

Pojava cvjetanja morske cvjetnice posidonije (*Posidonia oceanica*) u akvatoriju otoka Silbe

Bilandžić, Rea

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:903683>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu

Održivo upravljanje vodenim ekosustavima

Rea Bilandžić

**Pojava cvjetanja morske cvjetnice posidonije
(*Posidonia oceanica*) u akvatoriju otoka Silbe**

Diplomski rad

Zadar, 2023.

Sveučilište u Zadru
Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu
Održivo upravljanje vodenim ekosustavima

Pojava cvjetanja morske cvjetnice posidonije (*Posidonia oceanica*) u akvatoriju otoka Silbe

Diplomski rad

Student/ica:
Rea Bilandžić

Mentor/ica:
Doc. dr.sc. Ivana Zubak Čižmek
Komentor/ica:
Doc. dr.sc. Melita Mocos

Zadar, 2023.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Rea Bilandžić**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Pojava cvjetanja morske cvjetnice posidonije (*Posidonia oceanica*) u akvatoriju otoka Silbe** rezultat mojeg vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojeg rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojeg rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 26. rujna 2023.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. KLASIFIKACIJA I EVOLUCIJA	1
1.2. RASPROSTRANJENOST	2
1.3. ULOGA I ZNAČAJ POSIDONIJE	4
1.4. MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE	7
1.5. POJAVA CVJETANJA POSIDONIJE	10
1.6. OSNOVNA OBILJEŽJA NASELJA POSIDONIJE	12
2. PREGLED LITERATURE	15
3. CILJEVI I SVRHA RADA	24
4. MATERIJALI I METODE	25
4.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	25
4.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA I UZORAKA	26
4.3. ANALIZA PODATAKA I UZORAKA	27
4.3.1. Biometrija listova	27
4.3.2. Biomasa	28
4.3.3. Primarna proizvodnja	29
4.3.4. Osnovna obilježja cvjetanja	29
5. REZULTATI	30
5.1. GUSTOĆA NASELJA	30
5.2. BIOMETRIJA	30
5.3. BIOMASA I PRIMARNA PROIZVODNJA	33
5.4. CVJETANJE POSIDONIJE	34
5.5. TEMPERATURA	35
6. RASPRAVA	38
7. ZAKLJUČAK	41
8. LITERATURA	43
POPIS ILUSTRACIJA	46
POPIS TABLICA	47

ZAHVALA

Zahvaljujem svima koji su na bilo koji način bili dio mog studiranja.

Hvala cijeloj mojoj obitelji i prijateljima na podršci, razgovoru, svakom druženju i smijehu. Hvala i svim kolegama koji su išli samnom ovim putem te svim profesorima koji su mi pružili smjer i znanje.

Hvala Hrvoju Čižmeku iz udruge Društvo istraživača mora – 20000 milja što mi je omogućio i pomogao u provedbi terenskog istraživanja.

Hvala mojoj dugogodišnjoj mentorici dr.sc. Ivani Zubak Čižmek koja me pratila većim putem mog studiranja. Neizmerno sam Vam zahvalna za sve riječi podrške, savjete i smjernice. Hvala Vam za svaku priliku i informaciju koju ste mi pružili, za pristupačnost, i za strpljenje.

Najviše od svega hvala mojoj majci Jasni koja je moj najveći oslonac. Hvala ti što si uvijek bila ovdje (i slušala satima o mojem građivu, ispitima i seminarima ☺). Hvala ti na strpljenju. Hvala ti za svaku kavu i za svaki skuhanu ručak. Hvala ti za svaku pomoć, podršku i životni savjet. Vo tebe!

Pojava cvjetanja morske cvjetnice posidonije (*Posidonia oceanica*) u akvatoriju otoka Silbe

Morska cvjetnica *Posidonia oceanica* ili posidonija je endemska vrsta Sredozemnog mora koja tvori prostrana naselja i pruža brojne usluge ekosustava. Posidonija je kritosjemenjača (*Angiospermae*) što znači da je sposobna cvjetati poput drugih kopnenih biljaka. Međutim, posidonija rijetko cvjeta i primarno se razmnožava vegetativno. Smatra se da je pojava cvjetanja posidonije najčešće uzrokovana okolišnim stresom (poput visoke temperature, smanjenja svjetlosti i onečišćenja) radi kojeg organizam nastoji povećati genetičku raznolikost kako bi osigurao otpornost tj. mogućnost preživljavanja. Masovno cvjetanje, odnosno cvjetanje na prostoru cijelog Sredozemnog mora, zabilježeno je 1971., 1982., 1993. i 2003. godine, što sugerira da se ciklički događa svakih 10–11 godina.

U studenom 2021. godine zabilježeno je cvjetanje posidonije u akvatoriju otoka Silbe. Naselje je cvjetalo stopom od $7,7 \pm 0,625$ % izdanaka na 4 m dubine i $5,96 \pm 1,46$ % izdanaka na 10 m dubine što je u rasponu uobičajenih vrijednosti stope cvjetanja. Utvrđena je značajna razlika u intenzitetu cvjetanja na 4 m dubine ($67,5 \pm 6,17$ cvatova po m²) i na 10 m dubine ($28,75 \pm 5,03$ cvatova po m²). Stopa i intenzitet cvjetanja povećavali su se s povećanjem temperature. Utvrđen je nizak reproduktivni uspjeh na 4 m dubine ($3,25 \pm 2,18$ %), dok na 10 m dubine niti jedan cvat nije proizveo plod (reproduktivni uspjeh 0 %). Niska uspješnost cvjetanja bi mogla biti posljedica unutrašnjih čimbenika koji su doveli do neuspješnog stvaranja plodova.

Ključne riječi: *Posidonia oceanica*, cvjetanje, temperatura, svjetlost

Occurrence of marine phanerogam *Posidonia* (*Posidonia oceanica*) flowering in the waters of the Silba island

Seagrass *Posidonia oceanica*, or *Posidonia*, is an endemic species of the Mediterranean Sea that forms vast meadows and provides numerous ecological services. *Posidonia* is an Angiospermae, indicating its capacity to undergo flowering, similar to other terrestrial plant species. Nevertheless, the flowering of *Posidonia* is infrequent, with its primary mode of reproduction being vegetative. It is believed that the occurrence of *Posidonia* blooms is most often caused by environmental stress (such as high temperatures, limited light availability, and pollution). These stressors stimulate the organism to enhance genetic variety to increase resilience. Mass flowering events in the Mediterranean Sea were recorded in 1971, 1982, 1993, and 2003, indicating a recurring pattern of 10–11 years.

In November 2021, *Posidonia* flowering was recorded in the waters of the island of Silba. The meadow flowering frequency was $7,7 \pm 0,625$ % shoots at 4 m depth and $5,96 \pm 1,46$ % shoots at 10 m depth. These results fall within the expected range of typical flowering frequencies. A notable disparity was seen in the flowering intensity between the depths of 4 m ($67,5 \pm 6,17$ inflorescences per m²) and 10 m ($28,75 \pm 5,03$ inflorescences per m²). The flowering frequency and intensity increased with increasing temperature. Low reproductive success was found at 4 m depth ($3,25 \pm 2,18$ %), while at 10 m depth, not a single inflorescence produced fruit (reproductive success 0 %). The occurrence of reduced flowering success may be attributed to internal variables that have contributed to fruit abortion.

Keywords: *Posidonia oceanica*, flowering, temperature, light

1. UVOD

1.1. KLASIFIKACIJA I EVOLUCIJA

Morska cvjetnica posidonija (*Posidonia oceanica*) spada u skupinu biljaka – embriofita, a u potpunosti je prilagođena na život u morskom okolišu. Često ju se pogrešno naziva morskom travom, međutim ona je kritosjemenjača – Angiospermae što znači da posjeduje sjemene zametke u plodnici i sposobna je cvjetati poput drugih kopnenih biljaka. Niže se klasificira u red Allismatidae, rizomatske biljke jednosupnice (Monocotyledonae) (Green i Short 2003., den Hartog i Kuo 2006.) te porodicu Posidoniaceae koja sadrži samo rod *Posidonia* (Tablica 1.). U rod *Posidonia* pripada devet vrsta – osam ih se nalazi u vodama Australije, dok je *P. oceanica* endemična vrsta Sredozemnog mora (Cambridge i Kuo, 1979.; Kuo i Cambridge, 1984.).

Tablica 1. Klasifikacija morske cvjetnice posidonije (*Posidonia oceanica*)

CARSTVO	PLANTAE (BILJKE)
PODCARSTVO	<i>Viridiplantae</i> (zelene biljke)
INFRACARSTVO	<i>Streptophyta</i>
SUPERDIVIZIJA	<i>Embryophyta</i> (kopnene biljke)
DIVIZIJA	<i>Tracheophyta</i> (vaskularne biljke)
ODJELJAK	<i>Spermatophyta/phanerogam</i> (sjemenjače)
SKUPINA	<i>Magnoliophyta/Angiospermae</i> (kritosjemenjače)
RAZRED	<i>Liliopsida</i> (monokotiledone biljke/jednosupnice)
RED	<i>Alismatales</i> (žabočunolike)
PORODICA	<i>Posidoniaceae</i>
ROD	<i>Posidonia</i>
VRSTA	<i>Posidonia oceanica</i>

(Izvor: Larkum i sur., 2006.)

Prije ~475 milijuna godina u Ordoviciju, davni preci morske cvjetnice posidonije napustili su morski okoliš te tada započinje razvoj kopnenih biljaka. Prvo su se razvile mahovine pa paprati i na kraju cvjetajuće biljke (kritosjemenjače). Evolucija posidonije započela je kada su neke od kopnenih kritosjemenjača razvile prilagodbe na vodeni okoliš, prije otprilike 120–100 milijuna godina tijekom Krede (Boudouresque i Meinesz, 1982.; Wellman i sur., 2003.).

Kako bi opstala u morskom okolišu posidonija je morala proći kroz brojne fiziološke i morfološke promjene, kao što je razvoj mehanizama podvodnog oprašivanja te sposobnost podnošenja visokog saliniteta i djelovanja valova. Uspješno se prilagodila na život u morskom okolišu, a istovremeno je zadržala prilagodbe stečene na kopnu poput cvjetova i korijenja.

1.2. RASPROSTRANJENOST

P. oceanica je najvažnija endemska vrsta morske cvjetnice Sredozemnog mora i može tvoriti naselja koja se protežu od površine do 40–45 m dubine u najprozirnijim vodama (Telesca i sur., 2015.). Na sjevernom dijelu hrvatske obale donji rub rasprostiranja posidonije zabilježen je na 24 m dubine, a na južnom dijelu na 36 m dubine (Zubak i sur., 2020.).

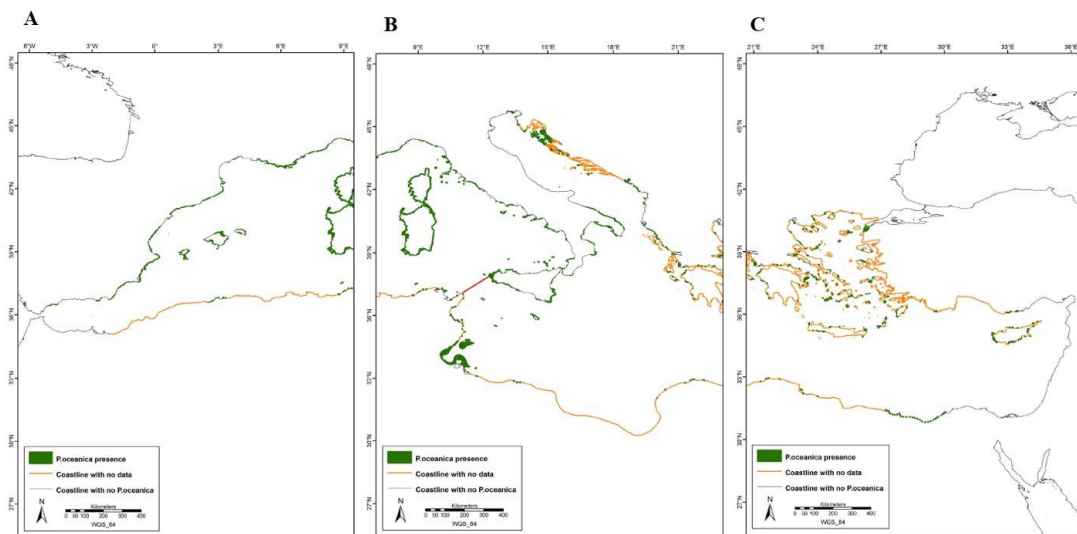
Do danas ne postoji detaljna globalna karta rasprostranjenosti posidonije. Kartiranje i praćenje promjena rasprostranjenosti posidonije može biti izazovno iz nekoliko razloga. Provođenje istraživanja i kartiranja u podvodnom okolišu može biti tehnički zahtjevno i skupo. Za prikupljanje podataka često su potrebni ronionci ili vozila na daljinsko upravljanje (ROV). Kartiranje posidonije se također provodi daljinskim istraživanjima, odnosno upotrebom tehnologija poput satelita i dronova, koji imaju različitu preciznost, a kartiranje je često ograničeno dubinom (Poursanidis i sur., 2018.).

Telesca i suradnici (2015.) objedinili su podatke o rasprostranjenosti morske cvjetnice *P. oceanica* (Slika 1.). Utvrđena je prisutnost naselja duž 11.907 km obalne linije (od ukupne duljine obalne linije Sredozemnog mora koja iznosi 46.000 km). Duž 12.622 km obalne linije naselja nisu bila prisutna, a za 21.471 km utvrđen je nedostatak podataka (što čini čak 46,68 % ukupne obalne linije). Većinskim dijelom nedostatak podataka o rasprostranjenosti posidonije zabilježen je u istočnom dijelu Sredozemnog bazena. Ukupna površina naselja posidonije iznosila je 12.247 km².

Traganos i suradnici (2022.) upotpunili su podatke o rasprostranjenosti u nekoliko zemalja (Grčkoj, Libiji, Hrvatskoj, Alžiru, Bosni i Hercegovini). Autori su primjenom računalstva u oblaku (engl. “*Cloud computing*”), otvorenih satelitskih podataka (Sentinel–2) i

strojnog učenja (engl. “*Machine learning*”) utvrdili rasprostranjenost posidonije do 25 m dubine u 22 zemlje. Ukupna površina naselja posidonije bila je značajno veća od površine utvrđene u istraživanju Telesca i sur., (2015.), a iznosila je 19.020 km².

Na zapadu posidonija nestaje neposredno prije Gibraltarskog tjesnaca. Na istoku je nema na egipatskoj obali (istočno od delte Nila), Palestini, Izraelu i Libanonu. Ne prodire ni u Mramorno ni u Crno more, a rijetka je ili je nema na krajnjem sjeveru Jadrana (Boudouresque i sur., 2012.; Telesca i sur., 2015.).

