,46	25,49
<i>Md (mm)</i>	0,14	0,14	0,13	0,07	0,12	0,12	0,13	0,11	0,12
<i>Mz (mm)</i>	0,13	0,13	0,12	0,08	0,11	0,11	0,12	0,10	0,11
<i>So (Φ)</i>	1,03	0,69	0,99	0,88	0,97	0,97	1,68	1,13	1,32
<i>Sk (Φ)</i>	0,13	0,16	0,23	-0,17	0,12	0,05	-0,18	-0,56	-0,13
<i>Kg (Φ)</i>	1,10	1,04	0,87	0,92	0,83	0,95	1,69	0,94	1,15
<i>Tip sedimenta</i>	Blago šljunkovito-muljeviti pijesak			Blago šljunkovito-muljeviti pijesak			Šljunkovito-muljeviti pijesak	Blago šljunkovito-muljeviti pijesak	

4.2.3. Uvala Veštar- *Zostera noltii*

Svi su sedimenti, osim površinskog uzorkovanog u listopadu (šljunkovito-muljeviti pijesak) i sedimenta s dubine od 22 do 24 cm iz srpnja (šljunkovito-muljeviti pijesak), okarakterizirani kao blago šljunkovito-muljeviti pijesak (tablica 3).

Srednja veličina zrna iznosi 0,14 mm za sediment iz svibnja, između 0,08 mm i 0,13 mm za sediment iz srpnja te između 0,09 mm i 0,13 mm za sediment iz listopada.

Prosječna veličina zrna varira između 0,08 mm i 0,13 mm dok sortiranost varira od slabe do umjerene.

Tablica 3: Rezultati granulometrijske analize za uzorke sedimenta iz uvale Veštar u području rasta cvjetnice *Z. noltii*.

Dubina	SVIBANJ			SRPANJ			LISTOPAD		
	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20
Šljunak (%)	3,02	0,90	0,32	0,13	0,86	0,72	8,80	2,32	3,48
Pijesak (%)	80,31	84,85	78,25	58,67	75,14	79,68	66,65	69,23	71,03
Mulj (%)	16,66	14,24	21,41	41,20	24,00	19,60	24,54	28,46	25,49
Md (mm)	0,14	0,14	0,13	0,07	0,12	0,12	0,13	0,11	0,12
Mz (mm)	0,13	0,13	0,12	0,08	0,11	0,11	0,12	0,10	0,11
So ( $\Phi$ )	1,03	0,96	0,99	0,88	0,97	0,97	1,68	1,13	1,32
Sk ( $\Phi$ )	0,13	0,16	0,23	-0,17	0,12	0,05	-0,18	-0,56	-0,13
Kg ( $\Phi$ )	1,10	1,04	0,87	0,92	0,83	0,95	1,69	0,94	1,15
Tip sedimenta	Blago šljunkovito-muljeviti pijesak			Blago šljunkovito-muljeviti pijesak			Šljunkovito-muljeviti pijesak	Blago šljunkovito-muljeviti pijesak	

## 4.2.4. Funtana 1

Sedimenti iz jezgre Funtana 1 su većinom okarakterizirani kao blago šljunkovito-pjeskoviti mulj uz nekoliko izuzetaka (tablica 4). Srednja veličina zrna varira između 0,001 mm za površinski sediment iz srpnja pa sve do 0,05 mm. Prosječna veličina zrna varira između 0,004 mm i 0,05 mm, dok je sortiranost slaba do dobra. Krivulje su uglavnom negativno do vrlo negativno zakošene te zaoštrene.

Tablica 4: Rezultati granulometrijske analize za uzorke sedimenta iz jezgre Funtana 1.

	SVIBANJ			SRPANJ			LISTOPAD		
	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20
<i>Dubina</i>									
<i>Šljunak (%)</i>	1,36	1,86	3,20	1,10	2,26	0,73	4,30	2,24	2,17
<i>Pijesak (%)</i>	9,79	11,06	7,27	11,36	11,44	10,49	10,47	10,53	14,10
<i>Mulj (%)</i>	88,83	87,07	89,53	87,53	86,30	88,77	85,23	87,23	83,73
<i>Md (mm)</i>	0,05	0,05	0,03	0,001	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>Mz (mm)</i>	0,05	0,05	0,02	0,004	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>So (Φ)</i>	0,44	0,46	1,85	1,88	1,90	0,44	0,96	0,46	0,59
<i>Sk (Φ)</i>	-0,20	-0,22	0,60	-2,01	0,55	-0,20	-0,40	-0,22	-0,31
<i>Kg (Φ)</i>	1,24	1,31	0,36	0,37	0,38	1,24	3,60	1,30	1,78
<i>Tip sedimenta</i>	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj		Blago šljunkoviti mulj	Blago šljunkoviti mulj		Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj		

## 4.2.5. Funtana 3

Svi uzorci sedimenta, osim uzorka iz dubine 18 do 20 cm iz listopada (šljunkoviti mulj), okarakterizirani su kao blago šljunkovito-pjeskoviti mulj (tablica 5). Srednja veličina zrna za sve uzorke sedimenta iznosi 0,05 mm, a prosječna je između 0,05 mm i 0,07 mm.

Sortiranost je slaba do dobra, a krivulje su negativno do vrlo negativno zakošene te su zaoštrene do vrlo zaoštrene.

Tablica 5: Rezultati granulometrijske analize za uzorke sedimenta iz jezgre Funtana 3.

	SVIBANJ			SRPANJ			LISTOPAD		
	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20	0-2	2-4	18-20
<i>Dubina</i>									
<i>Šljunak (%)</i>	0,73	0,27	0,03	2,13	4,63	0,90	0,43	0,97	9,30
<i>Pijesak (%)</i>	14,83	15,57	13,06	16,17	24,93	9,88	16,30	15,70	20,71
<i>Mulj (%)</i>	84,43	84,17	86,90	81,70	70,43	89,23	83,27	83,30	70,00
<i>Md (mm)</i>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>Mz (mm)</i>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07
<i>So (Φ)</i>	0,54	0,54	0,51	0,68	1,24	0,45	0,52	0,55	1,61
<i>Sk (Φ)</i>	-0,27	-0,27	-0,26	-0,41	-0,60	-0,22	-0,27	-0,30	-0,68
<i>Kg (Φ)</i>	1,60	1,58	1,54	1,93	2,41	1,32	1,39	1,57	2,90

<i>Tip sedimenta</i>	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Šljunkoviti mulj
----------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------

#### 4.2.6. Funtana 5

Površinski se sedimenti u jezgrama Funtana 5 razlikuju. Sediment iz svibnja i listopada je okarakteriziran kao blago šljunkovito-muljeviti pijesak dok je sediment iz srpnja okarakteriziran kao blago šljunkovito-pjeskoviti mulj. Sediment na dubini od 2 do 4 cm okarakteriziran je kao blago šljunkovito-muljeviti pijesak za sve tri sezone dok je sediment dubine 18 do 20 cm okarakteriziran kao blago šljunkovito-pjeskoviti mulj (tablica 6).

Za površinske sedimente srednja veličina zrna iznosi između 0,06 mm i 0,15 mm, a prosječna između 0,09 mm i 0,14 mm. Za sedimente s dubine 2–4 cm srednja veličina zrna iznosi između 0,14 mm i 0,16 mm dok je prosječna između 0,13 mm i 0,14 mm.

