

# KRČENJE MORSKIH TRAVNIKOV V SLOVENSKEM MORJU ZARADI VPLIVA PODNEBNIH SPREMEMB IN DRUGIH POSREDNIH DEJAVNIKOV

LOVRENC LIPEJ,<sup>1</sup> BORUT MAVRIČ,<sup>1</sup> DOMEN TRKOV,<sup>1</sup>  
MARTINA ORLANDO-BONACA,<sup>1</sup> DANIJEL IVAJNSIČ<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Morska biološka postaja, Nacionalni inštitut za biologijo, Piran, Slovenija  
lovrenc.lipej@nib.si, borut.mavric@nib.si, domen.trkov@nib.si,  
martina.orlando@nib.si

<sup>2</sup> Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Maribor, Slovenija  
dani.ivajnsic@um.si

<sup>3</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija  
dani.ivajnsic@um.si

**Sinopsis** V zadnjih desetletjih smo pričča postopnemu izginjanju morskih travnikov na globalnem nivoju, pri čemer naj bi se njihova površina skrčila za tretjino. Tudi v slovenskem delu Jadrana prihaja do krčenja morskih travnikov, glavne vzroke za to moramo pripisati dejavnikom, kot so plovne poti in pristaniške dejavnosti, poglobljanje morskega dna, komercialne in rekreacijske dejavnosti, kot sta ribolov in privezovanje, odtekanje vode z urbanih in kmetijskih območij, v zadnjem času tudi vse intenzivnejše podnebne spremembe in kisanje oceanov. V pričujoči publikaciji predstavljamo rezultate kartiranja morskih travnikov v Krajinskem parku Strunjan, kjer je bilo v zadnjih letih, zlasti od leta 2018, opaženo obsežno upadanje. Ob tem razpravljamo o dejavnikih, ki vplivajo na razširjenost in regresijo morskih travnikov. Uporaba digitalnih ortofoto posnetkov in satelitskih podob (daljinsko zaznavanje) sta se izkazali za obetavni metodi, ki sta omogočili ugotavljanje prostorskih sprememb v času. Na predelih notranjega dela Strunjanskega zaliva so se travniki kolenčaste cimodoceje (*Cymodocea nodosa*) skrčili za več kot 80 % površine iz leta 2017. Upoštevanje pokrovnost morskih travnikov v celotnem slovenskem morju se je ta v letih od 2017 do 2018 zmanjšala za približno dobro petino.

## Ključne besede

morski travniki,  
*Cymodocea nodosa*,  
izginjanje,  
kartiranje,  
podnebne  
spremembe

# SHRINKAGE OF SEAGRASS MEADOW COVERAGE IN THE SLOVENIAN SEA AS AN EFFECT OF CLIMATE CHANGE AND OTHER INDIRECT FACTORS

LOVRENC LIPEJ,<sup>1</sup> BORUT MAVRIČ,<sup>1</sup> DOMEN TRKOV,<sup>1</sup>  
MARTINA ORLANDO-BONACA,<sup>1</sup> DANIJEL IVAJNSIČ<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Marine Biology Station Piran, National Institute of Biology, Piran, Slovenia  
lovrenc.lipej@nib.si, borut.mavric@nib.si, domen.trkov@nib.si,  
martina.orlando@nib.si

<sup>2</sup> University of Maribor, Faculty of Arts, Maribor, Slovenia  
dani.ivajnsic@um.si

<sup>3</sup> University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor,  
Slovenia  
dani.ivajnsic@um.si

**Abstract** In recent decades, we have witnessed the gradual disappearance of seagrass meadows on a global scale, with their area expected to shrink by a third. Seagrass meadows are also shrinking in the Slovenian part of the Adriatic Sea. The main reasons for this are attributed to factors such as waterways and port activities, seabed deepening, commercial and recreational activities such as fishing and mooring, runoff from urban and agricultural areas and, more recently, increasing climate change and ocean acidification. In the present publication, we present the results of mapping seagrass meadows in the Strunjan Landscape Park, where a significant decline has been observed in recent years, especially in 2018. In addition, we discuss the factors determining the occurrence and regression of seagrass meadows. The use of digital ortho-photo images of satellite imagery (remote sensing) has proven to be a promising method to identify spatial changes over time. In areas of the inner part of Strunjan Bay, *Cymodocea nodosa* meadows have shrunk by more than 80% of the 2017 area. Considering the coverage of seagrass meadows in the entire Slovenian Sea, it decreased by about one-fifth between 2017 and 2018.