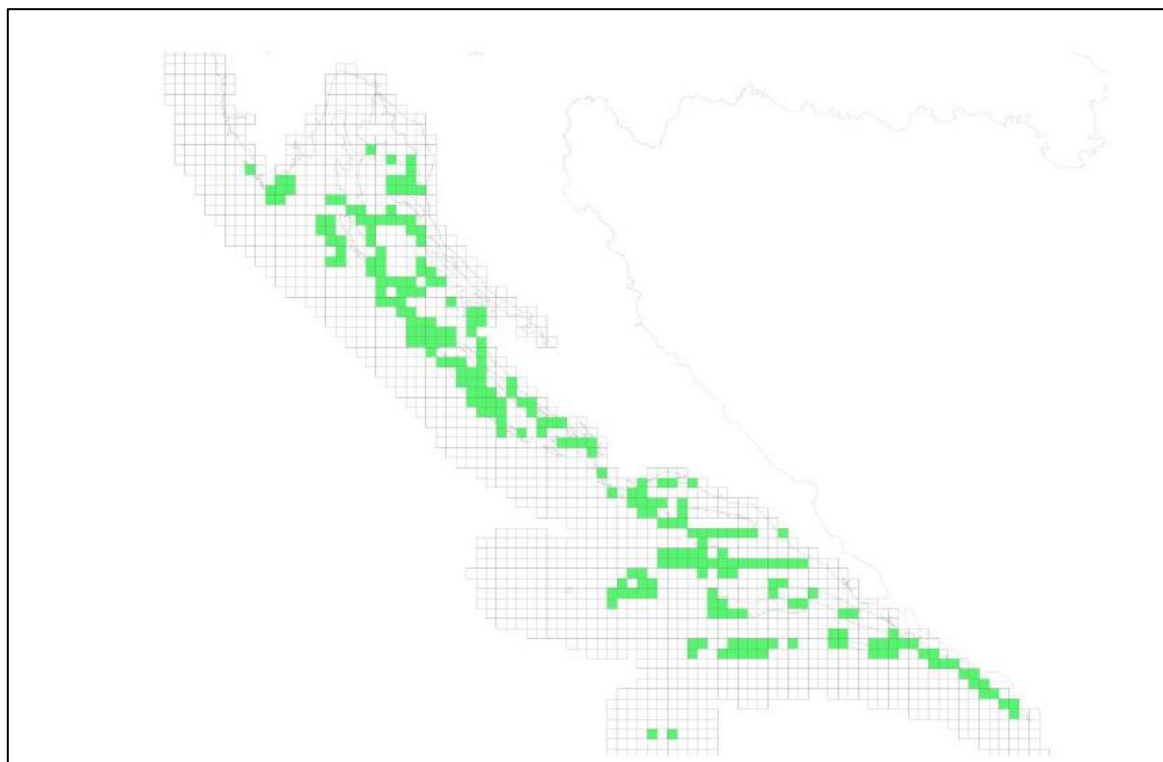


Slika 1. Rasprostranjenost morske cvjetnice *Posidonia oceanica*. Zelena boja označuje prisutnost posidonije, siva da posidonija nije prisutna i narančasta nedostatak podataka. A) zapadno Sredozemno more; B) središnji dio Sredozemnog mora; C) istočno Sredozemno more (Telesca i sur., 2015.)

Naselja morske cvjetnice *P. oceanica* česta su uz hrvatsko primorje (Bakran-Petricioli, 2007.; 2011.). Općenito su naselja bolje razvijena u srednjem i južnom Jadranu (Gamulin-Brida, 1967.) međutim zabilježena su na nekoliko područja na sjeveru (Benacchio, 1938.; Zavodnik, 1983.; Zavodnik i sur., 2005.). Naselja posidonije slabo su istražena u Jadranskom moru, a točni podaci o njihovoj rasprostranjenosti i statusu su loši (Kružić, 2008.).

Na Slici 2. prikazana je karta rasprostranjenosti posidonije u Hrvatskoj koja se temelji uglavnom na primjeni prostornog modeliranja (Antonić i sur., 2005.; Bakran–Petricioli i sur., 2006.) međutim, nalazi modeliranja prostorne distribucije stanišnog tipa nisu u potpunosti potkrijepljeni naknadnim *in situ* podacima (Zavodnik i sur., 2005.) te se smatraju preliminarnim (Bakran-Petricioli, 2007.). Daljnja istraživanja su potrebna kako bi se izradila

preciznija karta rasprostranjenosti posidonije na hrvatskom dijelu Jadranskog mora. U tijeku je proces kartiranja svih morskih staništa RH pri čemu će se izraditi i detaljna karta rasprostranjenosti naselja morske cvjetnice posidonije (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2022.).



Slika 2. Rasprostranjenost vrste *Posidonia oceanica* u Hrvatskoj (Guala i sur., 2014.)

1.3. ULOGA I ZNAČAJ POSIDONIJE

Morska cvjetnica *P. oceanica* je endem Sredozemnog mora (den Hartog, 1970.). Tvori prostrana naselja koja su temelj bogatstva obalnih voda Sredozemnog mora i imaju vitalnu ulogu u održavanju ravnoteže obalnih voda i njihovih popratnih gospodarskih aktivnosti. Uloga posidonije je toliko opsežna i značajna da ju se često naziva „ključnom vrstom“ i „inženjerom ekosustava“ (Boudouresque i sur., 2012.).

Prostrana naselja posidonije koriste brojne vrste kao stanište, hranilište i mrjestilište. U naseljima posidonije povremeno ili trajno boravi čak ¼ vrsta (flore i faune) Sredozemnog mora, što je impresivno kada se uzme u obzir da prekrivaju manje od 1 % morskog dna te poput koraljnih grebena i amazonske šume ova podvodna naselja predstavljaju žarište bioraznolikosti (Boudouresque i sur., 2012.). Brojne vrste kojima posidonija omogućuje zaklon, sigurno mjesto za mrijest i hranu su vrste od komercijalnog interesa (rakovi, glavonošci, ribe) (Jimenez

i sur., 1996.; Francour, 1997.; Romero, 1999.; Le Direach i Francour, 2001.) stoga je prisutnost posidonije od velikog gospodarskog značaja za obalne zemlje Sredozemlja. Naselja posidonije predstavljaju glavni element za oksigenaciju vode, a 1 m² naselja na dubini od 10 metara može proizvesti i do 14 litara kisika na dan (Bay, 1978.) te ih se opravdano, između ostalog, naziva i „plućima mora“ (Boudouresque i sur., 2012.).

P. oceanica proizvodi značajne količine biomase. Mali dio biomase (manje od 10%) izravno konzumiraju biljojedi, primjerice riba *Sarpa salpa*, morske kornjače i morski ježinac *Paracentrotus lividus*. Najveći dio proizvodnje se pohranjuje u pleter rizoma („matte“), degradira (pomoću organizama koji se hrane detritusom) u naseljima ili biva izvezen drugim ekosustavima kao odumrlo lišće (Pergent i sur., 1994.). Konzumacija ove proizvodnje od strane organizama koji se hrane detritusom (mikroorganizmi, puževi, rakovi i bodljikaši) glavni je način na koji se primarna proizvodnja listova prenosi na više trofičke razine (Chessa i sur., 1983.; Boudouresque i sur., 1994.). Organizmi koji se hrane detritusom asimiliraju proizvodnju posidonije na više trofičke sustave tako da bivaju pojedeni i integrirani u hranidbenu mrežu. Oko 40 % proizvodnje posidonije izvozi se u obliku odumrlih listova u dublja područja (s malo ili nimalo svjetla) gdje predstavlja značajan izvor hrane dubokomorskim organizmima (na dubinama većim od 50–100 m) (Boudouresque i sur., 2012.).

Značajna biljna biomasa naselja posidonije djeluje kao svojevrsna barijera koja usporava i učinkovito apsorbira hidrodinamičnost na morskom dnu. Hidrodinamičnost je smanjena za 10 do 75% pod pokrovom lišća (Jeudy de Grissac, 1984.; Gambi i sur., 1989.; Gacia i sur., 1999.), što smanjuje ponovnu suspenziju sedimenta tijekom oluja (Gacia i sur., 1999.; Terrados i Duarte, 2000.; Gacia i Duarte, 2001.; Duarte, 2004.). Sprječavanjem ponovnog suspendiranja sedimenta pomaže u održavanju prozirnosti vode. Hidrodinamičnost je također smanjena iznad naselja, u vodenom stupcu – nekoliko desetaka centimetara iznad naselja, smanjenje brzine struje je 20 % (Gacia i Duarte, 2001.). Smanjenje valova i struja vjerojatno će zaštititi od obalne erozije i pomoći u stabilizaciji obale (Blanc i Jeudy de Grissac, 1978.; Jeudy de Grissac i Boudouresque, 1985.; Short i sur., 1989.; Gacia i Duarte, 2001.; Duarte, 2004.). Osim smanjenjem hidrodinamičnosti, obalu od erozije štite tijekom jesenskih i zimskih oluja i velike količine listova posidonije koje se gomilaju na obali, tvoreći "bankete". Iz tog razloga je vrlo važno da se ne uklanjaju s obala u kontekstu „čišćenja“ plaža. Još jedna od brojnih značajnih uloga posidonije posebice u kontekstu klimatskih promjena je sekvestracija ugljika. Posidonija ima izvanrednu sposobnost hvatanja i pohranjivanja ugljika u svojim tkivima i u sedimentu u kojem raste čime pomaže smanjiti količinu ugljičnog dioksida u atmosferi i ublažiti učinke klimatskih promjena (Boudouresque i sur., 2012.).



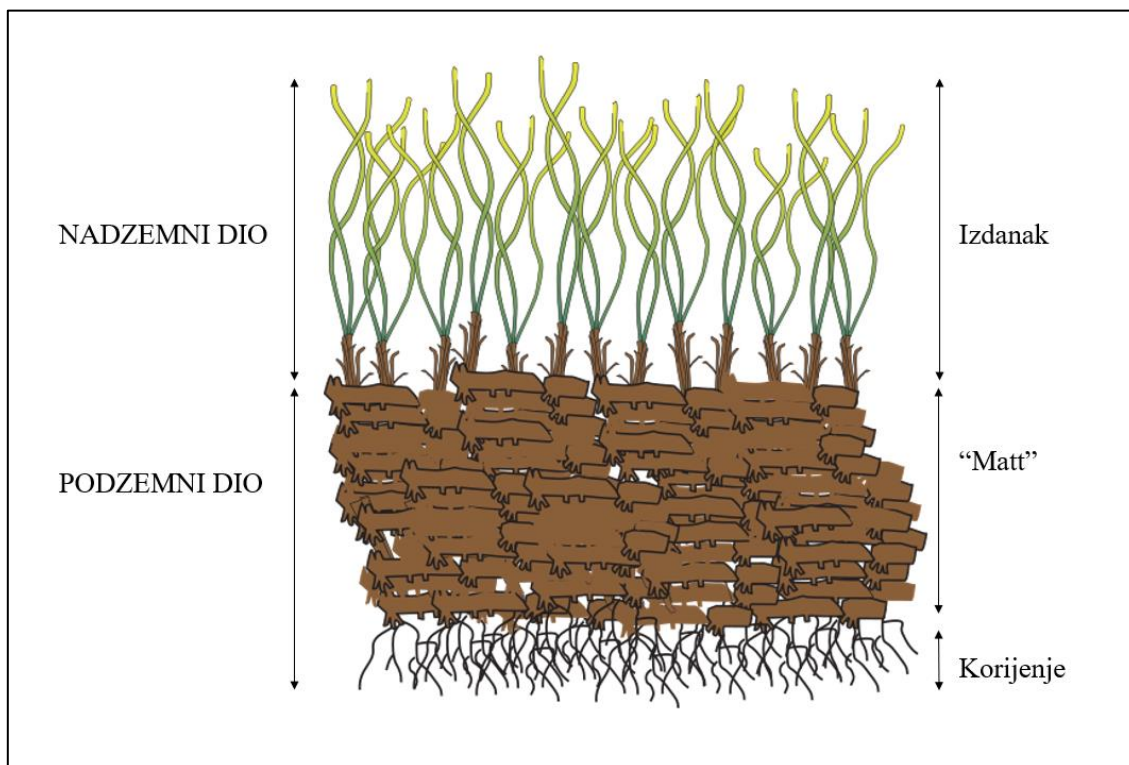
Slika 3. Naselje morske cvjetnice *Posidonia oceanica* u akvatoriju otoka Silbe (Čižmek, H.)

Morska cvjetnica *P. oceanica* je do danas preživjela nekoliko vrlo stresnih razdoblja kroz geološku prošlost poput „Mesinske krize saliniteta“ (Krigsman i sur., 1999.; McKenzie, 1999.; Taviani, 2002.), ledenog doba i dugotrajnog klimatskog kolebanja (naizmjenični toplo–hladni klimatski ciklusi od 1500 godina) koje karakterizira klimu kvartara (Clark i sur., 1999.; Bradley, 2000.; DeMenocal i sur., 2000.; McDermott i sur., 2001.; Crowley, 2002.; Esper i sur., 2002.) što sugerira da je posidonija otporna i prilagodljiva vrsta. Unatoč činjenici da je posidonija preživjela ova stresna razdoblja, tijekom 20. stoljeća (posebno od 1950–ih) bilježi se znatna regresija naselja posidonije kao posljedica sinergije klimatskih promjena i ljudskih aktivnosti (sidrenja i koćarenja, ispuštanja urbanih otpadnih voda u okoliš, akvakulture te gradnje i nasipavanja obala) koja uzrokuje poremećaje u njihovim naseljima i staništu u takvim stopama koje prelaze sposobnost reagiranja i prilagodbe na nove uvjete (den Hartog 1970., Orth i sur. 2006.).

Zbog iznimne važnosti morske cvjetnice *P. oceanica*, a posebice zbog njezine regresije i ugroženosti koja joj prijete, očuvanje ove vrste je ključno za održavanje zdravlja i funkcioniranja Sredozemnog mora. *P. oceanica* je u Hrvatskoj strogo zaštićena vrsta Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19), dok je na europskoj razini štiti Direktiva o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore Europske unije (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2017.).

1.4. MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Morska cvjetnica *P. oceanica* sastoji se od podzemnih i nadzemnih dijelova (Slika 4.). Podzemni dijelovi se sastoje od korijenja i stabljike (rizoma). Nadzemne dijelove obično čine izdanci s listovima (Larkum i sur., 2006.).



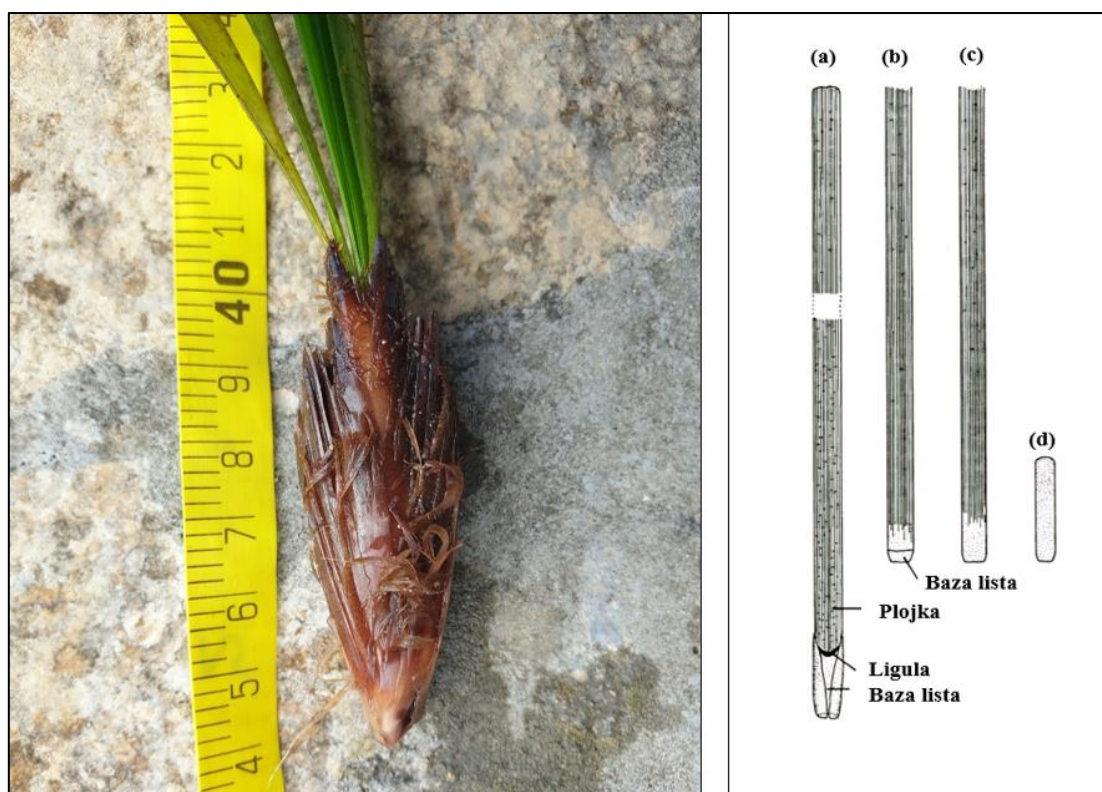
Slika 4. Građa morske cvjetnice *Posidonia oceanica* (University of Maryland, 2023.)