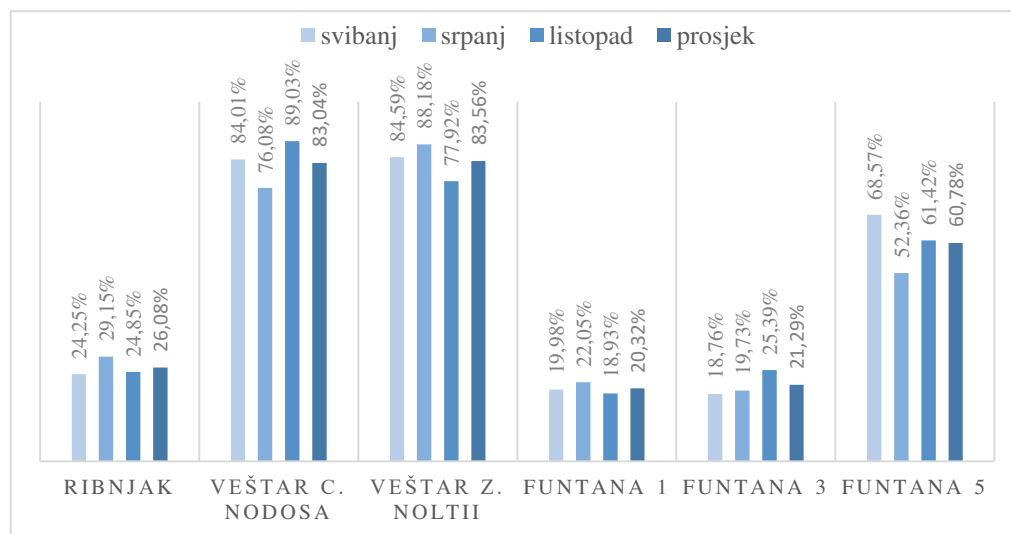
Sortiranost je slaba do umjerena, krivulje su vrlo negativno zakošene pa sve do gotovo simetrične te zaoštrene.

Tablica 6: Rezultati granulometrijske analize za uzorke sedimenta iz jezgre Funtana 5.

<i>Dubina</i>	<i>SVIBANJ</i>			<i>SRPANJ</i>			<i>LISTOPAD</i>		
	0–2	2–4	18–20	0–2	2–4	18–20	0–2	2–4	18–20
<i>Šljunak (%)</i>	1,67	0,46	0,70	2,80	0,67	0,03	1,36	1,03	1,33
<i>Pijesak (%)</i>	61,53	57,65	18,88	44,93	62,50	14,90	53,34	62,23	37,44
<i>Mulj (%)</i>	36,80	41,87	80,43	52,27	36,83	85,07	45,30	36,73	61,23
<i>Md (mm)</i>	0,15	0,14	0,05	0,06	0,14	0,05	0,11	0,16	0,05
<i>Mz (mm)</i>	0,14	0,13	0,05	0,09	0,13	0,05	0,12	0,14	0,08
<i>So (Φ)</i>	1,48	1,43	0,79	1,51	1,34	0,56	1,51	1,16	1,31
<i>Sk (Φ)</i>	0,05	0,04	-0,50	-0,62	0,08	-0,30	-0,18	0,09	-0,63
<i>Kg (Φ)</i>	0,09	0,61	2,10	0,92	0,66	1,80	0,71	0,66	0,89
<i>Tip sedimenta</i>	Blago šljunkovito-muljeviti pijesak	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-muljeviti pijesak	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-muljeviti pijesak	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj	Blago šljunkovito-pjeskoviti mulj

### 4.3. Rezultati određivanja udjela karbonata u površinskim uzorcima

Određivanje udjela karbonata napravljeno je na površinskim uzorcima svake od izvađenih jezgara sedimenta. Prosječni udjeli (slika 13) su iznosili  $26,08 \pm 2,67\%$  za Ribnjak,  $83,04 \pm 6,53\%$  za Veštar u području rasta *C. nodosa* i  $83,56 \pm 5,21\%$  za Veštar u području rasta *Z. noltii*. Prosječni udio za Funtanu 1 iznosi  $20,32 \pm 1,59\%$ , za Funtanu 3  $21,29 \pm 3,58\%$  te  $60,78 \pm 8,12\%$  za Funtanu 5. Rezultati pokazuju da se sedimenti uzorkovani na istim lokacijama tijekom različitih sezona ne razlikuju bitno od prosjeka, razlika je manja od 10%. Najveće odstupanje od prosjeka zabilježeno je u površinskim sedimentima jezgre Funtana 5 dok je najmanje odstupanje zabilježeno u sedimentima jezgre Funtana 1. Zabilježen je porast prosječnog udjela karbonata od jezgre Funtana 1 preko jezgre Funtana 3 pa sve do jezgre Funtana 5, to jest udaljavanjem od močvarnog područja povećava se udio karbonata. Jezgre s lokacije Veštar razlikuju se u prosječnoj vrijednosti za svega 0,52%.



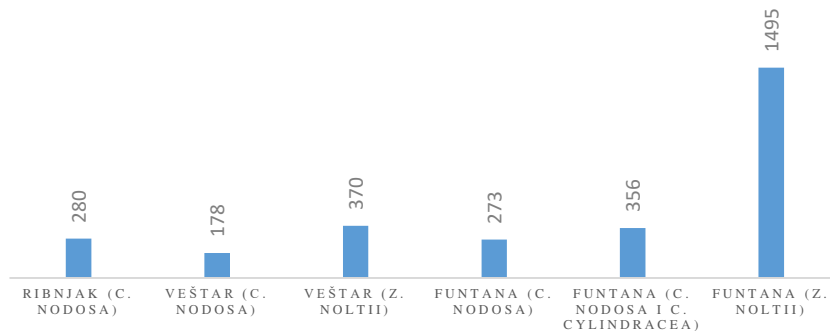
Slika 13: Udio karbonata u površinskim uzorcima sedimenata.



#### 4.4. Rezultati mjerenja gustoće i stanja livada morskih cvjetnica i algi

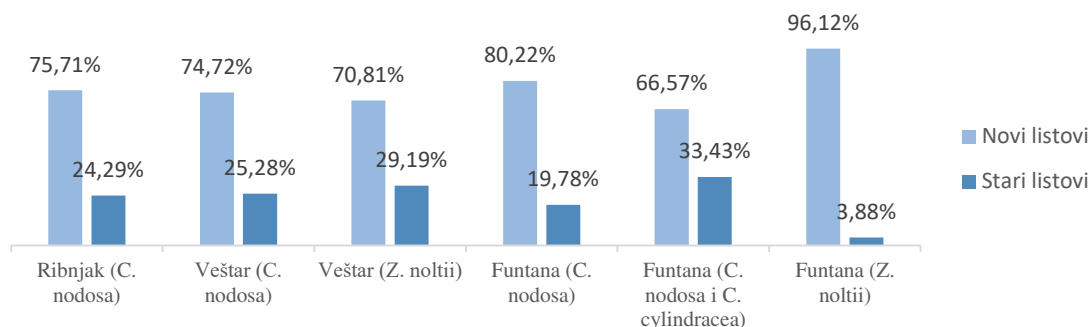
##### 4.4.1. Proljetno uzorkovanje

Tijekom proljetnog uzorkovanja najveća prosječna duljina listova zabilježena je na lokaciji Ribnjak na livadi morske cvjetnice *C. nodosa* ( $5,33 \pm 2,85$  cm) dok je najkraća prosječna duljina registrirana u Funtani na livadi *Z. noltii* ( $1,93 \pm 1,43$  cm).



Slika 14: Ukupan broj listova tijekom proljetnog uzorkovanja.