**Keywords:**

seagrass meadows,  
*Cymodocea nodosa*,  
disappearance,  
mapping, climate  
change

## 1 Uvod

Morski travniki so med najbolj produktivnimi okolji v morjih in oceanih [1], [2]. So izjemnega pomena, saj nudijo bivalne niše, hrano in zavetje pred plenilci mnogim pomembnim organizmom v lagunskih in morskih ekosistemih [3]. Ta zelo produktivna okolja zelo pomembna za dobrobit človeka [4], [5], saj zagotavljajo številne ekosistemske storitve, kot so umirjanje delovanja valov s posledično zaščito obale pred erozijo, [6], stabilizacija sedimentov [7], [8], urejanje ciklov hranil in sekvestracija ogljika [9], čiščenje morske vode [10] ter predstavljajo sistem za izobraževanje in raziskave [11]. Ob tem so to kritična območja za mnoge vrste tarčnih morskih organizmov z vidika ribištva, še posebej kot zatočišča ribjih mladice [12]. Zaradi navedenega so jih vključili med prioritete habitate v številnih pravnih regulativah, vključno z evropsko habitatno direktivo [13].

Morski travniki so torej bolj ali manj morski ekvivalent tropskih deževnih gozdov, njihovo zdravje pa je povezano z različnimi vrstami antropogenih pritiskov. Glavni stresni dejavniki vključujejo plovne poti in pristaniške dejavnosti, poglobljanje morskega dna, komercialne in rekreacijske dejavnosti, kot sta ribolov in privezovanje, odtekanje vode z urbanih in kmetijskih območij, v zadnjem času tudi vse intenzivnejše podnebne spremembe in kisanje oceanov [14]–[20]. V zadnjih desetletjih se morski travniki povsod po svetu soočajo z drastičnim krčenjem z ocenjeno hitrostjo 2–5 % leto<sup>-1</sup> [2], [21]–[23], predvsem v obalnih območjih [19], [24]–[27]. Poročajo, da je z vidika pokrovnosti tretjina morskih travnikov na planetu že izginila [28], [29].

Na svetu živi 72 vrst različnih morskih cvetnic iz 6 družin in pripadajočih 14 rodovom [30]. V evropskih morskih vodah uspevajo štiri avtohtone vrste morske trave: *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, *Zostera marina* Linnaeus in *Zostera noltei* Hornemann [31]. Vse štiri so prisotne tudi v severnem Jadranu in v slovenskem morju. V pričujoči publikaciji predstavljamo rezultate kartiranja morskih travnikov v Krajinskem parku Strunjan, kjer je bilo v zadnjih letih, zlasti od leta 2018 naprej, opaženo obsežno upadanje. Ob tem razpravljamo o dejavnikih, ki vplivajo na razširjenost in regresijo morskih travnikov. Naši rezultati so ključni za prepoznavanje možnih virov vpliva na stanje morskih travnikov, za razvoj strategij celostnega prostorskega načrtovanja v Tržaškem zalivu

in kot izhodišče za prihodnje dejavnosti spremljanja in obnove na območjih, kjer je obseg morskih travnikov že upadel.

## 2 Metode

### 2.1 Raziskave biodiverzitete v Krajinskem parku Strunjan

Na podlagi florističnih in favnističnih argumentov, geoloških značilnosti in krajinske vrednosti [32] so območje lagune Stjuže, pretočne lagune, strunjanskih solin in obrežnega morja v smeri proti Izoli leta 1990 razglasili za Krajinski park Strunjan. Območje je bilo predmet ekoloških raziskav že pred razglasitvijo. Prve so potekale že davnega leta 1973, ko so Avčin idr. (1973) [33] opravili obsežen pregled flore, favne, vegetacije ter spremljajočih ekoloških dejavnikov strunjanske Stjuže in bližnjih solin. Sicer je bilo okolju strunjanske lagune Stjuže in bližnje okolice (navzlic dejstvu, da gre za eno od dveh lagun oziroma specifičnih življenjskih okolij v Sloveniji) posvečeno le malo pozornosti s strani raziskovalcev, bistveno manj kot npr. drugi deli v okviru Krajinskega parka Strunjan. Intenzivna raziskovanja morske biodiverzitete so se v območju parka pričele leta 1998 s popisi biodiverzitete na nivoju favne morskih nevretenčarjev in rib, popisa flore in vegetacije ter popisa habitatnih tipov. Strunjanska Stjuža je bila vnovič inventarizirana trideset let kasneje z obsežnimi vzorčenji [34]. Zadnja inventarizacija lagune Stjuže, pretočne lagune in bližnjih predelov je bila opravljena leta 2019 [35].