Korijenje je jako razgranato, može narasti do 70 cm ispod površine sedimenta i obično je povezano s pješčanim supstratom. Uz funkciju pričvršćivanja biljke za podlogu, korijenje ima i druge funkcije kao što je apsorpcija hranjivih tvari iz sedimenta i osiguravanje prikladnog okoliša za mikroorganizme u rizosferi (Larkum i sur., 2006.).

Stabljike (rizomi) mogu biti puzajuće (horizontalne/plagiotropne) ili uspravne (vertikalne/ortotropne). Isprepleteni živi ili mrtvi rizomi, zajedno sa sedimentom koji ispunjava međuprostore, čine najkarakterističniju strukturu, "matte" (Pergent–Martini i Pergent, 1994.). Glavne funkcije rizoma u morskim cvjetnicama su pričvršćivanja biljke za podlogu, mehanička potpora, skladištenje hranjivih tvari te regulacija i održavanje vegetativnog rasta. Rizomi mogu biti stari i više tisuća godina što posidoniju čini jednom od najdugovječnijih organizama na svijetu. Iako je dugo živuća vrsta, rizom posidonije raste vrlo sporo (oko 0,3–21 cm godišnje)

(Boudouresque i sur., 1984.; Meinesz i Lefevre, 1984.; Kirkman i Kuo, 1990.; Marba i Duarte, 1998.; Marba i Walker, 1999.; Paling i McComb, 2000.).

Iz rizoma se uzdižu izdanci i svaki izdanak se sastoji od 4–8 listova u snopiću (Slika 5.). Juvenilni listovi (kraći od 5 cm) i intermedijarni (duži od 5 cm) sastoje se samo od plojke, a kada se rast završi formira se baza lista i takav se list smatra adultnim. Plojka je širine 8-11 mm i duljine koja može dosegnuti više od 1 m. Novi listovi se formiraju tijekom cijele godine. Žive između 5 i 8 mjeseci, a rjeđe do 13 mjeseci. Zona rasta lista (meristem) nalazi se u podnožju sredine snopića, stoga se najmlađi listovi nalaze u sredini snopića, a kako se ide prema periferiji listovi su sve stariji (Boudouresque i sur., 2012.).



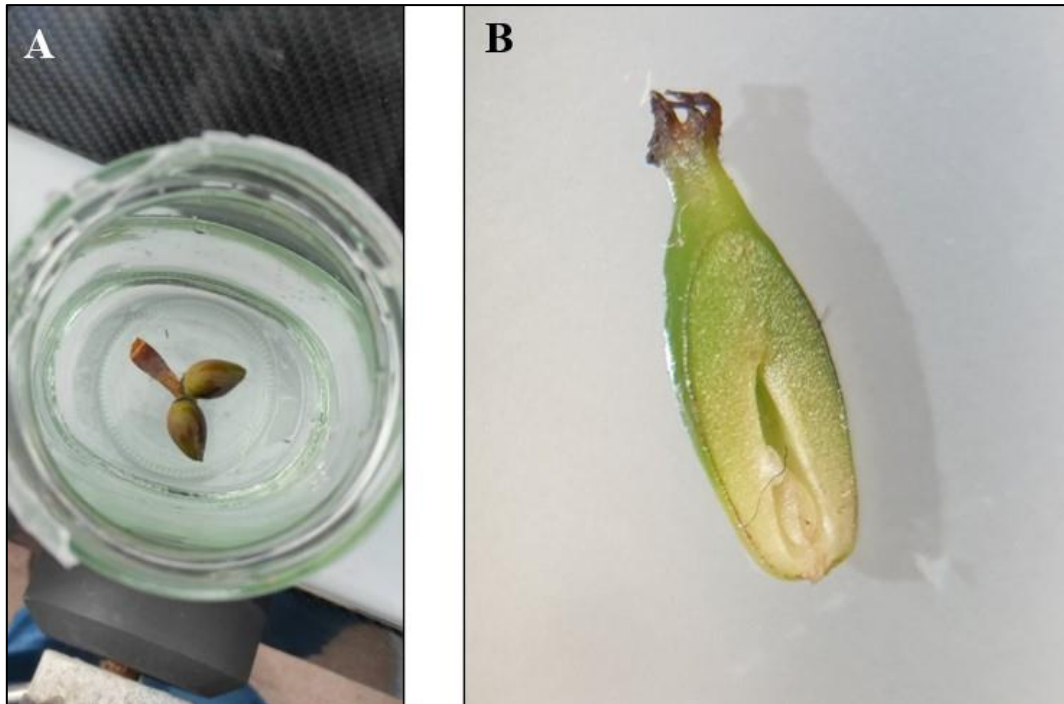
Slika 5. Lijevo: izdanak s listovima u snopiću (Zubak Čižmek, I.). Desno: (a) adultni list s formiranom bazom, (b) adultni list kojemu se počinje formirati baza, (c) intermedijarni list bez baze i (d) juvenilni list (prilagođeno prema Boudouresque i sur., 2012.).

Kao kritosjemenjača posidonija stvara cvjetove, iako se cvjetanje smatra rijetkom pojavom (Hemminga i Duarte, 2000.). Cvjetovi su hermafroditi, tj. i muški i ženski u isto vrijeme; 4–10 cvjetova skupljeno je u cvat na vrhu stabljike duljine 10–30 cm (Slika 6.) (Boudouresque i sur., 2012.).



Slika 6. Cvjetajući izdanak i cvat morske cvjetnice *Posidonia oceanica* (Zubak Čižmek, I.)

Plodovi imaju oblik i veličinu masline; tamnozeleni su, tamnosmeđi do crne boje i imaju samo jednu sjemenku (Hartog, 1970.; Boudouresque i Meinesz, 1982.).



Slika 7. Plod morske cvjetnice *Posidonia oceanica* i poprečni presjek ploda sa sjemenkom (Zubak Čižmek, I.)

1.5. POJAVA CVJETANJA POSIDONIJE

P. oceanica se može razmnožavati nesporno (vegetativno –stvaranjem klonova) i spolno (cvjetanjem). Cvjetanje posidonije (Slika 8.) obično počinje u rujnu–listopadu na manjim dubinama, a u dubokim naseljima u studenom (Buia i Mazzella, 1991.).

Posidonija je razvila hidrofilični oblik oprašivanja u kojemu se pelud i sjemenke prenose vodom (UNEP, 2001.). Hidrofilija je jedan od primjera abiotskih mehanizama kao i oprašivanje vjetrom (anemofilija). Karakteristično za takav način oprašivanja je smanjenje složenosti cvjetne strukture kao i odvojenost muških i ženskih spolnih organa (Cook i sur., 1988.; Les i sur., 1997.). Položaj i orijentacija cvjetova igraju ključnu ulogu u procesu oslobađanja i hvatanja peluda pod vodom (Ackerman, 2006.). Budući da naselja posidonije utječu na dinamiku strujanja vode (Fonseca i Fisher 1986.; Koch i sur., 2006.) cvjetovi posidonije moraju biti uzdignuti kako bi se omogućilo raspršivanje peluda unutar optimalnih hidrodinamičkih uvjeta (Ackerman, 2006.). Osim toga, ženski cvjetovi ili stigme stvaraju blage udubine u vodenoj površini čime preusmjeravaju protok vode što im omogućava lakše hvatanje peluda (Van Tussenbroek i sur., 2009.).

Nakon oplodnje razvija se plod. Plodovima posidonije potrebno je 6–9 mjeseci da sazru. Pozitivno su plovni te kada se otkinu od cvjetne stapke između svibnja i srpnja plutaju određeno vrijeme dok ne ispuste sjemenku. Sjemenka tone na dno i ukoliko se uspije uspostaviti počne klijati u novu biljku. Prema smjeru strujanja, mogu se odnijeti na plaže u velikim količinama (Boudouresque i sur., 2012.).



Slika 8. Pojava cvjetanja morske cvjetnice *Posidonia oceanica* u akvatoriju otoka Silbe (Čižmek, H.)

Spolno razmnožavanje (cvjetanje) morske cvjetnice *P. oceanica* dugo se smatralo rijetkom pojavom koja ima skromnu ulogu u usporedbi sa stvaranjem klonova (Hemminga i Duarte, 2000.) što je potkrijepljeno opažanjem niske genetičke raznolikosti u većini naselja (Procaccini i Mazzella 1996.; Procaccini i sur., 1998., 2000.) i nedostatkom opažanja cvjetanja (Giraud 1977.; Pergent i sur., 1989.). Međutim, broj izvješća o cvjetanju uvelike se povećao paralelno s naporima istraživanjima i otkrivena je velika genetička raznolikost brojnih naselja upotrebom molekularnih markera (Alberto i sur. 2003.; Jover i sur., 2003.; Arnaud-Haond i sur., 2005.) što sugerira da spolno razmnožavanje može imati značajniju ulogu nego što se ranije smatralo, barem u dugoročnoj dinamici populacije (Diaz-Almela i sur., 2006.).

Spolno razmnožavanje čak i pri niskoj stopi, ima važnu ulogu u:

1. Održavanju genetičke raznolikosti
2. Kolonizaciji novih mjesta (širenju na velike udaljenosti)
3. Oporavku nakon poremećaja (Alberte i sur., 1994.; Orth, 1999.; Orth i sur., 1994.).

Spolno razmnožavanje u klonskim morskim biljkama osigurava veću genetičku raznolikost unutar naselja (rekombinacijom gena). Veća genetička raznolikost povećava otpornost vrste na poremećaje u okolišu (Ruiz i sur., 2018.) što je posebice značajno za opstanak populacija koje se nalaze na rubovima područja rasprostranjenosti vrste (Tutar i sur., 2022.). Osim što osigurava veću genetičku raznolikost unutar naselja, spolno razmnožavanje omogućuje distribuciju biljke na velikim prostornim skalama (Montefalcone i sur., 2013.). Spolnim razmnožavanjem se proizvode plodovi koji se mogu prenijeti stotine kilometara od matičnih naselja pod utjecajem vjetera i površinskih struja prije nego što puste sjemenke (Micheli i sur., 2010.), strategija koja maksimalno povećava kolonizacijski potencijal novih staništa (Balestri i sur., 2017.). Regrutiranje iz sjemena vrlo je značajno za uspostavljanje novih naselja (Orth i sur., 1994.; Williams i Orth 1998.).

Cvjetanje morske cvjetnice *P. oceanica* može se pojaviti i kao prirodni fenomen koji je dio životnog ciklusa biljke i kao odgovor na okolišni stres. Gotovo sve prirodne pojave imaju godišnje cikluse i pod utjecajem su abiotičkih čimbenika, poput svjetlosti, temperature, mjesečeve mijene, padalina itd. (Forrest i Miller-Rushing, 2010.). Opće je prihvaćeno da su svjetlost i temperatura dva signala iz okoliša koji mogu potaknuti vegetativni i reproduktivni rast biljaka (Johansson i Bolmgren, 2013.). Cvjetanje mogu potaknuti i različiti čimbenici stresa, uključujući visoki ili niski intenzitet svjetlosti, UV zračenje, visoke ili niske temperature i nedostatak dušika (Takeno, 2016.). Cvjetanje izazvano stresom bi moglo biti evolucijska strategija za maksimiziranje preživljavanja u nepovoljnim uvjetima okoliša (Kazan i Lyons, 2016.).

1.6. OSNOVNA OBILJEŽJA NASELJA POSIDONIJE

Naselja *P. oceanica* snažan su pokazatelj ukupne kvalitete vode u morskom okolišu (Pergent i sur., 1995.; Boudouresque i sur., 2006.). Promjene u obilježjima naselja (gustoća, pokrovnost, biomasa, rast, primarna proizvodnja itd.) mogu pružiti važne informacije o vitalnosti i dinamici sustava posidonije i ekosustava u cjelini, i mogu ukazivati na ljudske utjecaje na okoliš (Romero i sur., 2007.; Boudouresque i sur., 2006.).

Gustoća naselja posidonije se izražava kao broj izdanaka po m², a može biti vrlo promjenjiva s obzirom na dubinu i utjecaj čovjeka. Aktivnosti poput sidrenja mogu smanjiti gustoću naselja. Smatra se da se svakim sidrenjem uništi prosječno 20 izdanaka posidonije (UNEP, 2001.). Nadalje, gustoća se smanjuje s dubinom što je u direktnoj vezi sa smanjenjem

svjetlosti. Svjetlost se smatra jednim od najznačajnijih čimbenika za rasprostranjenost i gustoću naselja posidonije (Elkalay i sur., 2003.).

Prema UNEP (2001.) naselja posidonije se s obzirom na gustoću izdanaka po dubini svrstavaju u 4 kategorije (Slika 9.):

1. Supranormalne – iznimna vitalnost posidonije
2. Normalne –zadovoljavajuće vrijednosti vitalnosti, nema izraženog antropogenog pritiska
3. Subnormalne –smanjena vitalnost naselja (smanjena gustoća, sporiji rast, kontaminacija), predstavlja znak za uzbunu i ukazuje da je okoliš dovoljno narušen da utječe na naselja
4. Abnormalne – vitalnost naselja je izrazito niska, odgovara kritičnim situacijama

Dubina	A	S-	N	S+	Dubina	A	S-	N	S+
1	← 822 ↔	934 ↔	1158	→	21	← 48 ↔	160 ↔	384	→
2	← 646 ↔	758 ↔	982	→	22	← 37 ↔	149 ↔	373	→
3	← 543 ↔	655 ↔	879	→	23	← 25 ↔	137 ↔	361	→
4	← 470 ↔	582 ↔	806	→	24	← 14 ↔	126 ↔	350	→
5	← 413 ↔	525 ↔	749	→	25	← 4 ↔	116 ↔	340	→
6	← 367 ↔	479 ↔	703	→	26		← 106 ↔	330	→
7	← 327 ↔	439 ↔	663	→	27		← 96 ↔	320	→
8	← 294 ↔	406 ↔	630	→	28		← 87 ↔	311	→
9	← 264 ↔	376 ↔	600	→	29		← 78 ↔	302	→
10	← 237 ↔	349 ↔	573	→	30		← 70 ↔	294	→
11	← 213 ↔	325 ↔	549	→	31		← 61 ↔	285	→
12	← 191 ↔	303 ↔	527	→	32		← 53 ↔	277	→
13	← 170 ↔	282 ↔	506	→	33		← 46 ↔	270	→
14	← 151 ↔	263 ↔	487	→	34		← 38 ↔	262	→
15	← 134 ↔	246 ↔	470	→	35		← 31 ↔	255	→
16	← 117 ↔	229 ↔	453	→	36		← 23 ↔	247	→
17	← 102 ↔	214 ↔	438	→	37		← 16 ↔	240	→
18	← 88 ↔	200 ↔	424	→	38		← 10 ↔	234	→
19	← 74 ↔	186 ↔	410	→	39		← 3 ↔	227	→
20	← 61 ↔	173 ↔	397	→	40		←	↔ 221	→

Slika 9. Ljestvica za ocjenu gustoće (broj izdanaka po m²) naselja posidonije s obzirom na dubinu. A: Abnormalno, S-:Subnormalno, N: Normalno, S+:Supranormalno

Biometrijom se utvrđuju parametri poput tipa lista (adultni, intermedijarni, juvenilni), duljina i širina lista (čime se dobije i površina lista), koeficijent listova oštećenog vrha (koeficijent A) i indeks lisne površine. Kao i gustoća ovi parametri ukazuju na vitalnost naselja (UNEP, 2001.).

P. oceanica proizvodi značajne količine biljne tvari, odnosno biomase: do 900 g suhe mase po m² za listove, do 470 g suhe mase po m² za epibiotu listova, do 50 g suhe mase po m² za epibiotu rizoma i do 5500 g suhe mase po m² za rizome, odumrle baze listova i korijenje, a smanjuje se s dubinom (Thélin i Bedhomme, 1983.; Pirc, 1983.; Libes, 1984.; Boudouresque i Jeudy de Grissac, 1986.; Ballesteros, 1987.; Francour, 1990.; Mazzella i sur., 1992.).