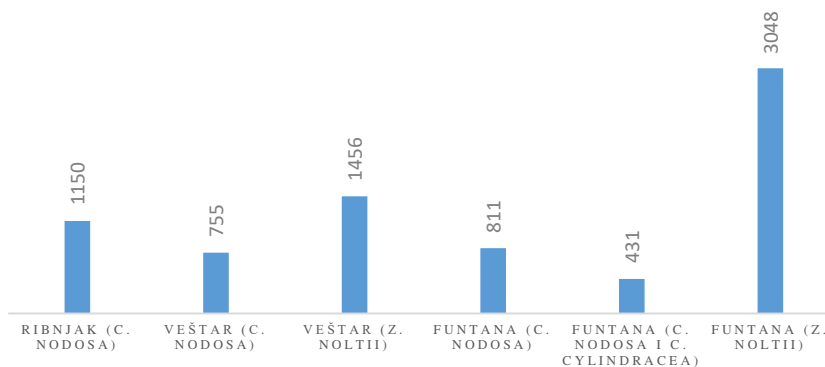
Najveći broj listova izbrojan je u Funtani na livadi *Z. noltii* te iznosi 1495 (slika 14), dok je najmanji broj izbrojan u uvali Veštar na livadi *C. nodosa* (133 listova). U svih šest uzoraka zabilježen je veći postotak novih listova (slika 15), a najmanji i najveći postotak izmjereni su u Funtani (66,57% novih listova na invadiranoj livadi i 96,12% na livadi *Z. noltii*). U uvali Ribnjak, duljina najduljeg lista *C. nodosa* iznosila je 16,6 cm, što je ujedno i najdulji list izmjeren na proljeće, a duljina najkraćeg je iznosila 0,4 cm. U Veštru je najduži list *C. nodosa* bio 10,2 cm, a najkraći 0,6 cm, dok je najduži list *Z. noltii* iznosio 11,1 cm, a najkraći 0,4 cm. U Funtani su najveće duljine izmjerene u invadiranoj livadi te su iznosile 15,8 cm za najdulji list i 0,7 za najkraći list. Najkraći list (0,2 cm) izmjeren je u Funtani na livadi *Z. noltii*.



Slika 15: Odnos broja starih i novih listova kod proljetnog uzorkovanja.

#### 4.4.2. Ljetno uzorkovanje

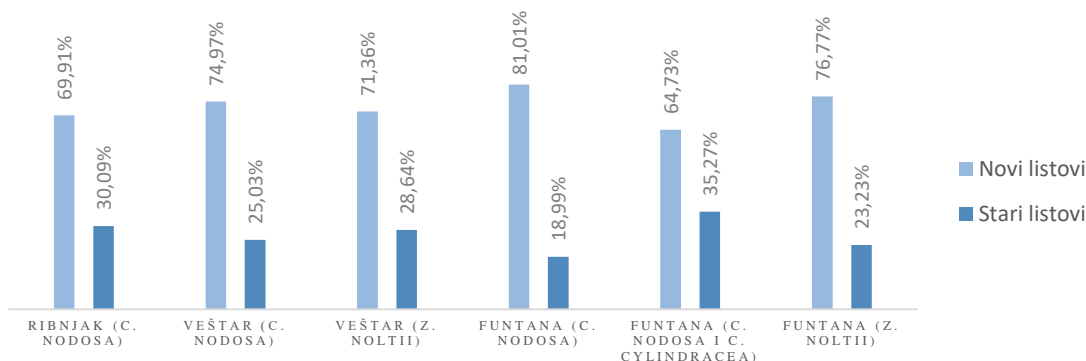
U srpnju, ukupan broj listova bio je veći na svim lokacijama u usporedbi s proljećem (slika 16). Najveća prosječna duljina listova ponovno je izmjerena u uvali Ribnjak ( $24,18 \pm 14,02$  cm) dok je najmanja prosječna zabilježena u uvali Veštar na livadi *Z. noltii* ( $6,51 \pm 3,41$  cm). Na svim su lokacijama prosječne duljine listova rasle u odnosu na mjerenja u proljeće.



Slika 16: Ukupan broj listova tijekom ljetnog uzorkovanja.

Najveći izbrojani broj listova iznosi 3048 i izbrojan je u Funtani na livadi *Z. noltii*, a najmanji broj listova registriran je također u Funtani, u invadiranoj livadi te iznosi 431. Najveći zabilježeni postotak povećanja brojnosti listova u odnosu na proljeće zabilježen je u Veštru na livadi *Z. noltii* te iznosi 424% dok je najmanji postotak povećanja brojnosti listova zabilježen u invadiranoj livadi. U uzorcima Ribnjak, Veštar (*Z. noltii*), te Funtana (*C. nodosa* i *C. cylindracea*) i Funtana (*Z. noltii*) zabilježen je porast postotka starih listova

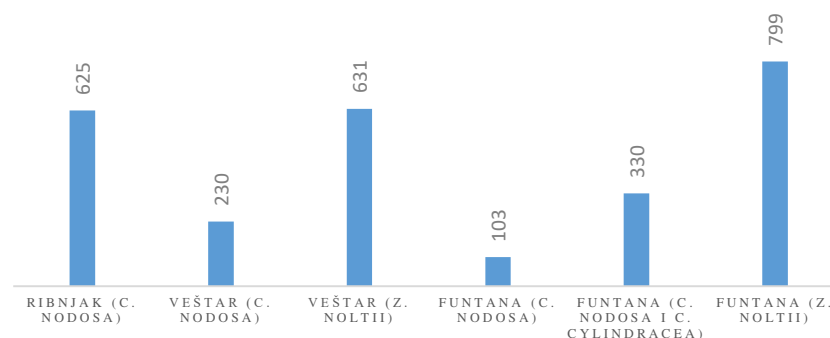
u odnosu na proljetno uzorkovanje (slika 17). Najduži i najkraći list ponovno su izmjereni na istim lokacijama (58,4 cm u uvali Ribnjak i 0,2 cm u Funtani na livadi *Z. noltii*).



Slika 17: Odnos broja starih i novih listova kod ljetnog uzorkovanja.

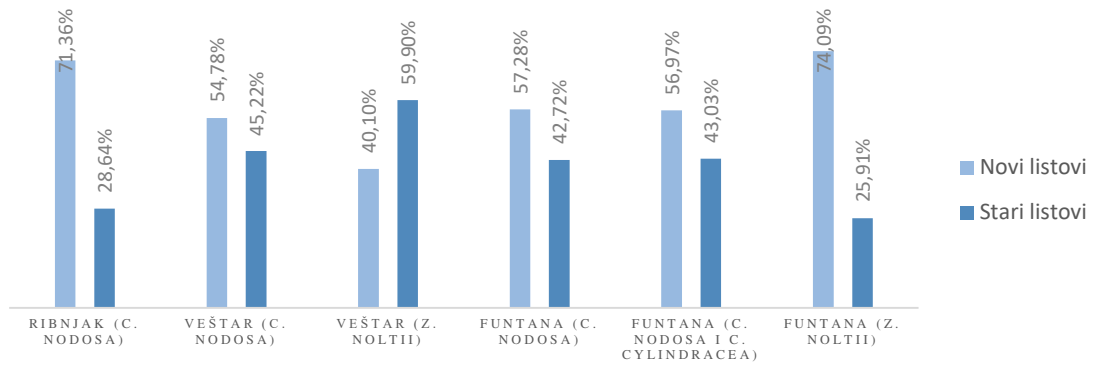
#### 4.4.3. Jesensko uzorkovanje

Tijekom jeseni, najveća prosječna duljina listova izmjerena je u Veštru na livadi *C. nodosa* i iznosila je  $8,98 \pm 5,37$  cm dok je najkraća prosječna duljina listova izmjerena u Funtani, također na livadi *C. nodosa* ( $5,67 \pm 3,10$  cm) (slika 18).



Slika 18: Ukupan broj listova tijekom jesenskog uzorkovanja.

Ponovno je najveći zabilježeni broj listova u Funtani na livadi *Z. noltii* (799), a najmanji je ovoga puta u livadi *C. nodosa* (103) također u Funtani. Najveći pad ukupnog broja listova zabilježen je livadi morske cvjetnice *C. nodosa* (87%) u Funtani, a najmanji u invadiranoj livadi (23%). Najduži list zabilježen je u invadiranoj livadi (25,7 cm), a najkraći u Veštru na livadi *Z. noltii* (0,2 cm). Na svim lokacijama, osim Veštra na livadi *Z. noltii*, u postotku i dalje prevladavaju novi listovi (slika 19). Jedino se u Ribnjaku povećao broj novih listova *C. nodosa*.