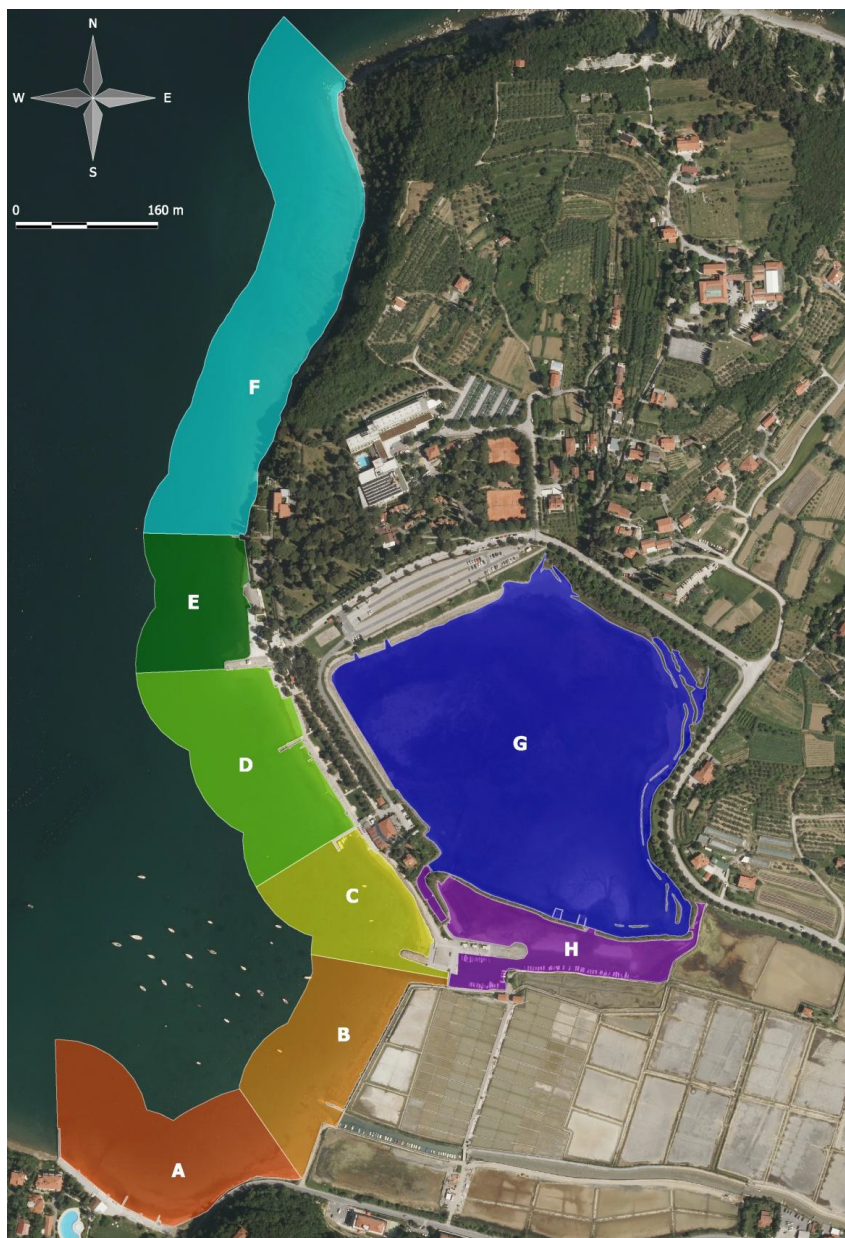
Omenjene raziskave so pokazale, da se lagunsko okolje v Strunjanu sooča z različnimi posrednimi in neposrednimi vplivi, med drugim tudi zaradi podnebnih sprememb. Tako je bilo v Pretočni laguni in Stjuži potrjeno 19 vrst tujerodnih organizmov, ki so v največji meri povezani s pomorskim prometom kot vektorjem vnosa [35]. Pitacco idr. (2017) [36] so skušali ekološko ovrednotiti laguno Stjužo z uporabo biotskih indeksov in jo primerjati z drugimi podobnimi obmorskimi okolji v Sloveniji.