Ekosustav morske cvjetnice *P. oceanica* jedan je od najproduktivnijih ekosustava na svijetu. Primarna proizvodnja listova procijenjena po jedinici površine kreće se između 126,3

i 1230,6 g suhe mase po m² godišnje. Primarna proizvodnja smanjuje se s dubinom što je u korelaciji sa smanjenjem gustoće naselja na većim dubinama (Pergent–Martini i Pergent, 1994.).

2. PREGLED LITERATURE

Dugo se smatralo da južne i istočne populacije posidonije cvjetaju češće i obilnije od sjeverozapadnih koje cvjetaju samo u posebno povoljnim godinama međutim nekoliko istraživanja cvjetanja rekonstruktivnim metodama na području SZ Sredozemnog mora ukazuju da cvjetanje posidonije nije rijedak fenomen na tom području kao što se smatralo. Balestri i Vallerini (2003.) su tijekom ispitivanog 14-godišnjeg razdoblja (Rosignano; SZ Italija) zabilježili sedam cvjetanja, a razmak između dva uzastopna cvjetanja varirao je od 1 do 4 godine. Nadalje, Balestri (2004.) je istražila pojavu cvjetanja u tri naselja posidonije (Rosignano, Cecina, Boccale; SZ Italija). Tijekom istraživanog razdoblja od 1983. –1999. zabilježeno je ukupno 10 događaja cvjetanja i dva naselja cvjetala su uzastopno tri godine (1993.–1995.) što također ukazuje da bi cvjetanje posidonije mogla biti daleko raširenija pojava u ovom dijelu Sredozemnog mora.

Diaz-Almela i suradnici (2006.) su istražili vremenske i prostorne obrasce pojave i intenziteta cvjetanja posidonije za razdoblje 1979.–2004. Autori su utvrdili da je cvjetanje morske cvjetnice *P. oceanica* nepravilna pojava u prostoru i vremenu. Cvjetanje posidonije se ne događa ravnomjerno na svim područjima Sredozemnog mora. Pojava i intenzitet cvjetanja poprilično variraju kroz regije, a ova nepravilnost u prostoru sugerira da cvjetanje posidonije nije ograničeno na određene geografske lokacije. Pojava cvjetanja također je varijabilna kroz godine, što ukazuje na to da cvjetanje posidonije nije vezano uz godišnje cikluse (ili konstantan ritam). Iako je cvjetanje posidonije vrlo nepravilna i varijabilna pojava u vremenu i prostoru, u pojedinim godinama došlo je do masovnog cvjetanja na cijelom području Sredozemnog mora. Događaji definirani kao "masivni", tj. koji uključuju većinu Sredozemnih naselja u širokim razmjerima, prijavljeni su 1971., 1982., 1993. i 2003., što ukazuje na periodičnost od oko 10–11 godina za takve pojedinačne važne događaje.

Istraživanja masivnih cvjetanja su pokazala da su se takvi događaji cvjetanja pojavili nakon posebice toplih ljeta (Mazzella i sur., 1983.; Pergent i sur., 1989.; Stoppelli i Peirano 1996.; Balestri i Vallerini, 2003.) što sugerira da bi cvjetanje moglo biti inducirano visokom temperaturom mora. Najintenzivnije i najrasprostranjenije cvjetanje ikada zabilježeno primijećeno je u jesen 2003., i podudaralo se s najvišim ljetnim temperaturnim maksimumima površine mora zabilježenim tijekom posljednjih 40 godina i u temperaturi zraka tijekom posljednjih pet stoljeća u Europi (Luterbacher i sur., 2004.).

Diaz-Almela i suradnici (2007.) su utvrdili da je cvjetanje osjetljivije na anomalije temperature morske vode nego na trend zagrijavanja. Njihovi rezultati ukazuju da bi razlika od 1–2 °C mogla potaknuti široko rasprostranjeno cvjetanje diljem sredozemnih obala. Štoviše, vrijednosti rasprostranjenosti i intenziteta cvjetanja su se povećavale s amplitudom anomalije.

Ruiz i suradnici (2018.) pružili su prvi izravni eksperimentalni dokaz da toplinski stres može učinkovito potaknuti cvjetanje morske cvjetnice *P. oceanica*. Njihovi rezultati osim što pokazuju da toplinski stres uzrokovan abnormalno visokom temperaturom kao što je ona tijekom ljetnih toplinskih valova može potaknuti cvjetanje, također sugeriraju da genetička raznolikost ima pozitivnu ulogu u poboljšanju cvjetanja, što je u skladu s nedavnom studijom u kojoj je genetička raznolikost naselja bila u pozitivnoj korelaciji s intenzitetom cvatnje (Jahnke i sur., 2015.). Ovi rezultati ukazuju na to da bi osim ekoloških čimbenika širokih razmjera „intrinzični“ odnosno unutarnji čimbenici poput genetičke raznolikosti također mogli imati ulogu u indukciji cvjetanja posidonije.

Vrhunci solarne aktivnosti pokazuju periodičnost od oko 11 godina (Ma i sur., 2009.) isto kao i događaji masovnog cvjetanja posidonije. Montefalcone i suradnici (2013.) istražili su poveznicu između broja sunčevih pjega i masovnog cvjetanja. Utvrdili su da se masovno cvjetanje događa 3 godine nakon vrhunca solarne aktivnosti. Njihovi rezultati sugeriraju da je intenzivna solarna aktivnost, a ne viša temperatura *per se*, vjerojatno glavni okidač masovnog cvjetanja posidonije. Temperatura, budući da je izrazito varijabilna, predstavlja neprecizan signal i ne određuje točno doba godine u kojem će se procesi pokrenuti (Jackson, 2008.; Johnsson, 2008.), već više djeluje kao regulator brzine odgovora. Budući da solarna aktivnost utječe na klimu (Friis-Christensen i Lassen, 1991.), pozitivna veza između cvjetanja i temperature morske vode (Diaz-Almela i sur., 2007.) može biti neizravna: ciklusi sunčevih pjega puno su pravilniji i predvidljiviji od klimatskih fluktuacija pa su stoga pouzdaniji signal za pokretanje fizioloških procesa (Brady, 1979.) od temperature.

Prema istraživanjima koja su proveli Diaz–Almela i sur. (2006.); Balestri i Vallerini (2003.) te Balestri (2004.), vidimo da se intenzitet cvjetanja posidonije kreće od 0,003 do 0,22 cvata po izdanku, odnosno između 71,5 i 129,3 cvata po m² (Tablice 2. i 3.).

Tablica 2. Intenzitet cvjetanja (broj cvatova po izdanku)

Izvor	Područje	Intenzitet cvjetanja (broj cvatova po izdanku)	
Diaz-Almela i sur., 2006.	zapadno Sredozemno more	Najniža vrijednost	0,003 ± 0,001 (1984.)
		Najviša vrijednost	0,222 ± 0,043 (2003.)
	Prosječno		0,11 ± 0,02
	Balestri i Vallerini, 2003.	Rosignano, SZ Italija (8-11 m)	Prosječno

Tablica 3. Intenzitet cvjetanja (broj cvatova po m²)

Izvor	Područje	Dubina (m)	Intenzitet cvjetanja (broj cvatova po m ²)
Balestri, 2004.	Rosignano; SZ Italija	9-10	129,3
	Cecina; SZ Italija	9-10	71,5

Balestri i Cinelli (2003.); Balestri i Vallerini (2003.) te Balestri (2004.) utvrdili su stopu cvjetanja na dubinama od 3–11 m u rasponu od 0–26 % izdanaka (Tablica 4.). Balestri i Cinelli (2003.) utvrdili su da je proizvodnja plodova (broj plodova po m²) varirala od godine do godine u rasponu od 4,7 do 13,5 plodova po m², ali je reproduktivni uspjeh (udio cvjetova koji proizvode plodove po jedinici površine) ostao konstantan i nizak (2–2,4%). Utvrdili su također da pobačaj plodova i predacija sjemena od strane biljojeda značajno smanjuju reproduktivni uspjeh vrste.

Tablica 4. Stopa cvjetanja i proizvodnje plodova, reproduktivni uspjeh

Izvor	Područje	Godina	Dubina	Stopa cvjetanja (%)	Proizvodnja plodova (plodova po m ²)	Reproduktivni uspjeh (%)
Balestri i Cinelli, 2003.	Livorno; SZ Italija	1993.	3-4 m	7,9 ± 3,8	4,7 ± 6,9	2 ± 2,2

		1994.	3-4 m	19,8 ± 7,1	13,5 ± 10,6	2,4 ± 2
Balestri i Vallerini, 2003.	Rosignano, SZ Italija	1984.-1999.	8-11 m	0-25,3		
Balestri, 2004.	Rosignano, Cecina, Boccale; SZ Italija	1983.-1999.	9-10 m	0-26		

Pregledom dostupne literature izdvojene su karakteristike nekoliko naselja relevantnih za ovo istraživanje. U Tablici 5. prikazane su duljine i širine listova posidonije na 10 m dubine te površina listova (Pergent–Martini i sur., 1994.; Mačić, 2013.).

Tablica 5. Duljina, širina i površina adultnih (A) i intermedijarnih (I) listova

Izvor	Područje	Dubina (m)	Duljina (cm)		Širina (cm)		Površina (cm ²)	
			A	I	A	I	A	I
Mačić, 2013.	Ratac	10	52,5	41,31	0,93	0,88	48,825	36,35
	Platamuni	10	45,62	38,95	1	0,95	45,62	37
	Jaz	10	41,65	33,1	0,92	0,87	38,318	28,8
Pergent-Martini i sur., 1994.	Ischia (Italija)	10	38					
	Calvi (Korzika)	10	39,1					

U Tablici 6. prikazana je godišnja stopa proizvodnje listova po izdanku. Broj listova proizvedenih po izdanku u jednoj godini iznosio je od 6,2 ± 0,2 do 8,3 ± 1,53 listova po izdanku (Pergent–Martini i sur., 1994.; Guidetti i sur., 2000.).

Tablica 6. Godišnja stopa proizvodnje listova po izdanku

Izvor	Područje istraživanja	Dubina (m)	Broj listova proizvedenih po godini po izdanku
Pergent-Martini i sur., 1994.	Ischia (Italija)	5	7,7 ± 1,04
		10	7,6 ± 1,13
		20	6,6 ± 0,99
	Urla-Iskele (Turska)	0,7	6,3 ± 0,84
		2	7 ± 0,97
		5	6,5 ± 0,99
	Alghero (Sardinija, Italija)	4-6,5	6,5 ± 0,54
		7-11	6,5 ± 0,53
		12-16	6,6 ± 0,86
	Olbia (Sardinija, Italija)	6-7,5	7,6 ± 0,81
		8-13	7,1 ± 0,93
		16-18	7,3 ± 0,99
	Port-Cros (Francuska)	0,7	7,6 ± 1,75
		2	7,9 ± 0,99
		11	7,1 ± 1,01
		23	6,5 ± 0,89
		32	7,5 ± 0,92
	Banyuls/Mer (Francuska)	0,7	7,4 ± 1,11
		2	7,6 ± 1,02
12		7,3 ± 0,92	
19		7,5 ± 0,99	
	Calvi (Korzika)	10	8,3 ± 1,53
Guidetti i sur., 2000.	Otranto	6,5	6,7 ± 0,3
	S. Domino	8	6,2 ± 0,2

Iz podataka o površini listova (28,8–48,825 cm²) i broju listova po jednom izdanku po godini (6,2 ± 0,2 do 8,3 ± 1,53) može se izračunati površina listova po izdanku (Tablica 7.) te konačno ako je poznat broj izdanaka po m² može se izračunati indeks lisne površine po m² naselja (Guidetti i sur., 2002.).

Tablica 7. Površina listova po izdanku u m²

Izvor	Područje istraživanja	Dubina (m)	Površina listova po izdanku u m²
Mačić, 2013.	Ratac (Crna Gora)	10	0,029154
	Platamuni (Crna Gora)	10	0,02993
	Jaz (Crna Gora)	10	0,022059

U Tablici 8. prikazani su rezultati istraživanja indeksa lisne površine na odabranim područjima.

Tablica 8. Indeks lisne površine po m² naselja

Izvor	Područje istraživanja	Dubina	Indeks lisne površine (m²/m²)	
Bakran– Petricioli i Schultz, 2010.	Sašćica (Dugi otok)	7 m	17,7	
		20 m	6,2	
	Čuška Dumboka (Dugi otok)	6 m	18,2	
		19 m	13,6	
		5 m	58,2	
		15 m	50,7	
	Lojišće (Dugi otok)	20 m	24,9	
		32 m	20,1	
		Krapanj	1 m	77,9
		Brodarica	2 m	20,2
	Rukavac (Vis)	5 m	22,2	
		15 m	16,1	
		20 m	6,9	
		32 m	1,9	
	Otok Saplun	5 m	17	
		15 m	15,7	
		20 m	21,5	
32 m		3,6		

Mačić, 2013.	Ratac (Crna Gora)	10	11,3
	Platamuni (Crna Gora)	10	11,97
	Jaz (Crna Gora)	10	8,9

Na dubini od 10 m Sghaier i suradnici (2006.) utvrdili su vrijednosti biomase posidonije u rasponu od $0,25 \pm 0,02$ do $1,5 \pm 0,2$ g suhe mase po izdanku i od 36 do 661,5 g suhe mase po m² (Tablica 9.).

Tablica 9. Biomasa posidonije na 10 m dubine (g suhe mase po izdanku i po m²)

Izvor	Lokacija	Dubina	Biomasa (g suhe mase po izdanku)	Gustoća (izdanaka po m ²)	Biomasa (g suhe mase po m ²)
Sghaier i sur., 2006.	El Kantaoui	10	$0,25 \pm 0,02$	$144 \pm 20,5$	36
	Monastir	10	$0,35 \pm 0,05$	$221 \pm 16,1$	77,35
	Hergla	10	$0,5 \pm 0,03$	$267 \pm 15,1$	133,5
	Mahdia	10	$1,5 \pm 0,2$	$441 \pm 61,2$	661,5

Istraživanja primarne proizvodnje listova provedena su u Sredozemnom i Jadranskom moru, što je prikazano u Tablici 10. Na 10 m dubine vrijednosti se kreću između 220,8 i 734,4 g suhe mase po m² godišnje. Vrijednosti prijavljene za Jadransko more (Guidetti sur., 2000.; Bakran-Petricioli i Schultz, 2010.) nalaze se u rasponu od 22 do 2500 g suhe mase po m² godišnje.

Tablica 10. Godišnja primarna proizvodnja listova (g suhe mase po izdanku i po m²)

IZVOR	PODRUČJE	DUBINA (m)	GODIŠNJA PRIMARNA PROIZVODNJA LISTOVA	
			g suhe mase po izdanku	g suhe mase po m ²
Pergent-Martini i Pergent, 1994.	Banyuls (Francuska)	0,7	0,34	434,5
		2	0,31	360,5
		12	0,92	492,2

		19	0,97	356,0
Port-Cros (Francuska)		0,7	1,25	1177,5
		2	1,39	896,6
		11	1,23	389,9
		23	0,85	240,6
		32	1,14	233,7
Calvi (Korzika, Francuska)		10	1,53	734,4
	Ischia (Italija)	5	1,54	728,4
		10	1,32	463,3
		15	0,95	240,4
Alghero (Sardinija, Italija)		5	0,53	278,3
		10	0,66	341,9
		15	0,83	327,9
Olbia (Sardinija, Italija)		7	0,77	126,3
		10	0,92	220,8
		20	0,8	304,8
Urla (Turska)		0,7	1,09	1230,6
		2	1	510
		5	0,7	315
Bakran– Petricioli i Schultz, 2010.	Sašćica (Dugi otok)	7	0,58 – 0,84	156 – 231
		20	0,42 – 0,68	51 – 83
	Čuška Dumboka (Dugi otok)	6	0,44 – 0,58	138 – 184
		19	0,72 – 0,95	112 – 147

Lojišće (Dugi otok)	5	1,34 – 1,42	506 – 607	
	15	1,57 – 1,83	491 – 573	
	20	2,13 – 2,24	342 – 369	
	32	1,89 – 2,16	237 – 270	
Krapanj	1	1,75 – 1,95	2244 – 2500	
Brodarica	2	1,02 – 1,28	398 – 500	
Rukavac (Vis)	5	1,72 – 2,49	663 – 958	
	15	0,77 – 2,70	195 – 681	
	20	0,78 – 1,55	127 – 253	
	32	0,44 – 1,19	24 – 62	
Otok Saprun	5	0,47 – 0,62	216 – 320	
	15	0,73 – 0,91	192 – 240	
	20	0,52 – 0,91	110 – 192	
	32	0,59 – 0,98	22 – 36	
Guidetti i sur., 2000.	S. Domino	6,5	1,15 – 1,32	509 – 587
	Otranto	6,5	0,91	574

3. CILJEVI I SVRHA RADA

Cilj ovog rada bio je upotpuniti podatke o pojavi cvjetanja posidonije u hrvatskom dijelu Jadranskog mora utvrđivanjem karakteristika cvjetanja (stopa, intenzitet i uspješnost cvjetanja). Također cilj je bio utvrditi osnovna obilježja naselja posidonije (gustoću, biometriju, primarnu proizvodnju i proizvodnju biomase) u akvatoriju otoka Silbe. Svrha ovog rada je pridonijeti razumijevanju funkcioniranja i boljem poznavanju morske cvjetnice *P. oceanica* i fenomena cvjetanja na istočnoj obali Jadranskog mora.