Slika 19: Odnos broja starih i novih listova kod jesenskog uzorkovanja.

Na temelju prikazanih rezultata (slika 14, slika 16, slika 18) vidljivo je veće povećanje postotka brojnosti listova ljeti u odnosu na proljeće u uzorcima kod cvjetnice *C. nodosa* (197,1–324,2 %) nego kod *Z. noltii* (103,9–293,5 %). S druge strane, cvjetnica s većim brojem listova po mjerenoj površini (20\*20 cm) je *Z. noltii* (370–3048 listova po mjerenoj površini). Najmanji postotak povećanja brojnosti listova zabilježen je u invadiranoj livadi (21,1 %).

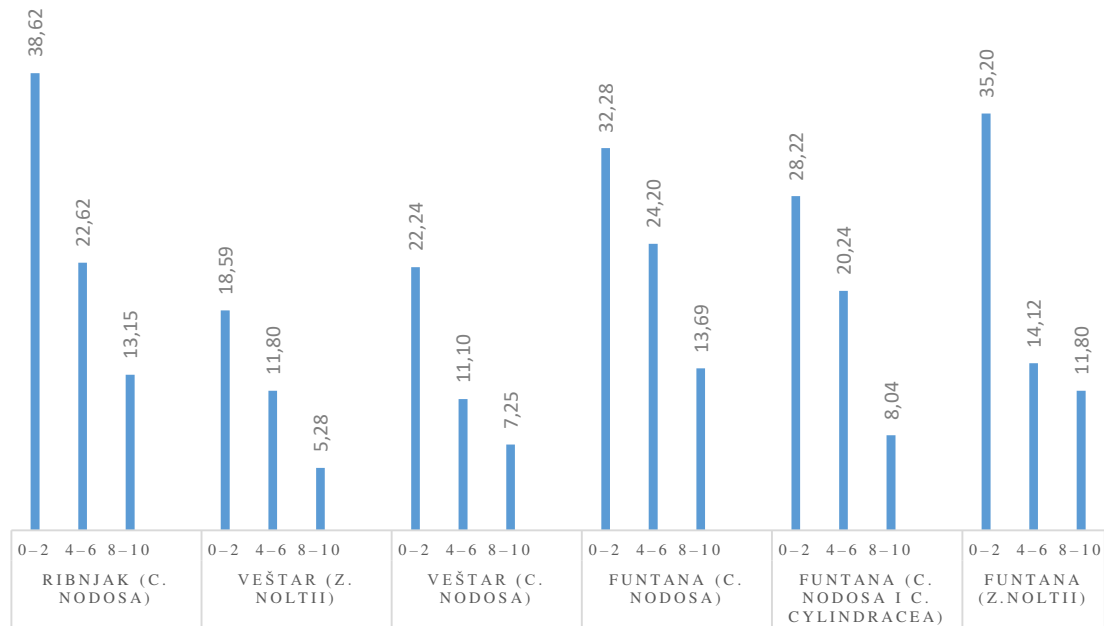
Općenito, cvjetnice su pokazale sezonsku fluktuaciju biomase i dužine izdanaka koja je vrhunac dosegla tijekom ljeta nakon čega je ponovno uslijedio pad.

#### 4.5. Rezultati određivanja brojnosti mikrobne zajednice u sedimentima

Brojnost heterotrofnih prokariota u svim sedimentima uzorkovanim tijekom tri sezone pokazuje trend postepenog smanjenja abundancije s površine prema dubljim slojevima.

##### 4.5.1. Proljetno uzorkovanje

Tijekom proljeća, livada *C. nodosa* u uvali Ribnjak imala je najveći (slika 20) prosječni broj heterotrofnih prokariota po gramu sedimenta ( $24,80 \pm 12,87 \cdot 10^7$  stanica/g) dok su najniže vrijednosti prosjeka zabilježene u uvali Veštar ( $11,89 \pm 6,65 \cdot 10^7$  stanica/g za *Z. noltii* i  $13,53 \pm 7,78 \cdot 10^7$  stanica/g za *C. nodosa*).

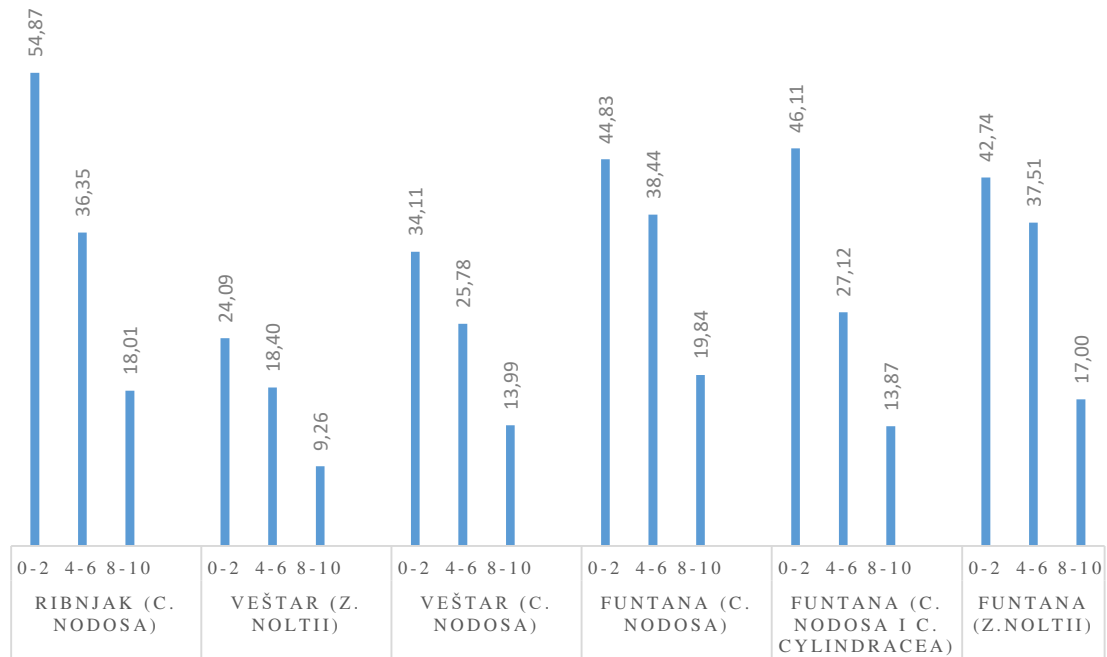


Slika 20: Brojnost heterotrofnih prokariota (stanice\*10<sup>7</sup>/g) u slojevima sedimenata tijekom proljetnog uzorkovanja.

Na lokaciji Funtana prosječne su brojnosti heterotrofnih prokariota bile niže u odnosu na lokaciju Ribnjak, s najmanjim razinama kod livade *C. nodosa* pomiješane s invazivnom algom *C. cylindracea* ( $18,84 \pm 10,16 * 10^7$  stanica/g). Najviša pojedinačna abundancija heterotrofnih prokariota u površinskom sloju sedimenta (0–2 cm) zabilježena je na livadi *C. nodosa* u uvali Ribnjak ( $38,62 * 10^7$  stanica/g), a najniža u uvali Veštar na livadi *Z. noltii* ( $18,59 * 10^7$  stanica/g). Na dubini od 4 do 6 cm najveća je koncentracija zabilježena u Funtani na livadi *C. nodosa* ( $24,20 * 10^7$  stanica/g), a najmanja u uvali Veštar na obje livade ( $11,80 * 10^7$  stanica/g kod *Z. noltii* i  $11,10 * 10^7$  stanica/g kod *C. nodosa*). U najdubljem sloju, na dubini 8–10 cm livade cvjetnice *C. nodosa* u uvali Ribnjak i u Funtani imale su najveće vrijednosti:  $13,15 * 10^7$  stanica/g za Ribnjak i  $13,69 * 10^7$  za Funtanu. Najmanje vrijednosti najdubljeg sloja zabilježene su u livadi *Z. noltii* ( $5,28 * 10^7$  stanica/g).