Kolenčasta cimodoceja (*C. nodosa*) je morska cvetnica, ki raste na sedimentnem dnu in tvori morske travnike. Ti so v slovenskem morju prisotni povsod na sedimentnem dnu v globinskem razponu od 1 do 11 m globine. Je najpogostejša vrsta morskih trav v slovenskem morju [37], ob tem je od drugih tudi manj občutljiva. Čeprav je za cimodocejo značilno, da premore veliko fenotipsko plastičnost in je na okoljske

strese, ki jih povzročajo naravni in antropogeni dejavniki, prilagojena z različnimi fiziološkimi in morfološki prilagoditvami, se v zadnjih desetletjih soočamo s krčenjem morskih travnikov te vrste na več predelih Sredozemskega morja in Atlantika [38], [39].

Krajinski park Strunjan (KPS) je širše zavarovano območje v Sloveniji, ki vključuje tudi dvestometerski pas obalnega morja (zaščitenega tudi v sklopu Naravnega rezervata Strunjan) in celoten Strunjanski zaliv do Pacuga. Tudi območje lagune Stjuža je pomemben del Naravnega rezervata Strunjan, ki je vključeno v omrežje Natura 2000.

Stjuža je večinoma zelo plitva laguna (Sliki 1G in 2G). Ob najnižji oseki se nekateri njeni predeli prikažejo na plan. Nekoč je bila neposredno povezana z morjem kot odprt zaliv, danes je povezana le s pretočnim kanalom, ki ga imenujemo Pretočna laguna (Sliki 1H in 2H). Na prehodu s Pretočno laguno je globina tudi več kot 5 metrov. Pretočna laguna je podolgovato vodno telo, ki je prek ustja povezano z morjem. Gre za plitvo okolje, ki kaže prehodni habitat iz morja v laguno Stjužo. Le ob večjem prehodu v laguno Stjuža je lahko globina tudi do 3 m. Ob izgradnji ribiškega pristanišča pred nekaj leti se je to okolje soočilo z velikimi spremembami. Izlivni del Pretočne lagune je okolje (Slika 1C), kjer so razmere bolj ali manj enake kot v neposredni morski okolici. To je tudi edini del obravnavanega območja, ki se redno sooča z obremenitvami, kot so pomorski promet in ribiške aktivnosti. Strunjanske soline so najmanjše še delujoče soline v Sloveniji. Večji del ob morju so pred evaporacijski bazeni, ki so že dlje časa opuščeni. V takem okolju prebivajo le najbolj ekološko trpežne vrste, kot so ribe solinarke (*Aphanius fasciatus*). Na robu solin v smeri Salinere je večji solinski bazen, ki so ga Avčin idr. (1973) [33] poimenovali mala laguna. Obrežni del morja KPS predstavljajo predeli s peščenim dnom ali mivko (predela A, B in E), kamnitim dnom iz pretežno večjih prodnikov (predela C in D). Predel od pomola v smeri proti Izoli (F) je največji in ga do 2 m globine tvorijo večji kamni, nato pa preide v peščeno dno.



Slika 1: Ožje območje Krajinskega parka Strunjan. Legenda: A – predel Salinera, B – predel pred strunjanskimi solinami, C – Lambada, D – glavna plaža, E – Villa Tartini, F – Villa Tartini/rtič Strunjan, G – laguna Stjuža in H – pretočna laguna. Podlaga: ortofoto posnetki [40]

Vir: lasten.



Slika 2: Predeli obravnavanega območja znotraj Krajinskega parka. Glej Preglednico 1 za natančno razmejitev posameznih delov akvatorija. Legenda: A – predel Salinera, B – strunjanske soline, C – Lambada, D – glavna plaža, E – Villa Tartini, F – Villa Tartini/rtič Strunjan, G – laguna Stjuža in H – pretočna laguna (lastni posnetki z dronom). Posnetki A; E, F in G izvirajo iz Google Earth [41], posnetki B, C, D in H so bili opravljene z dronom oktobra 2018

Vir: lasten.