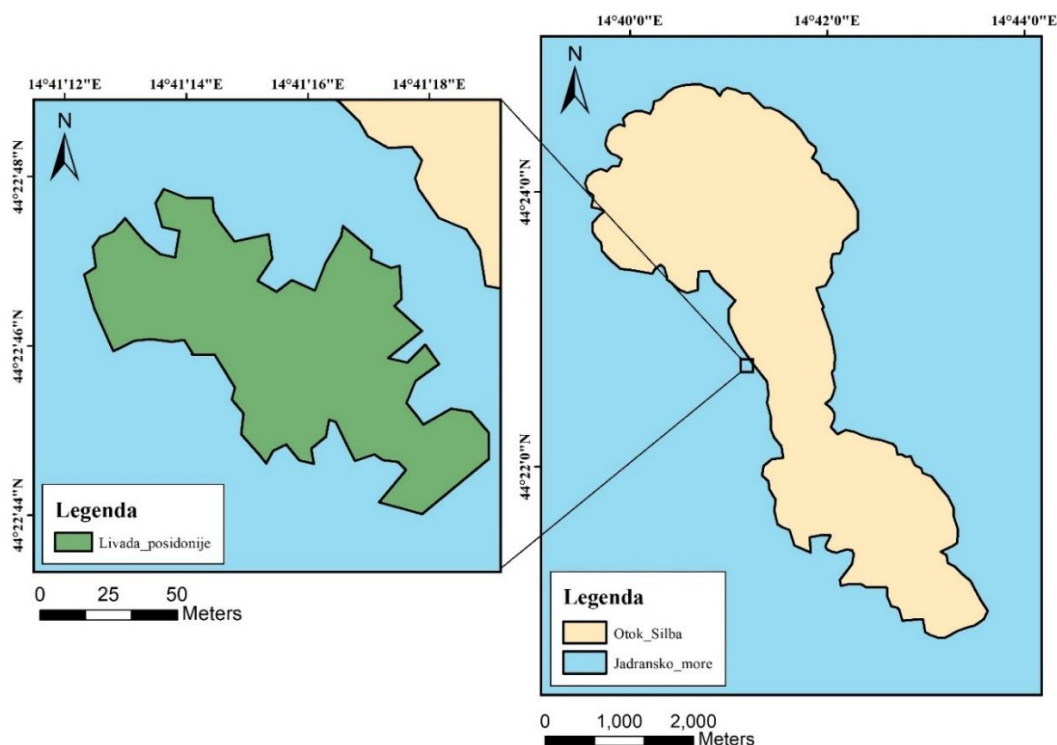
4. MATERIJALI I METODE

4.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Otok Silba nalazi se u zadarskom arhipelagu i pripada sjevernodalmatinskim otocima (Magaš 1998.). Otok je smješten u sredini tzv. silbenske podskupine kojoj također pripadaju otoci Olib i Premuda (Rubić 1952., Tešić 1974., Gvozdanić 1974., Magaš 1998., Faričić 2006.) i pruža se u pravcu SZ-JI. Od 1993. Silba je sastavni dio Grada Zadra unutar Zadarske županije, od kojega je udaljena 28 NM. Površina iznosi 14,27 km² s 26,239 km obalne crte (Duplančić Leder i sur., 2004.) što Silbu svrstava u 29. otok po veličini u Hrvatskoj (Magaš i Vejmelka, 2013.).

Silba je pretežito građena od karbonatnih stijena, vapnenaca i dolomita krede i eocena (Mamužić i sur. 1973). Obale su najčešće stjenovite, građene od vapnenca i niske. Silbu, kao i ostale zadarske otoke, karakterizira sredozemna klima (tip Csa po Köppenu) što znači da su zime blage i kišovite, a ljeta topla (vruća) i suha. Prosječna godišnja insolacija na Silbi razmjerno je visoka (srednje vrijednosti između 2500 i 2600 sati godišnje). U zadarskom arhipelagu tijekom ljetnih mjeseci insolacija je najveća (~1000 sati), a zimi najmanja (~360 sati). Najdulja mjesečna insolacija je u srpnju (~340 sati), a najkraća u prosincu (105 sati). Utjecaj mora na temperaturu izražen je tijekom zime kada su prosječne temperature znatno veće u odnosu na sjevernija područja u Kvarneru. Tijekom ljeta temperature su visoke međutim osjećaj vrućine ublažava utjecaj maestrala. Najniže prosječne temperature tijekom razdoblja 1961.–1990. zabilježene su u veljači (7,5 °C) i siječnju (7,8 °C), dok su najviše prosječne temperature zabilježene u srpnju (24,5 °C) i kolovozu (24,1 °C). Tijekom razdoblja 1961.–2001. zabilježeno je prosječno zagrijavanje od 0,1 °C u najtoplijim kao i najhladnijim mjesecima. Količine padalina smanjile su se s prosječno 973 mm godišnje za razdoblje od 1961.–1985. na 870 mm godišnje tijekom razdoblja od 1991.–2006. Najčešći vjetrovi na Silbi su bura (grego), jugo i maestral. Maestral puše ljeti, a bura i jugo tijekom jeseni i zime. Javljuju se i ponenat i levanat, a najrjeđi su lebić i ostali vjetrovi. Velik je i udio tišine (bonace) međutim ponekad se dogode jaki udari bure (refuli), lebićade (jaki lebić) i pulentade (jaki ponenat) koji uzrokuju visoke valove i udare mora (Magaš i Vejmelka, 2013.).

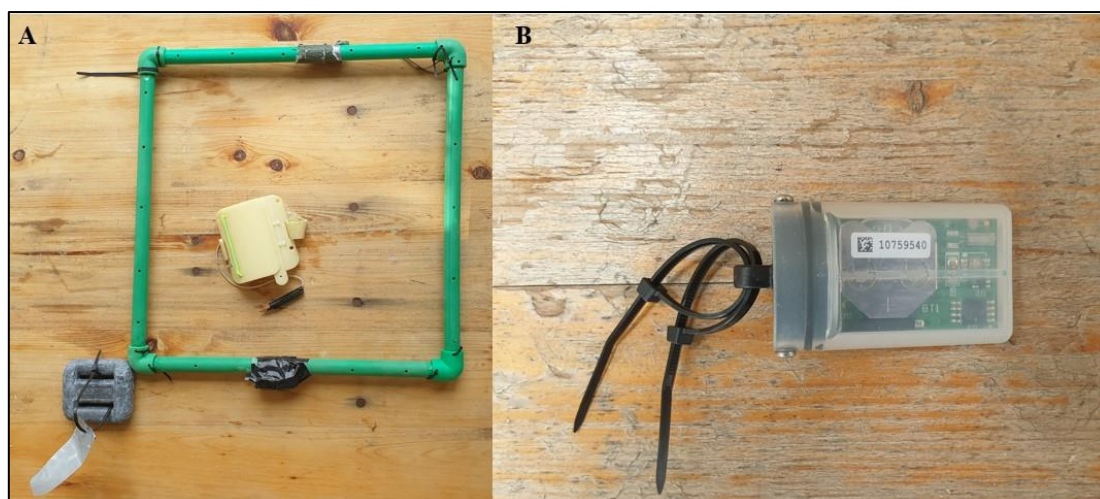
Tijekom razdoblja od studenog 2021. do svibnja 2022. godine provedeno je istraživanje naselja posidonije u akvatoriju otoka Silbe (Slika 10.). Na lokaciji nije uočeno onečišćenje.



Slika 10. Područje istraživanja (karta izrađena u softveru ArcMap Desktop 10.4.1)

4.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA I UZORAKA

Podaci su prikupljeni korištenjem autonomne ronilačke opreme (SCUBA) u razdoblju od studenog 2021. do svibnja 2022. godine na dvije dubine: 4 m i 10 m. U razdoblju prosinac–ožujak bilo je izrazito izazovno provođenje terenskog istraživanja zbog vrlo niskih temperatura mora i nepovoljnih vremenskih uvjeta koji su utjecali na dinamiku istraživanja. Na ~9,5 m dubine postavljen je *data logger* kako bi se pratila temperatura mora. Brojanje izdanaka, cvatova i plodova vršilo se *in situ* postavljanjem kvadrata veličine 40x40 cm. Tijekom prvog uzorkovanja kvadrat je nasumično postavljen, mjerenja su ponavljana tri puta na obje dubine te je postavljeno olovo kako bi služilo kao orijentir za sljedeća uzorkovanja. Uzorak je repliciran tri puta na svakoj dubini, u studenom, siječnju i svibnju (N=18). Podaci su upisivani na ronilačku pločicu. Dodatno je za određivanje biometrije listova i biomase sakupljeno po 38 listova na 10 m dubine. Listovi su spremljeni u *zip lock* vrećice i odneseni u laboratorij gdje je izvršena analiza uzoraka. Podaci su prikupljeni i obrađivani u programu MS Excel, a kartografski prikaz je napravljen u softveru ArcMap Desktop 10.4.1 (<https://www.esri.com/en-us/home>). Podatke o gustoći naselja su ustupile organizacija Operation Wallacea Croatia i Društvo istraživača mora –20000 milja.



Slika 11. Oprema korištena za istraživanje (A) kvadrat za istraživanje veličine 40x40 cm, ronilačka pločica i olovo; (B) *data logger* za praćenje temperature

4.3. ANALIZA PODATAKA I UZORAKA

4.3.1. Biometrija listova

Za utvrđivanje biometrije listova određen je tip lista (adultni, intermedijarni i juvenilni). Listovima je izmjerena dužina i širina baze te dužina i širina plojke. Zbrajanjem duljina baza i plojki određena je ukupna duljina listova (u slučaju intermedijarnih listova duljina plojki činila je ukupnu duljinu lista). Iz podataka o duljini i širini baza i plojki izračunata je površina baza i plojki te ukupna površina listova u cm^2 . Kako bi se izračunala površina listova po izdanku, površina listova (izražena u m^2) je pomnožena s brojem listova po izdanku koji je preuzet iz rada Balestri i Vallerini, 2003. (prosječno $6,43 \pm 0,03$ listova).

$$\text{Površina listova po izdanku [m}^2\text{]} = \text{površina listova [m}^2\text{]} \times \text{broj listova po izdanku} \quad (1)$$

Na temelju podataka o površini listova po izdanku i broju izdanaka po m^2 određen je indeks lisne površine koji izražava površinu listova na izdancima koji rastu na 1 m^2 naselja po formuli:

$$\text{Indeks lisne površine } \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2} \right] = \text{površina listova po izdanku [m}^2\text{]} \times \text{broj izdanaka po m}^2 \quad (2)$$

4.3.2. Biomasa

Za utvrđivanje biomase korišteni su adultni listovi. Žiletom su pažljivo ostrugani epifiti kako se površina listova ne bi oštetila te su adultni listovi podijeljeni na baze i plojke. Baze i plojke su stavljene u prethodno izvagane i označene lađice izrađene od aluminijske folije te su sušene 48 sati na 72°C. Potom su se listovi izvagali, a iz dobivenih podataka izražena je suha masa baza i suha masa plojki prema formulama:

$$\text{Suha masa baze} \left[\frac{g}{cm^2} \right] = \frac{\text{masa baze}}{\text{površina baze}} \quad (3)$$

$$\text{Suha masa plojke} \left[\frac{g}{cm^2} \right] = \frac{\text{masa plojke}}{\text{površina plojke}} \quad (4)$$

Zatim su izražene prosječna suha masa baza i prosječna suha masa plojki prema formulama:

$$\text{Prosječna suha masa baze} = \frac{\sum \text{suha masa baze} [g/cm^2]}{\text{broj baza}} \quad (5)$$

$$\text{Prosječna suha masa plojke} = \frac{\sum \text{suha masa plojke} [g/cm^2]}{\text{broj plojki}} \quad (6)$$

Na temelju podataka dobivenih biometrijskom analizom listova izračunata je prosječna površina baza i plojki po jednom izdanku:

$$\text{Prosječna površina baza po izdanku} = \frac{\sum \text{površina baza po izdanku}}{\text{broj izdanaka}} [cm^2] \quad (7)$$

$$\text{Prosječna površina plojki po izdanku} = \frac{\sum \text{površina plojki po izdanku}}{\text{broj izdanaka}} [cm^2] \quad (8)$$

Na temelju podataka dobivenih iz formula (5), (6), (7) i (8) izračunata je biomasa listova po izdanku:

$$\begin{aligned} &\text{Biomasa po izdanku} [g] \\ &= \text{prosječna površina baza po izdanku} [cm^2] \times \text{prosječna suha masa baze} [g/cm^2] + \\ &\text{prosječna površina plojke po izdanku} [cm^2] \times \text{prosječna suha masa plojke} [g/cm^2] \end{aligned} \quad (9)$$

Te je izračunata biomasa listova po m²:

$$\text{Biomasa} [g] \text{ po } m^2 = \text{biomasa po izdanku} \times \text{broj izdanaka po } m^2 \quad (10)$$

4.3.3. Primarna proizvodnja

Iz podataka dobivenih biometrijskom analizom listova, izračunata je prosječna površina adultnih listova prema sljedećim formula:

$$\text{Površina baze adultnog lista [cm}^2\text{]} = \text{širina baze [cm]} \times \text{duljina baze [cm]} \quad (11)$$

$$\text{Površina plojke adultnog lista [cm}^2\text{]} = \text{širina plojke [cm]} \times \text{duljina plojke [cm]} \quad (12)$$

$$\text{Prosječna površina baze adultnog lista [cm}^2\text{]} = \frac{\sum \text{površina baze adultnog lista}}{\text{broj listova}} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (13)$$

$$\text{Prosječna površina plojke adultnog lista [cm}^2\text{]} = \frac{\sum \text{površina plojke adultnog lista}}{\text{broj listova}} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (14)$$

Iz formula (5), (6), (13) i (14) je izračunata suha masa baze i plojke adultnog lista:

$$\begin{aligned} &\text{Masa baze adultnog lista [g suhe mase]} \\ &= \text{prosječna površina baze adultnog lista [cm}^2\text{]} \times \text{prosječna suha masa baze [g/cm}^2\text{]} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} &\text{Masa plojke adultnog lista [g suhe mase]} = \text{prosječna površina plojke adultnog lista [cm}^2\text{]} \times \\ &\text{prosječna suha masa plojke [g/cm}^2\text{]} \end{aligned} \quad (16)$$

Iz podataka o masi baze i plojke adultnog lista (g suhe mase), broju listova formiranih u jednoj godini (podatak preuzet iz Balestri i Vallerini, 2003.; prosječno 6,43 listova) i broju izdanaka po m², procijenjena je godišnja primarna proizvodnja prema formuli:

$$\begin{aligned} &\text{Godišnja primarna proizvodnja [g suhe mase po m}^2\text{]} = (\text{masa plojke adultnog lista [g suhe mase]} + \\ &\text{masa baze adultnog lista [g suhe mase]}) \times \text{broj listova po godini} \times \text{broj izdanaka po m}^2 \end{aligned} \quad (17)$$