#### 4.5.2. Ljetno uzorkovanje

U srpnju, tijekom ljetnog uzorkovanja, prosječna je brojnost heterotrofnih prokariota bila najveća u livadi *C. nodosa* u uvali Ribnjak ( $36,41 \pm 18,43 * 10^7$  stanica/g) te se nije pretjerano razlikovala od prosječnih brojnosti izmjerenih kod livada *C. nodosa* ( $34,37 \pm 12,98 * 10^7$  stanica/g) i *Z. noltii* ( $32,42 \pm 13,61 * 10^7$  stanica/g) u Funtani (slika 21).



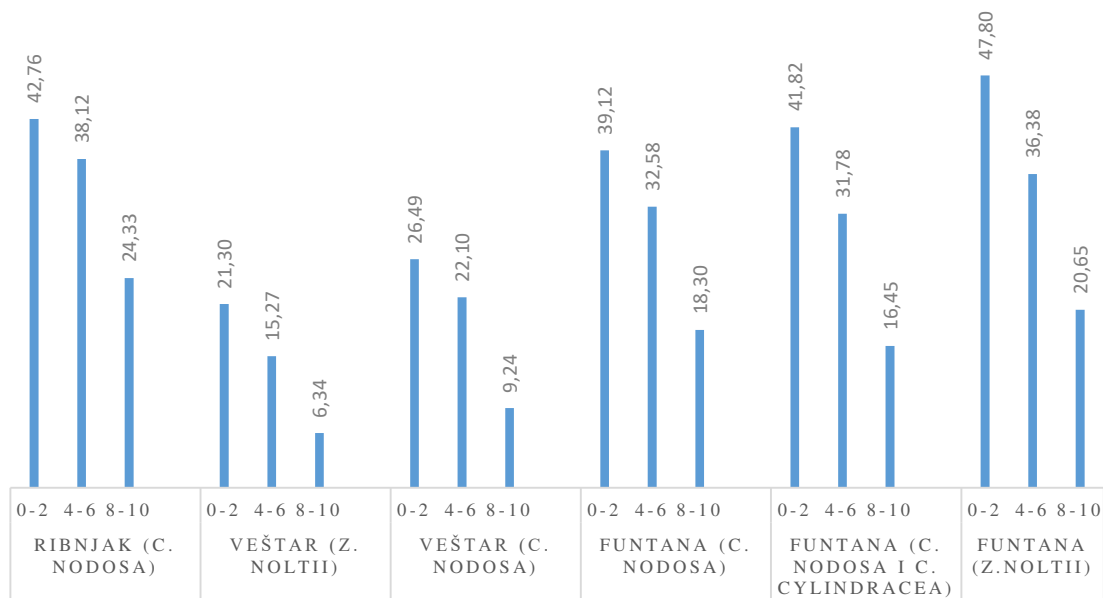
Slika 21: Brojnost heterotrofnih prokariota (stanice\*10<sup>7</sup>/g) u slojevima sedimenta tijekom ljetnog uzorkovanja.

Najniža prosječna abundancija ( $17,25 \pm 7,48 \cdot 10^7$  stanica/g) zabilježena je u Veštru na livadi cvjetnice *Z. noltii* koja je bila, kao tijekom proljeća, za oko 2 puta niža u odnosu na maksimalnu vrijednost u uvali Ribnjak. U površinskom sloju uvala Ribnjak registrirana je najviša brojnost heterotrofnih prokariota ( $54,87 \cdot 10^7$  stanica/g) koja je znatno veća u odnosu na ostale abundancije heterotrofnih prokariota u površinskom sloju. Heterotrofni prokarioti u površinskom sloju Funtane imali su sličnu abundanciju koja je varirala u rasponu od  $42,74$  do  $46,11 \cdot 10^7$  stanica/g. U površinskom sedimentu livade *Z. noltii* u Veštru, heterotrofni prokarioti su imali najniže brojnosti ( $24,09 \cdot 10^7$  stanica/g), no i kod sedimenta livade *C. nodosa* iste lokacije broj heterotrofnih prokariota je bio vidljivo niži u odnosu na ostale lokacije. U središnjem sloju na 4 do 6 cm dubine najviše su brojnosti zabilježene u Funtani i u uvali Ribnjak. Na tim su lokacijama abundancije bile vrlo slične ( $38,44 \cdot 10^7$  stanica/g kod *C. nodosa* i  $37,51 \cdot 10^7$  stanica/g kod *Z. noltii* u Funtani te  $36,35 \cdot 10^7$  stanica/g kod *C. nodosa* u uvali Ribnjak). U središnjem sloju invadirane livade u Funtani zabilježeno je smanjenje heterotrofnih prokariota za oko 30% u odnosu na ostale livade tog područja. Najniže vrijednosti na toj dubini opet su zabilježene u Veštru na livadi morske cvjetnice *Z. noltii* ( $18,40 \cdot 10^7$  stanica/g). Najdublji sloj sedimenta je imao najniže abundancije u uvali Veštar na livadi *Z. noltii* ( $9,26 \cdot 10^7$  stanica/g) dok je maksimum

registriran u Funtani na livadi *C. nodosa* ( $19,84 \cdot 10^7$  stanica/g). Najniže abundancije najdubljeg sloja u Funtani zabilježene su ispod invadirane livade te su slične vrijednosti zabilježene i u Veštru na livadi *C. nodosa*.

#### 4.5.3. Jesensko uzorkovanje

U jesen su heterotrofni prokarioti u prosjeku bili najbrojniji u sedimentima livade *C. nodosa* u uvali Ribnjak ( $35,07 \pm 9,59 \cdot 10^7$  stanica/g) i na livadi *Z. noltii* u Funtani ( $34,95 \pm 13,63 \cdot 10^7$  stanica/g) (slika 22).



Slika 22: Brojnost heterotrofnih prokariota (stanice\* $10^7$ /g) u slojevima sedimenta tijekom jesenskog uzorkovanja.

Najniže su brojnosti izmjerene u uvali Veštar kod obje livade ( $14,30 \pm 7,53 \cdot 10^7$  stanica/g kod *Z. noltii* i  $19,28 \pm 8,96 \cdot 10^7$  kod *C. nodosa*). U površinskom su sedimentu najveće brojnosti heterotrofnih prokariota izmjerene u Funtani na livadi *Z. noltii* ( $47,80 \cdot 10^7$  stanica/g). Nešto niže vrijednosti izmjerene su na ostalim livadama u uvali Ribnjak i u Funtani. Ponovno, površinski je sediment imao najniže abundancije heterotrofnih prokariota u uvali Veštar, pogotovo na livadi *Z. noltii* ( $21,30 \cdot 10^7$  stanica/g). Najveće brojnosti heterotrofnih prokariota središnjeg sloja registrirane su u uvali Ribnjak

( $38,12 \cdot 10^7$  stanica/g), no one se nisu bitno razlikovale od brojnosti u Funtani. Kao i kod površinskog sedimenta, središnji je sloj pokazao najniže brojnosti u uvali Veštar na livadi *Z. noltii* ( $15,27 \cdot 10^7$  stanica/g). U najdubljem je sloju analiziranog sedimenta uvala Ribnjak imala najviši broj heterotrofnih prokariota ( $24,33 \cdot 10^7$  stanica/g) koji je bio 15–30% niži u ostalim uzorcima u Funtani, osobito u invadiranoj livadi. Uvala Veštar je još jednom pokazala najniže brojnosti heterotrofnih prokariota u dubokom sloju, pogotovo u livadi morske cvjetnice *Z. noltii* ( $6,34 \cdot 10^7$  stanica/g).