4.3.4. Osnovna obilježja cvjetanja

Intenzitet cvjetanja određen je kao broj cvatova po izdanku i po m². Stopa cvjetanja na 4 i na 10 m dubine određena je kao postotak izdanaka koji cvjetaju s obzirom na ukupni broj izdanaka na odabranom području prema formuli:

$$\text{Stopa cvjetanja [% cvatućih izdanaka]} = \left[\frac{\text{broj izdanaka koji cvjetaju}}{\text{ukupni broj izdanaka}} \right] \times 100 \quad (18)$$

Proizvodnja plodova je određena kao broj plodova po izdanku i po m². Uspješnost cvjetanja utvrđena je praćenjem cvjetanja do pojave ploda te određivanjem broja cvjetova koji su proizveli plod po jedinici površine na 4 i na 10 m dubine prema formuli:

$$\text{Reproduktivni uspjeh [% cvatova koji su proizveli plod]} = \left[\frac{\text{broj plodova po m}^2}{\text{broj cvatova po m}^2} \right] \times 100 \quad (19)$$

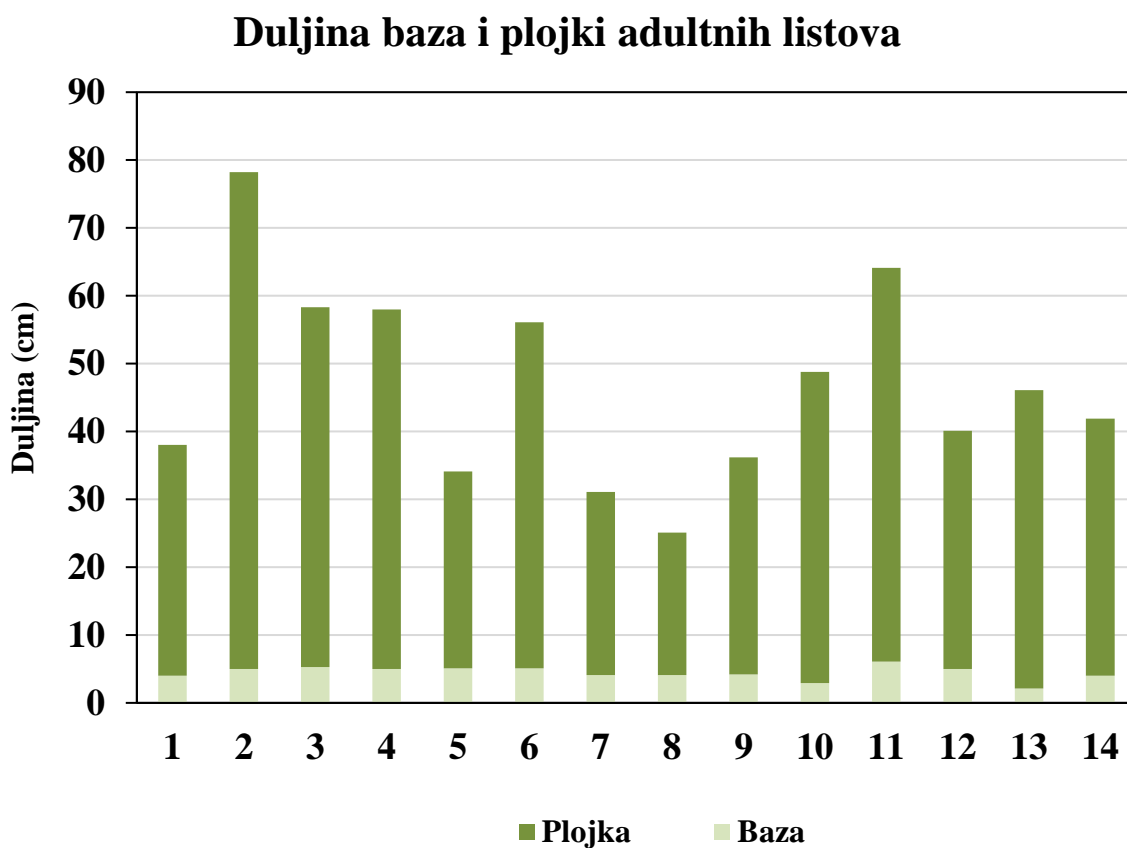
5. REZULTATI

5.1. GUSTOĆA NASELJA

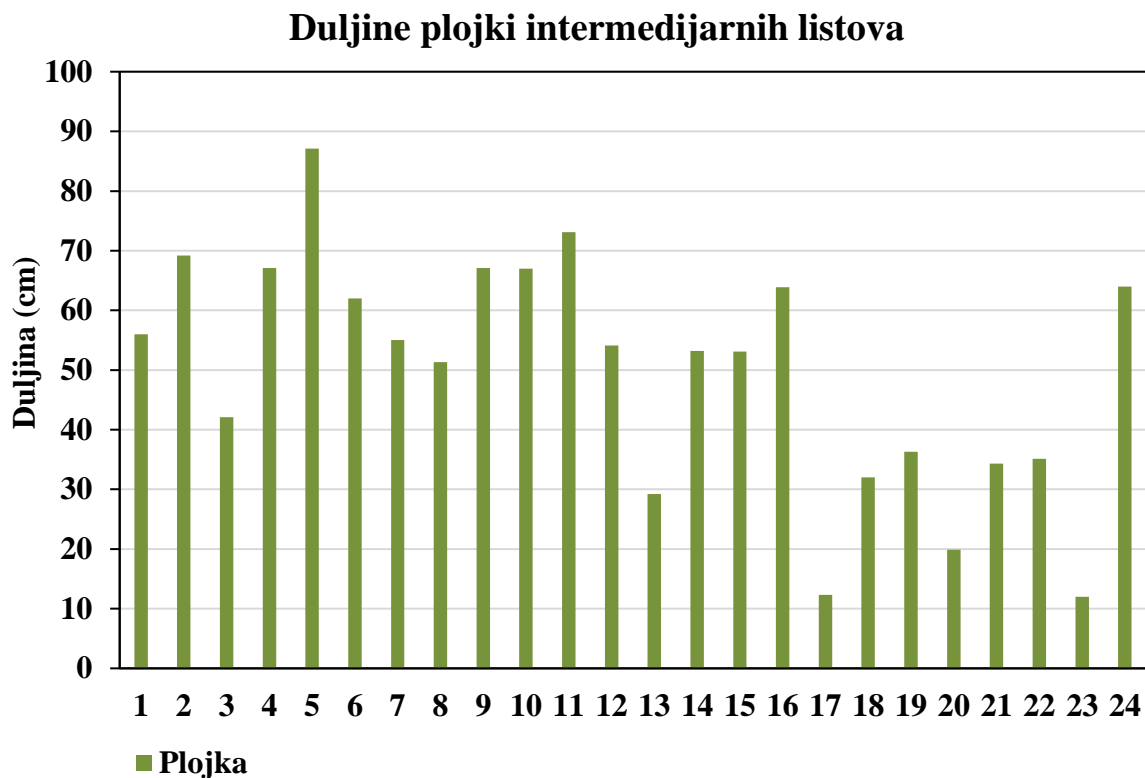
Gustoća naselja (broj izdanaka po m²) na dubini od 4 m iznosila je u prosjeku 621,88 ± 293,7, a na dubini od 10 m u prosjeku 476,25 ± 116,5.

5.2. BIOMETRIJA

Od 38 ispitivanih listova utvrđeno je 14 adultnih listova i 24 intermedijarnih listova. Slike 12. i 13. prikazuju duljine baza i plojki za svaki pojedini adultni i intermedijarni list.



Slika 12. Duljina baza i plojki adultnih listova (cm)



Slika 13. Duljine plojki intermedijarnih listova (cm)

U Tablici 11. i 12. prikazane su najniže, najviše i prosječne vrijednosti duljina i širina baza i plojki adultnih i intermedijarnih listova.

Tablica 11. Duljina baza i plojki adultnih i intermedijarnih listova

Duljina (cm)	ADULTNI		INTERMEDIJARNI
	BAZA	PLOJKA	PLOJKA
NAJNIŽA	2,1	21	12
NAJVIŠA	6,1	73,2	87,1
PROSJEČNA	4,43 ± 0,28	42,44 ± 3,8	49,85 ± 4,04

Tablica 12. Širina baza i plojki adultnih i intermedijarnih listova

Širina (cm)	ADULTNI		INTERMEDIJARNI
	BAZA	PLOJKA	PLOJKA
NAJNIŽA	0,9	0,8	0,8
NAJVIŠA	1,1	1	1
PROSJEČNA	1,007 ± 0,0165	0,92 ± 0,0155	0,9 ± 0,006

Tablica 13. prikazuje vrijednosti duljine, širine i površine adultnih (baza plus plojka) i intermedijarnih listova. Budući da su intermedijarni listovi građeni samo od plojke (baza im nije do kraja formirana) duljina, širina i površina plojke čine ujedno i duljinu, širinu i površinu cjelokupnog lista. Prosječna površina svih listova (adultni i intermedijarni) iznosila je $44,45 \pm 2,7 \text{ cm}^2$.

Tablica 13. Duljina, širina i površina adultnih i intermedijarnih listova

VRIJEDNOST	DULJINA (cm)		ŠIRINA (cm)		POVRŠINA (cm ²)	
	A	I	A	I	A	I
NAJNIŽA	25,1	12	0,8	0,8	25,1	10,8
NAJVIŠA	78,2	87,1	1,1	1	78,2	78,39
PROSJEČNO	46,86±3,9	49,85±4,05	0,96±0,01	0,9±0,006	43,5±3,8	44,99±3,7

Iz literature je preuzet podatak o prosječnom broju listova po izdanku ($6,43 \pm 0,03$; Balestri i Vallerini, 2003.) kako bi se izračunala površina listova po izdanku. U Tablici 14. prikazane su najniže, najviše i prosječne vrijednosti za površinu listova po izdanku.

Tablica 14. Površina listova po izdanku (m²)

Površina listova po izdanku (m ²)	
NAJNIŽA	0,006944
NAJVIŠA	0,050405
PROSJEČNA	0,028579 ± 0,001735

U Tablici 15. prikazan je indeks lisne površine koji izražava površinu listova u m² na 1 m² naselja.

Tablica 15. Indeks lisne površine

INDEKS LISNE POVRŠINE (m ² /m ²)	
NAJNIŽA VRIJEDNOST	3,31
NAJVIŠA VRIJEDNOST	24
PROSJEČNA VRIJEDNOST	13,61 ± 0,826

5.3. BIOMASA I PRIMARNA PROIZVODNJA

U Tablici 16. prikazana je suha masa baza i plojke adultnih i intermedijarnih listova izražena u g/cm².

Tablica 16. Suha masa baze i suha masa plojke u g/cm²

	SUHA MASA BAZE (g/cm²)	SUHA MASA PLOJKE (g/cm²)
MINIMALNO	0,002	0,002891
MAKSIMALNO	0,0124	0,006869
PROSJEČNO	0,0071 ± 0,000663	0,0052 ± 0,000138

U Tablici 17. prikazana je biomasa listova posidonije po izdanku i biomasa listova po m² naselja.

Tablica 17. Biomasa listova posidonije po izdanku i po m² naselja (g suhe mase)

	BIOMASA PO IZDANKU (g suhe mase)	BIOMASA PO m² (g suhe mase po m²)
MINIMALNO	0,20576	97,99
MAKSIMALNO	8,721696	4153,71
PROSJEČNO	2,31 ± 0,276	1102,31 ± 131,645

U Tablici 18. prikazane su vrijednosti godišnje primarne proizvodnje listova po izdanku i po m² izražene u g suhe mase.

Tablica 18. Godišnja primarna proizvodnja listova

	GODIŠNJA PRIMARNA PROIZVODNJA LISTOVA	
	g suhe mase po izdanku	g suhe mase po m²
MINIMALNO	0,89	422,5957
MAKSIMALNO	2,73	1298,41
PROSJEČNO	1,625 ± 0,144	774,1 ± 68,69

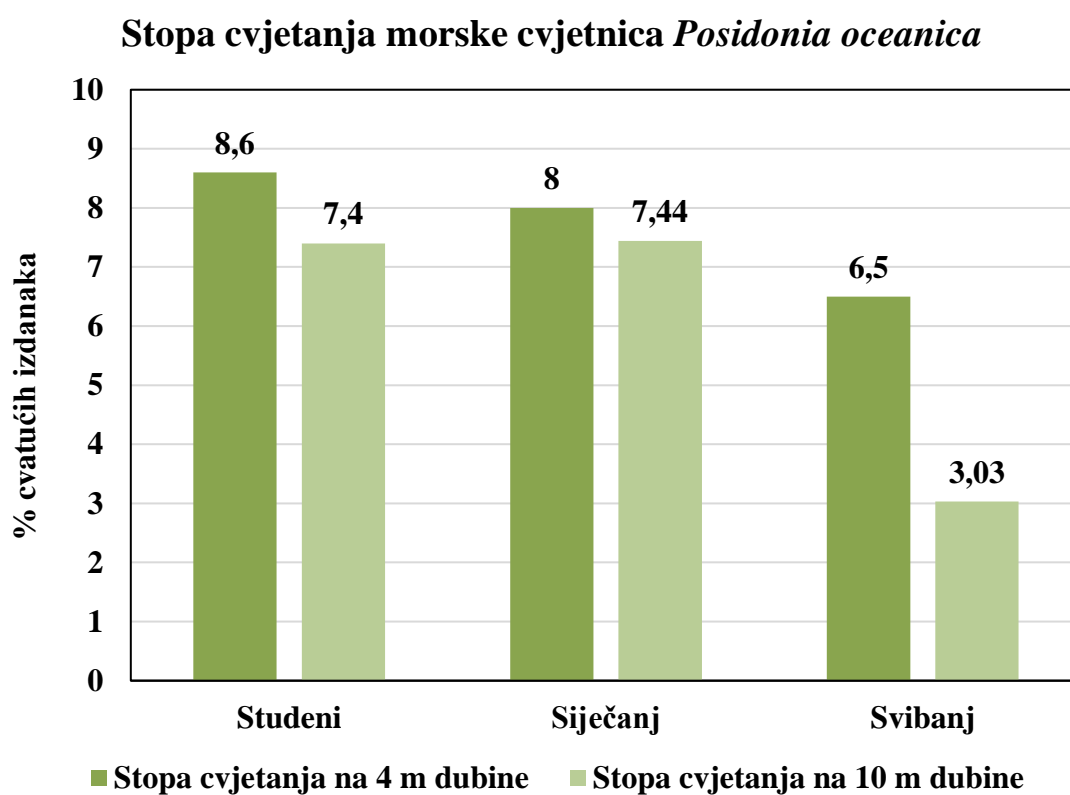
5.4. CVJETANJE POSIDONIJE

U Tablici 19. zabilježen je intenzitet cvjetanja posidonije na 4 i 10 m dubine izražen kao broj cvatova po izdanku i broj cvatova po m².

Tablica 19. Intenzitet cvjetanja posidonije

		4 m dubine	10 m dubine
Broj cvatova po m ²	MAX	93,75	56,25
	MIN	43,75	0
	MEAN	67,5 ± 6,17	28,75 ± 5,03
Broj cvatova po izdanku	MAX	0,103	0,103
	MIN	0,049	0
	MEAN	0,078 ± 0,0053	0,059 ± 0,0099

Na Slici 14. prikazana je stopa cvjetanja posidonije na 4 i 10 m dubine koja je izražena kao % izdanaka koji cvjetaju od ukupnog broja izdanaka.



Slika 14. Stopa cvjetanja morske cvjetnice *Posidonia oceanica* na dubini od 4 i 10 m

U Tablici 20. zabilježena je proizvodnja plodova na 4 i 10 m dubine izražena kao broj plodova po izdanku i po m².