Usporedbom podataka (slika 20, slika 21, slika 22) vidljivo je da je ljeti najveća brojnost heterotrofnih prokariota kod svih lokacija osim livade *Z. noltii* u Funtani. Nadalje, vidljiv je i veći postotak rasta broja prokariota u sedimentima nastanjenih cvjetnicom *C. nodosa* nego cvjetnicom *Z. noltii*. Općenito, postotak rasta brojnosti prokariota prati postotke rasta broja listova mjerene površine. U invadiranoj livadi najveći je postotak rasta brojnosti heterotrofnih prokariota u površinskom sedimentu i to od čak 163% u odnosu na raniju sezonu.

Što se tiče brojnosti prokariota u ovisnosti o vrsti cvjetnice koja raste na tom području, najveća je brojnost prokariota tijekom ljeta na području rasta *C. nodosa*, dok za *Z. noltii* ovisi o lokaciji. U Funtani je najveća brojnost heterotrofnih prokariota u području rasta *Z. noltii* u jesen dok je u Veštru najveća brojnost tijekom ljeta.

Na svim je lokacijama vidljiv najveći pad brojnosti heterotrofnih prokariota s dubinom sedimenta tijekom proljeća osim u uvali Ribnjak gdje je najveći pad zabilježen tijekom ljeta. Najveća razlika između brojnosti heterotrofnih prokariota površinskog i dubinskog sedimenta vidljiva je na ljeto u uvali Ribnjak ( $36,86 \cdot 10^7$  stanica/g), a najmanja tijekom proljeća u uvali Veštar u području rasta *Z. noltii* ( $13,31 \cdot 10^7$  stanica/g).



## 5. Rasprava

Cilj je ovoga rada analizirati brojnost mikrobne zajednice u sedimentima livada morskih cvjetnica te provjeriti da li se u sedimentima različitih cvjetnica razlikuju ekološki uvjeti i abundancija prokariota.

### 5.1. Uvala Ribnjak

Sav analizirani sediment uvale Ribnjak okarakteriziran je kao mulj (tablica 1) što odgovara podlozi rasta morskih cvjetnica (STEVENS i LACY, 2012). Udio karbonata je nizak (slika 13) što se razlikuje od prosječnog jadranskog sedimenta (PIKELJ i sur., 2009). Razlog velikog udjela frakcije mulja je zatvorenost same uvale te mali utjecaj valova na sediment, odnosno relativno miran taložni okoliš. Veliki udio sitno-zrnaste frakcije ukazuje na to da bi sediment mogao sadržavati i minerale glina koji na sebe u odnosu na karbonatan sediment značajnije može vezati organsku tvar. Dio nekarbonatne frakcije je vrlo vjerojatno od organske tvari, ali i od nekarbonatnih minerala. Obogaćivanje sedimenta organskom tvari može do neke mjere biti rezultat razgradnje ostataka cvjetnica (PUHR i PIKELJ, 2012). Sedimenti livada morskih cvjetnica su obično bogatiji organskom tvari zbog općenito pojačanog taloženja čestica i zadržavanja pod krošnjama cvjetnica u usporedbi sa sedimentima susjednih područja golog sedimenta (BORUM i sur., 2004). Mehanizam *in situ* razgradnje lišća posebno je važan u oligotrofnim sredinama poput Mediterana s obzirom na to da gotovo 50% degradiranih listova služi kao izvor hranjivih tvari (MATEO i ROMERO, 1997). Donosom materijala s kopna povećava se i udio nekarbonatnih minerala u sedimentu. Na sediment uvale Ribnjak nema puno antropogenog utjecaja, a zbog muljevite podloge i značajno rasprostranjene livade morskih cvjetnica, uvala baš i nije privlačna kupačima. U uvali Ribnjak izmjerene su najveće duljine listova cvjetnice *C. nodosa*, što je vjerojatno odraz okoliša bez značajnijeg antropogenog utjecaja.

### 5.2. Uvala Veštar

Sav sediment uvale Veštar okarakteriziran je kao pijesak (tablica 2 i tablica 3) s visokim udjelom karbonata (slika 13) te se može reći da predstavlja tipičan sediment istočne strane Jadrana, karakterističan po značajnom udjelu biogene karbonatne komponente (PIKELJ i

sur., 2009). Uvala je plitka i otvorena na zapad te je energija vode veća u odnosu na uvalu Ribnjak na što ukazuje i veličina zrna sedimenta. U sedimentu je visok udio karbonata zbog prirodne proizvodnje biogenog pijeska u plitkom moru, slično kao kod uvale Sakarun, samo u manjoj mjeri (GODEC, 2021). Dio morskog biogenog pijeska nalazi se kao i kod uvale Sakarun na samoj plaži. U nekarbonatnoj frakciji se, osim organske tvari, vjerojatno nalaze i nekarbonatni minerali, moguće porijeklom iz crvenice i drugih kopnenih izvora, a koji mogu biti doneseni u more uz zapadnu obalu Istre. Za daljnju karakterizaciju mineralnog sastava sedimenta potrebno je napraviti faznu analizu.

U najvećoj mjeri devastirana livada je *Z. noltii* u uvali Veštar (ROGAR, 2021) koja se nalazi u neposrednoj blizini plaže vrlo pogodnoj za kupaće koji preferiraju pjeskoviti sediment (okarakteriziran kao šljunkovito-muljeviti pijesak). Zbog velikog broja kupaća tijekom turističke sezone dolazi do učestalijeg gaženja livada ili čupanja cvjetnica sidrenjem što dovodi do prorjeđenja livade. Osim turizma, plaža je na mjestima nasipana sitnim šljunkom koji nije pogodan za rast navedenih cvjetnica. Tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci, duljina listova u Veštru je kraća nego u ostalim proučavanim područjima, što je u suprotnosti s očekivanim, odnosno, što ukazuje na značajan antropogeni utjecaj.

### 5.3. Uvala Funtana

Sediment uvale Funtana okarakteriziran je kao mulj (bliže potoku) i kao pijesak idući dalje od potoka prema zapadu. Udio karbonata je u uzorcima površinskog sedimenta iz Funtane relativno nizak te takvi podaci održavaju karakteristike povećanog terigenog donosa što objašnjava prisutnost potoka koji se ulijeva u uvalu Funtana. Kao dokaz tome, udaljavanjem od potoka povećava se udio karbonata u sedimentu (PIKELJ, 2019). Veliki udio mulja odraz je dotoka sedimenta s kopna koji se valovima rasprostire po uvali i po plaži. Sediment je prilično izmiješan što je vidljivo iz samih jezgara gdje dolazi do izmjena oksičnih i anoksičnih slojeva, a kao razlog tome može biti veliki antropogeni utjecaj na uvalu uslijed gradnje plaže i posljedično pritisak na plažu u vidu turista.

Osim invazivne alge u livadi *C. nodosa* u uvali Funtana na degradaciju i povlačenje livade utječe i nasipavanje plaže šljunkovitim materijalom. Na livadi *Z. noltii* ne primjećuje se velika degradacija, jer je područje njenog rasta udaljeno od nasipane plaže.

Razlog zašto se invazivna alga nije proširila na područje rasta *Z. noltii* može biti i smanjeni salinitet u području njenog rasta koji algi ne odgovara.

Od tri lokacije na kojima je obavljeno uzorkovanje cvjetnica, livade su vidno različite. Na različitost utječu razlike u geomorfološkoj strukturi svake lokacije, tipu sedimenta i intenzitetu i topologiji antropogenog utjecaja. U uvali Ribnjak nalazimo livadu *C. nodosa*, u Veštru nalazimo dvije zasebne livade, jednu *C. nodosa* i jednu *Z. noltii*. U Funtani pronalazimo dvije zasebne livade, *C. nodosa* i *Z. noltii* od kojih je jedna livada *C. nodosa* invadirana algom *Caulerpa cylindracea*. Promatranjem sve tri lokacije dobiveni se podaci mogu usporediti u svrhu praćenja stanja livada morskih cvjetnica. U uvali Ribnjak livada *C. nodosa* ima u skoro svim sezonama najveći broj listova po kvadratu (izuzetak svibanj) u odnosu na ostale lokacije s *C. nodosa*. S druge strane, livada *Z. noltii* u Funtani ima puno veći prosječni broj listova po kvadratu u odnosu na livadu u Veštru. Takvo stanje se može pripisati značajnijem utjecaju kupača u uvali Veštar. Naime, u uvali Funtana uz plažu Perila podloga muljevitog morskog dna ne zadovoljava u potpunosti zahtjeve kupača, pa je njihov broj u moru tijekom srpnja bio značajnije manji u odnosu na broj kupača u uvali Veštar. Osim najveće brojnosti listova, cvjetnice u uvali Ribnjak imaju i najduže izmjerene listove, dok su najveći izmjereni listovi *Z. noltii* uočeni u uvali Funtana. U invadiranoj livadi uvale Funtana posljednjih je nekoliko godina zabilježena degradacija livade zbog prisutnosti alge *C. cylindracea* (NAJDEK i sur., 2020b).

Osim biotičkih i abiotičkih čimbenika koji utječu na livade morskih cvjetnica, na njih utječu i antropogeni čimbenici. Opisane livade nalaze se na samim plažama ili u njihovoj blizini stoga velik negativan učinak ima turistička sezona.

Mikrobne aktivnosti u sedimentima morskih cvjetnica veće su od onih koje se nalaze u obližnjim sedimentima bez vegetacije (KÜSEL i sur., 2006). Brojnost heterotrofnih prokariota u površinskom sedimentu raste sukladno s povećanjem broja listova u analiziranom kvadratu. Na livadi s najvećim povećanjem broja listova od 324% (livada *C. nodosa* u Veštru) brojnost prokariota u površinskom sedimentu također je bila najviša (53%). Sediment u toj livadi okarakteriziran je kao pijesak, a sadržaj vode i veličina zrna glavni su čimbenici koji objašnjavaju distribuciju prokariota. Raspodjela veličine zrna i volumen porne vode povezani su parametri koji utječu na mehanički i kemijski stres koji prolaze stanice. Voda je neophodna za funkcioniranje stanica, pogoduje

razmjeni katabolita i metabolita te razmjeni elektrona i primarno je otapalo za biološke reakcije. Smanjenje količine bakterija u prvih 15 cm sedimenta, koje je vidljivo i u prikazanim uzorcima, ukazuje na promjenu metabolizma prokariotske zajednice (MOLARI i sur., 2012).

Tijekom ljetnog uzorkovanja, heterotrofni su prokarioti postigli najvišu brojnost na svim lokacijama. Tijekom ljetnih mjeseci postoji intenzivna razgradnja organske tvari koja je praćena velikim porastom koncentracije sumporovodika. Proces degradacije uključuje i rizome i korijenje što upućuje na gubitak podzemne biomase. Takav se gubitak obične događa u prvoj fazi propadanja biljaka. Značajno smanjenje broja prokariota poklapa se s razgradnjom organske tvari i proizvodnjom sumporovodika koje se događa krajem ljeta (NAJDEK i sur., 2020a).

Nedaleko uvale Veštar, u uvali Valdibora izmjerene su abundancije prokariota koje su iznosile između  $0,7 \cdot 10^8$  stanica/g i  $2,5 \cdot 10^8$  stanica/g mokrog sedimenta u površinskom sloju (PALIAGA i sur., 2019). Te su vrijednosti za jedan red veličine veće nego u svim uzorcima obrađenima u ovome radu, a razlog tome je vrsta sedimenta kao i blizina tvornice koja u uvalu ispušta otpadnu vodu. Jedan od čimbenika koji utječe na bakterijsku zajednicu je i veličina zrna. Povećanjem veličine zrna smanjuje se raznolikost zajednice što je vidljivo usporedivši broj heterotrofnih prokariota u uvali Veštar (sediment okarakteriziran kao pijesak) s ostalim uvalama u kojima je sediment okarakteriziran kao mulj. Smanjenjem veličine zrna smanjuje se i propusnost sedimenta, a samim time i transport vode kroz pore u dublje slojeve sedimenta (PALIAGA i sur., 2019). Energija dostupna za održavanje i rast stanica brzo se smanjuje s dubinom i starošću sedimenta, pa se kao posljedica toga brojnost mikroba i metaboličke stope specifične za stanice smanjuje već u prvih nekoliko metara sedimenta i to za nekoliko redova veličine. U prvih 10 cm sedimenta zaljeva Aarhus (Danska) broj prokariota bio je u veličini  $10^9$  stanica/g mokrog sedimenta, a s dubinom se manjio na  $10^7$  stanica/g mokrog sedimenta (STARNAWSKI i sur., 2017). U jezgrama ovoga rada vidljiv je pad brojnosti unutar jednog reda veličine za prvih 10 cm jezgre.

Tijekom ljeta 2017. i 2018. godine u uvali Funtana izmjerena je abundancija prokariota u površinskom sloju sedimenta te je iznosila od  $15,8 \pm 3,3$  do  $33,4 \pm 2,7 \cdot 10^7$  stanica/g mokre mase za invadiranu livadu, od  $16,8 \pm 1,1$  do  $29,9 \pm 4,5 \cdot 10^7$  stanica/g za livadu *C. nodosa* te za livadu bez vegetacije između  $12,9 \pm 1,6$  i  $18,8 \pm 1,9 \cdot 10^7$  stanica/g (NAJDEK i sur., 2022b). Uspoređivanjem ovih podataka s podacima dobivenim u ovome

radu vidljivo je da je u uvali Funtana broj heterotrofnih prokariota u invadiranoj livadi u skladu s prijašnjim mjerenima, dok su u livadi *C. nodosa* izmjereni podaci veći nego prethodnih godina.

## 6. Zaključak

Karakteristike sedimenta ovise o energiji taložnog okoliša (ovdje o otvorenosti lokacije na valove), lokalnom unosu sedimenta s kopna, ali i o antropogenom utjecaju. Uvala Ribnjak zatvorenog je tipa bez velikog utjecaja valova te se u njoj taloži pretežito mulj koji nije privlačan turistima zbog čega sediment nije antropoturbiran. Iz istog razloga veća je vjerojatnost za bolje očuvanje livada morskih cvjetnica. Uvale Veštar i Funtana otvorenijeg su tipa u odnosu na Ribnjak. Veštar je antropogeno vrlo opterećen te je sediment značajno antropoturbiran. Viša energija valova u Veštru, te manji donos materijala s kopna u odnosu na pr. uvalu Funtana i Ribnjak rezultirala je taloženjem krupnijeg i značajno karbonatnog sedimenta. U uvali Funtana je s druge strane velika količina sitno-zrnaste frakcije rezultat donosa mulja iz obližnjeg potoka koji se rasprostire po uvali i djelovanjem valova nanosi na šljunčanu plažu. Udio karbonata u površinskom sedimentu raste s povećanjem čestica sedimenta, što ukazuje i na porijeklo materijala (pr. veći udio karbonatnih fragmenata).

Promjena u količini biljnog materijala ovisi o razlici u geomorfološkoj strukturi svake lokacije, tipu sedimenta i intenzitetu i vrsti antropogenog utjecaja. U uvali Ribnjak, koja ima najnižu energiju valova i neporemećeni sitno-zrnasti sediment, izmjerene su maksimalne duljine listova *C. nodosa* kao i najveći broj listova po proučavanom kvadratu dok se najveći broj listova *Z. noltii* nalazi na livadi u Funtani. Općenito, zabilježen je bolji rast cvjetnica *C. nodosa* dok *Z. noltii* ima veći broj listova. U najvećoj mjeri devastirana livada je livada *Z. noltii* u Veštru, vjerojatno zbog velikog antropogenog utjecaja koji se očituje u vidu kraćih listova tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci u odnosu na druge lokacije. Osim invazivne alge u livadi *C. nodosa* u Funtani na degradaciju i povlačenje livade utječe i nasipani šljunkoviti materijal na plažu, dok na livadu *Z. noltii* ne utječe toliko zbog udaljenosti livade od plaže. Alga *Caulerpa cylindracea* još nije invadirala livadu *Z. noltii* jer joj ne odgovara smanjeni salinitet.