Tablica 20. Proizvodnja plodova po izdanku i po m²

		4 m dubine	10 m dubine
Broj plodova po m²	MAX	12,5	0
	MIN	0	0
	MEAN	2,5 ± 1,67	0
Broj plodova po izdanku	MAX	0,016	0
	MIN	0	0
	MEAN	0,003 ± 0,002	0

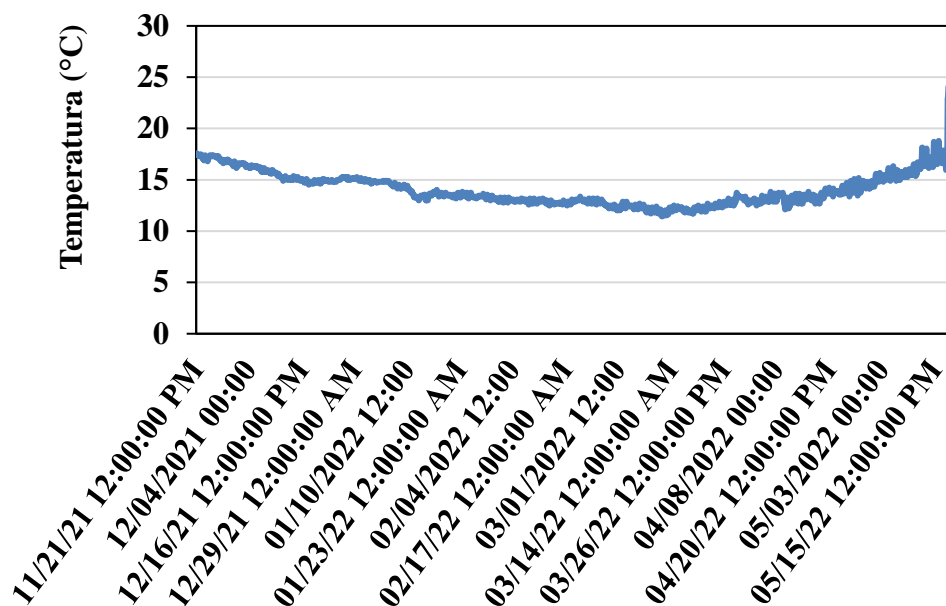
U Tablici 21. prikazan je reproduktivni uspjeh izražen kao postotak cvatova koji su proizveli plod po m² na 4 i na 10 m dubine.

Tablica 21. Reproductivni uspjeh na 4 i na 10 m dubine

		4 m dubine	10 m dubine
Reproduktivni uspjeh (% cvatova koji su proizveli plod)	Najviša vrijednost	18,18	0
	Najniža vrijednost	0	0
	Prosječno	3,25 ± 2,18	0

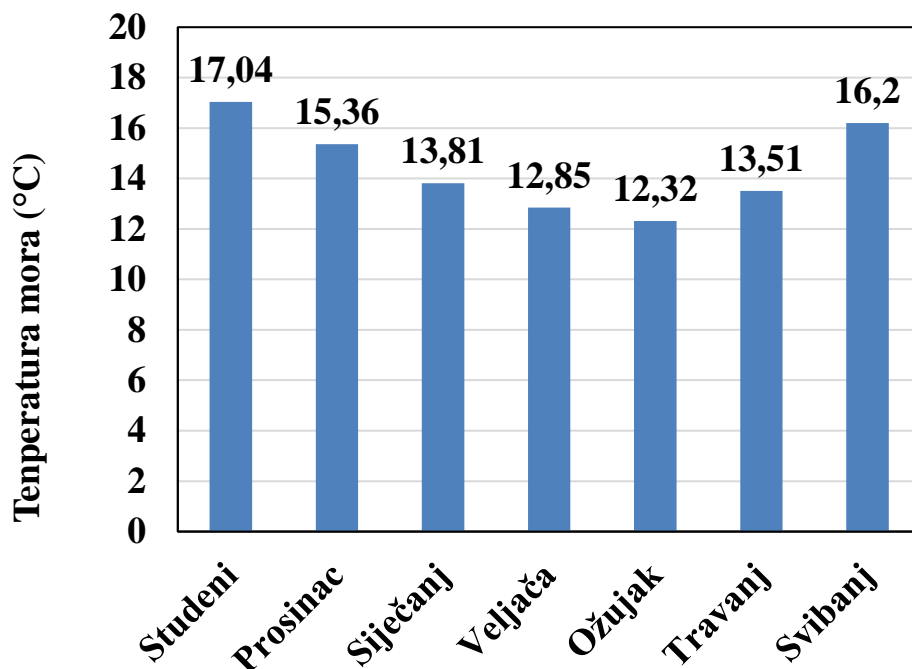
5.5. TEMPERATURA

Na Slici 15. prikazane su vrijednosti temperature mora (°C) zabilježene *data logger*-om na ~9,5 m dubine tijekom ispitivanog razdoblja (studeni–svibanj). Prosječna temperatura mora iznosila je 14,03 ± 0,034 °C. Minimum temperature mora zabilježen je 11. ožujka 2022. u 20:00 sati i iznosio je 11,43 °C, a maksimum je zabilježen 18. svibnja 2022. u 18:00 sati i iznosio je 24,06 °C.



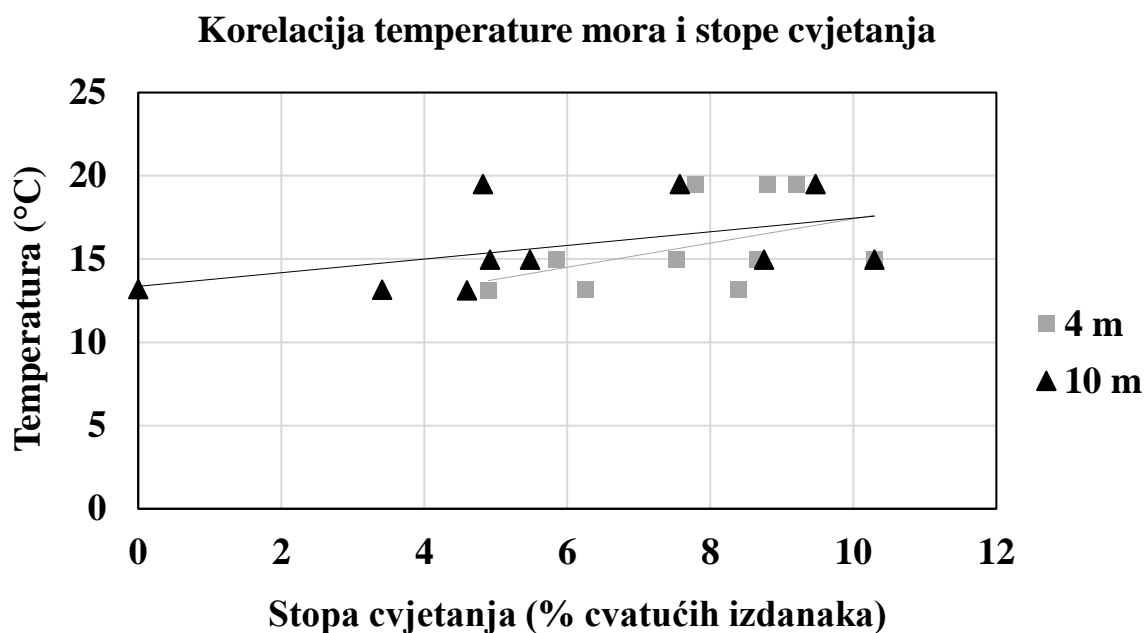
Slika 15. Vrijednosti temperature mora tijekom ispitivanog razdoblja na dubini ~9,5 m

Prosječne vrijednosti za svaki pojedini mjesec prikazane su na Slici 16. Najviša prosječna mjesečna temperatura mora zabilježena je u studenom (17,04 °C), a najniža prosječna mjesečna temperatura je zabilježena u ožujku (12,32 °C).



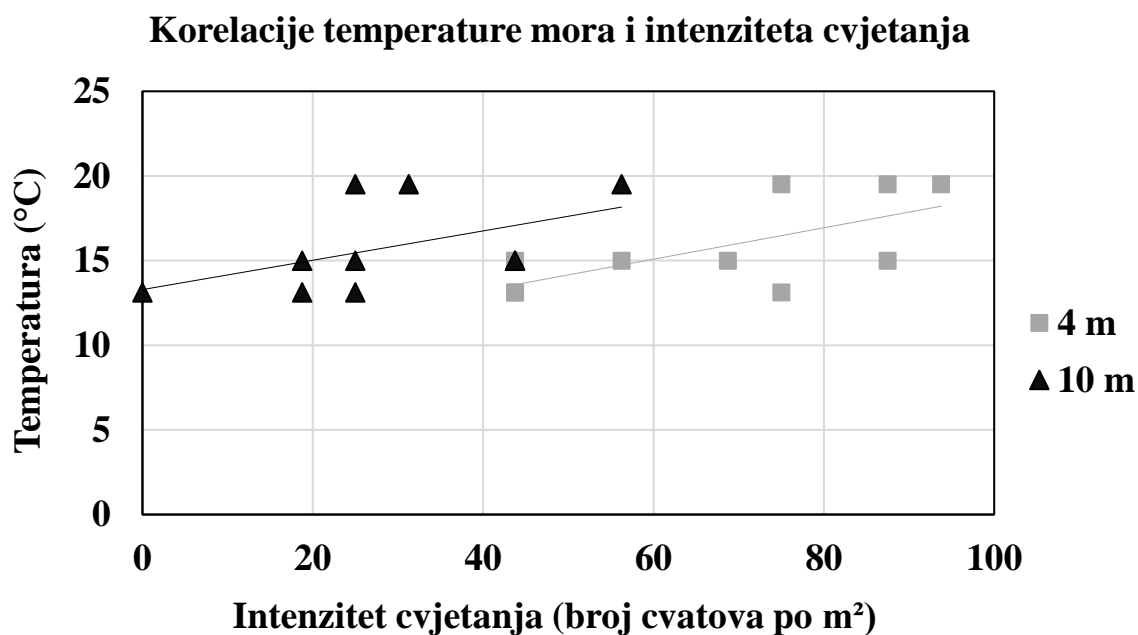
Slika 16. Prosječna mjesečna temperatura mora (°C) tijekom ispitivanog razdoblja dobivena data logger-om na ~9,5 m dubine

Na Slici 17. prikazana je korelacija temperature mora i stope cvjetanja na 4 i na 10 m dubine.



Slika 17. Korelacija temperature mora i stope cvjetanja

Na Slici 18. prikazana je korelacija temperature mora i intenziteta cvjetanja na 4 i na 10 m dubine.



Slika 18. Korelacija temperature mora i intenziteta cvjetanja

6. RASPRAVA

Gustoća posidonije razlikovala se po dubini: $621,88 \pm 293,7$ izdanaka po m^2 na 4 m dubine i $476,25 \pm 116,5$ izdanaka po m^2 na 10 m dubine. Prema UNEP (2001.) klasifikaciji, gustoća naselja na obje dubine svrstava se u N kategoriju (Normal) što znači da je zadovoljavajuće vitalnosti i da nema prisutnog antropogenog pritiska.

Biometrijom je od 38 ispitivanih listova utvrđeno 14 adultnih i 24 intermedijarnih listova. Balestri i suradnici (2004.) sugerirali su da bi veći broj intermedijarnih listova mogao biti rezultat prekomjerne proizvodnje povezane s fiziološkim reakcijama biljaka u stresnim uvjetima. Biometrijom je također utvrđena prosječna duljina ($46,86 \pm 3,9$ cm), širina ($0,96 \pm 0,01$ cm) te površina ($43,5 \pm 3,8$ cm^2) adultnih listova kao i prosječna duljina ($49,85 \pm 4,05$ cm), širina ($0,9 \pm 0,006$ cm) i površina ($44,99 \pm 3,7$ cm^2) intermedijarnih listova. Prosječna duljina adultnih listova ($46,86 \pm 3,9$ cm) je u rasponu vrijednosti koje su utvrdili Mačić (2013.) te Pergent–Martini i sur., (1994.) na dubini od 10 m (38–52,5 cm), dok je prosječna duljina intermedijarnih listova ($49,85 \pm 4,05$ cm) malo veća od vrijednosti koje je utvrdila Mačić (2013.) (33,1–41,31 cm). Prosječna površina svih listova iznosila je $44,45 \pm 2,7$ cm^2 . Prosječna površina adultnih listova također je usporediva s vrijednostima utvrđenim na 10 m dubine (Mačić, 2013.) koje su u rasponu od 38,318–48,825 cm^2 , dok je površina intermedijarnih listova bila značajno veća od vrijednosti koje je Mačić (2013.) utvrdila na 10 m dubine (28,8–37 cm^2). Prosječna površina listova po izdanku iznosila je $0,028579 \pm 0,001735$ m^2 što je u rasponu vrijednosti koje je utvrdila Mačić (2013.) (0,022059–0,02993 m^2 po izdanku). Prosječna vrijednost indeksa lisne površine iznosila je $13,61 \pm 0,826$ m^2/m^2 . Najniža vrijednost iznosila je 3,31 m^2/m^2 , dok je najviša iznosila 24 m^2/m^2 . Prosječna vrijednost indeksa lisne površine veća je od vrijednosti koje je Mačić (2013.) utvrdila na tri lokacije na 10 m dubine (11,3, 11,97 i 8,9 m^2/m^2). Veći indeks lisne površine ukazuje na veći kapacitet sekvestracije ugljika i proizvodnje kisika. Također veći lisni pokrov omogućuje bolji zaklon organizmima i predstavlja izvor hrane za brojne organizme te tako doprinosi lokalnoj bioraznolikosti.

Utvrđene su vrijednosti biomase u rasponu od 97,99–4153,71 g suhe mase po m^2 (prosječno $1102,31 \pm 131,645$). Zabilježena prosječna vrijednost biomase po m^2 znatno je veća od prosječnih vrijednosti prijavljenih u Sghaier i sur., (2006.) na dubini od 10 m (prosječno 36; 77,35; 133,5; i 661,5 g suhe mase po m^2).

Godišnja primarna proizvodnja listova iznosila je od 0,89–2,73 g suhe mase po izdanku (prosječno $1,63 \pm 0,144$) te od 422,6–1298,41 g suhe mase po m^2 (prosječno $774,1 \pm$

68,69). Vrijednosti godišnje primarne proizvodnje po izdanku ($1,63 \pm 0,144$) i po m^2 ($774,1 \pm 68,69$) su usporedive s vrijednostima na 10 m dubine na lokaciji Korzika, Francuska (Pergent-Martini i Pergent, 1994.) koje su iznosile 1,53 g suhe mase po izdanku i 734,4 g suhe mase po m^2 . Utvrđena primarna proizvodnja bila je veća od primarne proizvodnje na tri lokacije u Italiji na istoj dubini (Pergent-Martini i Pergent, 1994.) koja je iznosila od 0,66–1,32 g suhe mase po izdanku i od 220,8–463,3 g suhe mase po m^2 .

Prosječan intenzitet cvjetanja na 4 m dubine iznosio je $0,078 \pm 0,0053$ cvatova po izdanku i $67,5 \pm 6,17$ cvatova po m^2 , dok je na 10 m dubine iznosio $0,059 \pm 0,0099$ cvatova po izdanku i $28,75 \pm 5,03$ cvatova po m^2 . Morska cvjetnica *P. oceanica* u akvatoriju otoka Silbe cvjetala je slabijim intenzitetom nego što je zabilježila Balestri (2004.) na dvije lokacije u SZ Italiji na 9–10 m dubine (71,5 i 129,3 cvatova po m^2).