Abundancija heterotrofnih prokariota u površinskom sedimentu raste sukladno s povećanjem broja listova. Najveće vrijednosti povećanja brojnosti prokariota zabilježene su u uvali Veštar gdje je izbrojan i najveći broj listova. Također, sadržaj vode i veličina zrna glavni su čimbenici koji objašnjavaju distribuciju prokariota, a u uvali Veštar je sediment najkrupniji u odnosu na druge lokacije obrađene u ovome radu. Tijekom ljetnih mjeseci zabilježene su najviše brojnosti koje odgovaraju vremenu intenzivne razgradnje

organske tvari dok je krajem ljeta zabilježen pad brojnosti. U uvali Funtana na livadi *C. nodosa* zabilježen je veći broj heterotrofnih prokariota u odnosu na prijašnje godine dok je na ostalim livadama u Funtani brojnost u skladu s prethodnim rezultatima.

## 7. Literatura

Bianchi, C.O.N., Buia, M.C., Cinelli, F., Gambi, M.C., Giaccone, G., Guidetti, P., Morri, C., Relini, G. (2008): Seagrass meadows. Udine, 159 str.

Blott, S. J. , Pye, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1237–1248.

Borum, J., Duarte, C.M., Krause-Jansen, D., Greve, T.M. (2004): European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS project, 88 str.

Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., Wright, J. (1999): Waves, tides and shallow-water processes, Second edition. Oxford: Butterworth-Heinmann, in association with The Open University, 223 str.

Den Hartog, C. (1970): The sea-grasses of the world. North-Holland publishing company 59:1

Effrosynidis, D., Arampatzis, A., Sylaios, G. (2018): Seagrass detection in the mediterranean: A supervised learning approach. *Ecological Informatics* 48, 158–170.

Effrosynidis, D., Arampatzis, A., Sylaios, G., (2019): Seagrass and hydrographic data for the Mediterranean Sea. *Dana in Brief* 25, 104286.

Epstein, S. S., Rossel, J. (1995): Enumeration of sandy sediment bacteria: search for optimal protocol. *Marine Ecology Progress Series*, 117: 289–298.

Folk, R. L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62: 344–359.

Folk, R. L., Ward, W. C. (1957): Brazos River bar; a study in the significance of grain size parameters. *J. sedim. Petrol.*, 27 (1): 3–26.

Godec, P. (2021): Sedimentološke i geomorfološke posljedice uklanjanja naslaga morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na primjeru plaže Sakarun. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

Hemminga, M.A., Duarte, C. (2000): Seagrass Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 298 str.



- Koch, E.W., Sanford, L.P., Chen, S., Shafer, J.D., McKee Smith, J. (2006): Waves in seagrass system: review and technical recommendations. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC. 92 str.
- Küsel, K., Trinkwalter, T., Drake, H. L., Devereux, R. (2006): Comparative evaluation of anaerobic bacterial communities associated with roots of submerged macrophytes growing in marine or brackish water sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 337(1), 49–58.
- Luhar, M., Infantes, E., Nepf, H. (2017): Seagrass blade motion under waves and its impact on wave decay. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122(5), 3736–3752.
- Mateo, M. A., Romero, J. (1997): Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: elements for an ecosystem carbon and nutrient budget. *Marine Ecology Progress Series* 151, 43–53.
- Micromeritics (2002): SediGraph 5100 Particle size analysis system operator` manual, Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, Georgia.
- Molari, M., Giovannelli, D., d`Errico, G., Manini, E. (2012): Factors influencing prokaryotic community structure composition in sub-surface coastal sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 97, 141–148.
- Najdek, M., Korlević, M., Paliaga, P., Markovski, M., Ivančić, I., Iveša, Lj., Felja, I., Herndl, G.J. (2020a): Dynamics of environmental conditions during the decline of a *Cymodocea nodosa* meadows. *Biogeosciences* 17, 3299–3315.
- Najdek, M., Korlević, M., Paliaga, P., Markovski, M., Ivančić, I., Iveša, Lj., Felja, I., Herndl, G.J. (2020b): Effects of the Invasion of *Caulerpa cylindracea* in a *Cymodocea nodosa* Meadow in the Northern Adriatic Sea. *Frontiers in Marine Science* 7, 602055.
- Ondiviela, B., Losada, I.J., Lara, J.L., Maza, M., Galvan, C., Bouma, T.J., Belzen, J. (2014): The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. *Coastal Engineering* 87, 158–168.
- Orlando-Bonaca, M., France, J., Mavrič, B., Grego, M., Lipej, L., Flander-Putrlje, L., Šiško, M., Lalace, A. (2015): A new index (MediSkew) for the assessment of the *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadow`s status. *Marine Environmental Research* 110, 132–141.

- Paliaga, P., Felja, I., Budiša, A., Ivančić, I. (2019): The Impact of a Fish Cannery Wastewater Discharge on the Bacterial Community Structure and Sanitary Conditions of Marine Coastal Sediments. *Water* 11(12), 2566.
- Pikelj, K. (2019): Stručna i znanstvena analiza za potrebe izrade Stručne podloge analize zahvata odmuljivanja te granulometrijskog sastava nanosa za potrebe izrade elaborata zaštite okoliša za plažu „Perila“ u Općini Funtana – interni izvještaj.
- Pikelj, K. (2010): Sastav i porijeklo sedimenata dna istočne strane Jadranskog mora, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Pikelj, K., Žigić, V., Juračić, M. (2009): Origin and distribution of surface sediment in the Grgur Channel, Adriatic Sea, Croatia. *Geologia Croatica* 62/2: 95–105.
- Polšak, A. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Pula L33–112. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Polšak, A. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Pula L33–112. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 46 str.
- Polšak, A., Šikić, D. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Rovinj L33–100. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Polšak, A., Šikić, D. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Rovinj L33–100. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 47 str.
- Porter, K. G., Feig, Y. S. (1980): The Use of DAPI for Identifying and Counting Aquatic Microflora. *Limnology Oceanography* 25, 943–948.
- Puhr, K., Pikelj, K. (2012): The effect of *in situ* shading on a *Posidonia oceanica* meadow situated within a fish farm induced moderately nutrient enriched environment. *Marine Pollution Bulletin* 64/8, 1537–1548.
- Rogar, A. (2021): Stanje livada cvjetnica u 2020. godini na području zapadne Istre. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, 33 str.
- Ruitton, S., Verlaque, M., Boudouresque, C.F. (2005): Seasonal changes of the introduced *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) at the northwest limit of its Mediterranean range. *Aquatic Botany* 82, 55–70.

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., Waycott, M. (2007): Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350, 3–20.

Starnawski, P., Bataillon, T., Ettema, T. J. G., Jochum, L. M., Schreiber, L., Chen, X., Lever, M. A., Polz, M. F., Jørgensen, B. B., Schramm, A., Kjeldsen, K. U. (2017): Microbial community assembly and evolution in subseafloor sediment. *PNAS* 114(11), 2940–2945.

Stevens, A.W., Lacy, J.R. (2012): The Influence of Wave Energy and Sediment Transport on Seagrass Distribution. *Estuaries and Coastal* 35, 92–108.

Velić, I., Tišljarić, J., Matičec, D., Vlahović, I. (1995): Opći prikaz geološke građe Istre. Vodič ekscurzija, 1. hrvatski geološki kongres. 5–30.

Verlaque, M., Dueand, C., Huisman, M.J., Boudouresque, C.F., Le Parco, Y. (2003): On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *Eur. J. Phycol.* 38, 325–339.