Maksimalna stopa cvjetanja zabilježena je u studenom na 4 m dubine kada je 8,6% izdanaka cvjetalo i smanjivala se kroz vrijeme. Tijekom cijelog ispitivanog razdoblja stopa cvjetanja bila je veća na 4 m dubine od stope cvjetanja na 10 m. Minimalna stopa cvjetanja zabilježena je na 10 m dubine u svibnju kada je samo 3,03 % izdanaka cvjetalo. Prosječna stopa cvjetanja iznosila je $7,7 \pm 0,625$ % izdanaka na 4 m dubine i $5,96 \pm 1,46$ % izdanaka na 10 m dubine. Stopa cvjetanja na 4 m dubine ($7,7 \pm 0,625$ %) usporediva je sa stopom cvjetanja koju su utvrdili Balestri i Cinelli (2003.) na 3–4 m dubine na području SZ Italije; Livorno ($7,9 \pm 3,8$ %) 1993. međutim poprilično se razlikuje od stope cvjetanja koju su utvrdili navedeni autori u istom naselju posidonije godinu dana kasnije ($19,8 \pm 7,1$ %). Iako stopa cvjetanja može biti poprilično promjenjiva kroz godine obično cvjeta manje od 10 % izdanaka posidonije (Balestri i Vallerini, 2003.; Balestri, 2004.) što je u skladu s dobivenim rezultatima.

Stopa cvjetanja i intenzitet cvjetanja bili su u pozitivnoj korelaciji s temperaturom mora međutim jedino korelacija temperature i intenziteta cvjetanja na 4 m dubine ($R=0,67$) je bila statistički značajna ($p=0,03$).

Proizvodnja plodova iznosila je od 0–12,5 plodova po m^2 na 4 m dubine, dok na dubini od 10 m nije zabilježen niti jedan plod. Prosječan broj plodova po m^2 na 4 m dubine iznosio je $2,5 \pm 1,67$. Balestri i Cinelli (2003.) su utvrdili da proizvodnja plodova, kao i stopa cvjetanja, mogu poprilično varirati kroz godine. Prema njihovim rezultatima, 1993. godine proizvodnja plodova iznosila je $4,7 \pm 6,9$ plodova po m^2 na 3–4 m dubine (Livorno; SZ Italija), a u istom naselju posidonije godinu dana kasnije iznosila je $13,5 \pm 10,6$ plodova po m^2 . Iako njihovi rezultati ukazuju da stopa cvjetanja i proizvodnje plodova variraju kroz godine, reproduktivni uspjeh je konstantan i vrlo nizak (2–2,4 %), a najvjerojatniji uzroci su pobačaj plodova i predacija sjemena od strane biljojeda. Ovim istraživanjem utvrđeno je da na 10 metara dubine

niti jedan cvijet nije proizveo plod (reproduktivni uspjeh 0 %). Na listovima vizualnim pregledom tijekom izvođenja biometrijske analize nisu utvrđeni tragovi ispaše što sugerira da bi neuspjelo cvjetanje na 10 m dubine moglo biti posljedica unutrašnjih čimbenika koji su doveli do pobačaja plodova. Na dubini od 4 m, u skladu s prethodnim otkrićima (Caye i Meinesz, 1984.; Buia i Mazzella, 1991.; Piazzini i sur., 2000.; Balestri i Cinelli, 2003.), samo mali postotak cvatova je proizveo plodove (reproduktivni uspjeh $3,25 \pm 2,18$ %).

7. ZAKLJUČAK

1. Gustoća naselja *P. oceanica* promjenjiva je s obzirom na dubinu. Na dubini od 4 m gustoća je iznosila prosječno 621,88 izdanaka po m², dok je na 10 m dubine iznosila prosječno 476,25 izdanaka po m² što ukazuje na zadovoljavajući status naselja.
2. Biometrijska analiza je pokazala razlike između adultnih i intermedijarnih listova, s većim brojem intermedijarnih listova koji bi mogli biti posljedica stresa biljaka. Utvrđena je veća duljina (~49,85 cm) i površina (~44,99) intermedijarnih listova od duljine (~46,86 cm) i površine (~43,5 cm²) adultnih listova.
3. Utvrđena je visoka prosječna vrijednost indeksa lisne površine (13,61 m²/m²) što ukazuje na veći potencijalni kapacitet sekvestracije ugljika i proizvodnje kisika.
4. Utvrđeno je da *P. oceanica* u akvatoriju otoka Silbe proizvodi velike količine biomase na 10 m dubine (prosječno 1102,31 g suhe mase po m²) što je znatno više u usporedbi s ranijim istraživanjima na istoj dubini.
5. Godišnja primarna proizvodnja listova na 10 m dubine iznosila je prosječno 774,1 ± 68,69 g suhe mase po m² što je usporedivo s vrijednostima na 10 m na lokaciji Korzika, Francuska i znatno više od vrijednosti utvrđenih na tri lokacije u Italiji na istoj dubini.
6. Prosječan intenzitet cvjetanja značajno se razlikovao po dubini. Na 4 m dubine intenzitet je iznosio u prosjeku 67,5 cvatova po m², dok je na 10 m dubine iznosio prosječno 28,75 cvatova po m². Zabilježene vrijednosti su znatno manje od vrijednosti zabilježenih u SZ Italiji na 9–10 m dubine.
7. Smatra se da obično cvjeta manje od 10 % izdanaka posidonije. Utvrđena prosječna stopa cvjetanja iznosila je manje od 10 % (prosječno 7,7 % izdanaka na 4 m dubine i 5,96 % izdanaka na 10 m dubine) te se ovo cvjetanje ne smatra izvanrednim. Tijekom cijelog ispitivanog razdoblja stopa cvjetanja bila je veća na 4 m dubine, i smanjivala se kroz vrijeme.
8. Tijekom ispitivanog razdoblja (studeni–svibanj) prosječna temperatura mora iznosila je 14,03 ± 0,034 °C. Otkrivena je pozitivna korelacija između stope cvjetanja i temperature te intenziteta cvjetanja i temperature međutim jedino korelacija temperature i intenziteta cvjetanja na 4 m dubine (R=0,67) je bila statistički značajna (p=0,03).
9. Proizvodnja plodova na 4 m dubine (~2,5 plodova po m²) bila je niža od vrijednosti utvrđenih drugim istraživanjima, dok na 10 m dubine nije zabilježen niti jedan plod.

10. Na 10 metara dubine niti jedan cvat nije proizveo plod (reproduktivni uspjeh 0 %) što bi moglo biti posljedica unutrašnjih čimbenika koji su doveli do neuspjelog stvaranja plodova. Na dubini od 4 m vrlo mali postotak cvatova je proizveo plodove (reproduktivni uspjeh ~3,25 %) što je u skladu s prethodnim otkrićima o niskom reproduktivnom uspjehu.

8. LITERATURA

1. ArcMap Desktop 10.4.1 (<https://www.esri.com/en-us/home>).
2. Bakran-Petricioli, T., i Schultz, S. (2010.). Biometry and leaf lepidochronology of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Croatian Adriatic. In *SYMPOSIUM ON MARINE VEGETATION* (p. 28).
3. Balestri, E., i Cinelli, F. (2003.). Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 75(1), 21-32.
4. Balestri, E., i Vallerini, F. (2003.). Interannual variability in flowering of *Posidonia oceanica* in the North-Western Mediterranean Sea, and relationships among shoot age and flowering.
5. Balestri, E. (2004.). Flowering of the seagrass *Posidonia oceanica* in a north-western Mediterranean coastal area: temporal and spatial variations. *Marine Biology*, 145(1), 61-68.
6. Balestri, E., Vallerini, F., i Lardicci, C. (2017.). Recruitment and patch establishment by seed in the seagrass *Posidonia oceanica*: importance and conservation implications. *Frontiers in plant science*, 8, 1067.
7. Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., ... i Tunesi, L. (2012.). Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows (p. 202). RAMOGE and RAC/SPA.
8. Diaz-Almela, E., Marbà, N., Álvarez, E., Balestri, E., Ruiz-Fernández, J. M., i Duarte, C. M. (2006.). Patterns of seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering in the Western Mediterranean. *Marine Biology*, 148(4), 723-742.
9. Diaz-Almela, E., Marbà, N., i Duarte, C. M. (2007.). Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records. *Global change biology*, 13(1), 224-235.
10. Gambi, M. C., Borg, J. A., Buia, M. C., Di Carlo, G., Pergent-Martini, C., Pergent, G., i Procaccini, G. (2006.). Proceedings of the Mediterranean Seagrass Workshop 2006.
11. Guala I., Nikolic V., Ivesa L., Di Carlo G., Rajkovic Z., Rodic P., i Jelic K. (2014.). Monitoring Programme for *Posidonia* Beds (*Posidonion oceanicae*), MedMPAnet Project
12. Guidetti, P., Buia, M. C., i Mazzella, L. (2000.). The use of lepidochronology as a tool of analysis of dynamic features in the seagrass *Posidonia oceanica* of the Adriatic Sea.

13. Larkum, A. W., Orth, R. J., i Duarte, C. M. (2006.). Seagrasses (p. 691). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
14. Mačić, V. (2013.). INTENSIVE FRUCTIFICATION OF POSIDONIA OCEANICA (L.) DEL. ON THE COAST OF MONTENEGRO (SOUTH-EAST ADRIATIC SEA).
15. Magaš, D. i Vejmelka, J. (2013.). Physical-Geographical Features of the Silba Island / Prirodno-geografska obilježja otoka Silbe.
16. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2022.)
<https://www.haop.hr/hr/novosti/potpisan-ugovor-o-financiranju-projekta-kk0651020001-kartiranje-obalnih-i-pridnenih-morskih>
17. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2017.)
<https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/bioraznolikost/morske-vrste/morske>
18. Montefalcone, M., Giovannetti, E., Morri, C., Peirano, A., i Bianchi, C. N. (2013.). Flowering of the seagrass *Posidonia oceanica* in NW Mediterranean: is there a link with solar activity? *Mediterranean Marine Science*, 416-423.
19. Pergent-Martini, C., i Pergent, G. (1994.). Lepidochronological analysis in the mediterranean seagrass *posidonia-oceanica* state-of-the-art and future-developments. *Oceanologica acta*, 17(6), 673-681.
20. Pergent-Martini, C., Rico-Raimondino, V., i Pergent, G. (1994.). Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean Basin. *Marine Biology*, 120, 9-15.
21. Poursanidis, D., Topouzelis, K., i Chrysoulakis, N. (2018.). Mapping coastal marine habitats and delineating the deep limits of the Neptune's seagrass meadows using very high-resolution Earth observation data. *International journal of remote sensing*, 39(23), 8670-8687.
22. Ruiz, J. M., Marín-Guirao, L., García-Muñoz, R., Ramos-Segura, A., Bernardeau-Esteller, J., Pérez, M., ... i Procaccini, G. (2018.). Experimental evidence of warming-induced flowering in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine pollution bulletin*, 134, 49-54.
23. Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E. T., Fraschetti, S., ... i Salomidi, M. (2015.). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific reports*, 5(1), 12505.
24. Traganos, D., Lee, C. B., Blume, A., Poursanidis, D., Čižmek, H., Deter, J., ... i Reinartz, P. (2022.). Spatially explicit seagrass extent mapping across the entire Mediterranean. *Frontiers in Marine Science*, 9.

25. Tutar, O., Ruocco, M., Dattolo, E., Lacorata, G., Corrado, R., Watteaux, R., ... i Procaccini, G. (2022.). High levels of genetic diversity and population structure in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* at its easternmost distribution limit. *ICES Journal of Marine Science*, 79(8), 2286-2297.
26. UNEP(DEC)/MED WG. 190/Inf.11 (2001.): Guidelines for impact assessment on seagrass meadows, Mediterranean action plan, Athens
27. University of Maryland, (2023.) <https://ian.umces.edu/media-library/posidonia-oceanica-growing-on-matte/>
28. Zubak, I., Čížmek, H., i Mokos, M. (2020.). *Posidonia oceanica* lower depth limits along a latitudinal gradient in the eastern Adriatic Sea. *Botanica Marina*, 63:3, 209-214.

POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Rasprostranjenost morske cvjetnice <i>Posidonia oceanica</i> . Zelena boja označuje prisutnost posidonije, siva da posidonija nije prisutna i narančasta nedostatak podataka. A) zapadno Sredozemno more; B) središnji dio Sredozemnog mora; C) istočno Sredozemno more (Telesca i sur., 2015.).....	3
Slika 2. Rasprostranjenost vrste <i>Posidonia oceanica</i> u Hrvatskoj (Guala i sur., 2014.).....	4
Slika 3. Naselje morske cvjetnice <i>Posidonia oceanica</i> u akvatoriju otoka Silbe (Čižmek, H.)	6
Slika 4. Građa morske cvjetnice <i>Posidonia oceanica</i> (University of Maryland, 2023.).....	7
Slika 5. Lijevo: izdanak s listovima u snopiću (Zubak-Čižmek, I.). Desno: (a) adultni list s formiranom bazom, (b) adultni list kojemu se počinje formirati baza, (c) intermedijarni list bez baze i (d) juvenilni list (prilagođeno prema Boudouresque i sur., 2012.).	8
Slika 6. Cvjetajući izdanak i cvat morske cvjetnice <i>Posidonia oceanica</i> (Zubak-Čižmek, I.)	9
Slika 7. Plod morske cvjetnice <i>Posidonia oceanica</i> i poprečni presjek ploda sa sjemenkom (Zubak-Čižmek, I.).....	10
Slika 8. Pojava cvjetanja morske cvjetnice <i>Posidonia oceanica</i> u akvatoriju otoka Silbe (Čižmek, H.).....	11
Slika 9. Ljestvica za ocjenu gustoće (broj izdanaka po m ²) naselja posidonije s obzirom na dubinu. A: Abnormalno, S-:Subnormalno, N: Normalno, S+:Supranormalno.....	13
Slika 10. Područje istraživanja (karta izrađena u softveru ArcMap Desktop 10.4.1)	26
Slika 11. Oprema korištena za istraživanje (A) kvadrat za istraživanje veličine 40x40 cm, ronilačka pločica i olovo; (B) data logger za praćenje temperature	27
Slika 12. Duljina baza i plojki adultnih listova (cm).....	30
Slika 13. Duljine plojki intermedijarnih listova (cm).....	31
Slika 14. Stopa cvjetanja morske cvjetnice <i>Posidonia oceanica</i> na dubini od 4 i 10 m	34
Slika 15. Vrijednosti temperature mora tijekom ispitivanog razdoblja na dubini ~9.5 m	36
Slika 16. Prosječna mjesečna temperatura mora (°C) tijekom ispitivanog razdoblja dobivena data logger-om na ~9.5 m dubine.....	36
Slika 17. Korelacija temperature mora i stope cvjetanja	37
Slika 18. Korelacija temperature mora i intenziteta cvjetanja.....	37

POPIS TABLICA

Tablica 1. Klasifikacija morske cvjetnice posidonije (<i>Posidonia oceanica</i>).....	1
Tablica 2. Intenzitet cvjetanja (broj cvatova po izdanku).....	17
Tablica 3. Intenzitet cvjetanja (broj cvatova po m ²).....	17
Tablica 4. Stopa cvjetanja i proizvodnje plodova, reproduktivni uspjeh	17
Tablica 5. Duljina, širina i površina adultnih (A) i intermedijarnih (I) listova.....	18
Tablica 6. Godišnja stopa proizvodnje listova po izdanku.....	19
Tablica 7. Površina listova po izdanku u m ²	20
Tablica 8. Indeks lisne površine po m ² naselja	20
Tablica 9. Biomasa posidonije na 10 m dubine (g suhe mase po izdanku i po m ²)	21
Tablica 10. Godišnja primarna proizvodnja listova (g suhe mase po izdanku i po m ²)	21
Tablica 11. Duljina baza i plojki adultnih i intermedijarnih listova Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.	
Tablica 12. Širina baza i plojki adultnih i intermedijarnih listova	31
Tablica 13. Duljina, širina i površina adultnih i intermedijarnih listova	32
Tablica 14. Površina listova po izdanku (m ²)	32
Tablica 15. Indeks lisne površine.....	32
Tablica 16. Suha masa baze i suha masa plojke u g/cm ²	33
Tablica 17. Biomasa listova posidonije po izdanku i po m ² naselja (g suhe mase).....	33
Tablica 18. Godišnja primarna proizvodnja listova	33
Tablica 19. Intenzitet cvjetanja posidonije	34
Tablica 20. Proizvodnja plodova po izdanku i po m ²	35
Tablica 21. Reproductivni uspjeh na 4 i na 10 m dubine.....	35