## 2.2 Metodološki pristop v raziskovanju stanja in razširjenosti morskih travnikov

Na obravnavanih predelih so bila opravljena podvodna vzorčenja morskih travnikov. Poseben poudarek je namenjen ugotavljanju možnih anoksičnih razmer, možnih dokazov o učinku pašnih organizmov (grazing) in preverjanju stanja korenin in koreninskih delov morske trave kolenčaste cimotoceje. Posebno pozornost smo namenili ugotavljanju obsega zasipavanja morskih travnikov in ugotavljanju razsežnosti pojava v globinski smeri. Ob tem smo fotografirali in posneli stanje. Nadalje smo preverili možne razlike in podobnosti v okolju morskih travnikov na podlagi vzorčenj v drugih okoljih slovenskega obalnega morja.

Ob lastnih posnetkih, pridobljenih z dronom, smo na Geodetski upravi RS (GURS) pridobili ortofoto posnetke obravnavanega območja za časovna okna 2009, 2012, 2014 in 2017. Za leti 2012 in 2014 smo uporabili infrardeče ortofoto posnetke DOF50IR. Za leto 2018 smo pridobili visoko ločljivostni (0,5 m) Google Earth satelitsko podobo obravnavanega območja s pomočjo odprtokodnega orodja SAS Planet (<https://www.openhub.net/p/sasplanet>). Razsežnost pojava izgube morskih travnikov smo ocenili v izgubi deleža pokrovnosti (%), pri čemer smo za izhodišče uporabil izrise morskih travnikov, ki jih je na podlagi sonarskih meritev opravilo podjetje Harpha Sea (2014).

Da smo prišli do zelenih rezultatov, smo izvedli naslednje metodološke korake:

- (1) vse pridobljene ortofoto posnetke in satelitsko podobo smo prostorsko poenotili in združili (mozaičili), pri čemer smo uporabljali državni koordinatni sistem D96TM in geodatabase obliko podatkovnega zapisa;
- (2) za vsako časovno okno smo vse spektralne kanale (vidna svetloba [2009, 2014, 2017 in 2018] in bližje infrardeča svetloba [2012 in 2014]) tako ortofoto kot satelitske podobe transformirali s pomočjo analize glavnih komponent (PCA);
- (3) nato smo izračunane ne korelirane spektralne kanale posameznega časovnega okna uporabili za nenadzorovano klasifikacijo podob (*ang. unsupervised classification*) z isocluster metodo razvrščanja;
- (4) uspešnost klasifikacije smo preverili na podlagi referenčnih podatkov digitalnega zemljevida morskih travnikov iz leta 2014 (HARFA) ter statistike



- podobnosti slik (Kappa indeks  $> 0,8$ ) in nato postopek ponovili za vsako preostalo časovno okno (2009, 2012, 2017 in 2018);
- (5) s pomočjo ustrezno identificiranih slikovnih enot podob (pikslov velikosti 0,5 m), ki so kazali razširjenost morskih travnikov v posameznem časovnem oknu, smo ocenili njihovo površino na ciljnem območju z več kot 80 % natančnostjo (Kappa indeks  $> 0,8$ );
  - (6) za prikaz relativnih sprememb (%) v pokrovnosti morskih travnikov med posameznimi časovnimi okni smo izračunali tudi verižne indekse ((časovno okno 2012/časovno okno 2009)\*100 itd.), ki so prikazani v Preglednici 5.
  - (7) Dobljene rezultate smo grafično in kartografsko prikazali s pomočjo odprtokodne GIS aplikacije QGIS [42].

### 3 Rezultati in razprava

#### 3.1 Stanje travnikov pred 2018

Pred letom 2018 so bili morski travniki kolenčaste cimodoceje razširjeni prav v vseh obravnavanih predelih KPS (glej Preglednico 1 in Sliko 3). To velja tako za obrežni pas kot tudi za obe laguni (Slika 4). Samo v letu 2017 so vidne v obrežnem pasu manjše jase brez vegetacije, ki jih v letih predtem ni bilo. Z bionomskega vidika so se morski travniki med seboj tudi razlikovali, saj so tisti iz pretočne lagune in Stjuže element evrihaline in evritermne biocenoze, v Salineri in notranjem delu strunjanskega zaliva element biocenoze površinskih muljastih peskov v zavetnih legah, na območju Mesečevega zaliva pa v nekaterih delih element biocenoze dobro kalibriranih finih peskov. Tudi sicer je bilo ekološko stanje po Okvirni vodni direktivi [43] cimodoceje na dveh lokalitetah znotraj KPS ocenjeno kot Zelo dobro in Dobro [16].

#### 3.2 Stanje travnikov po 2018

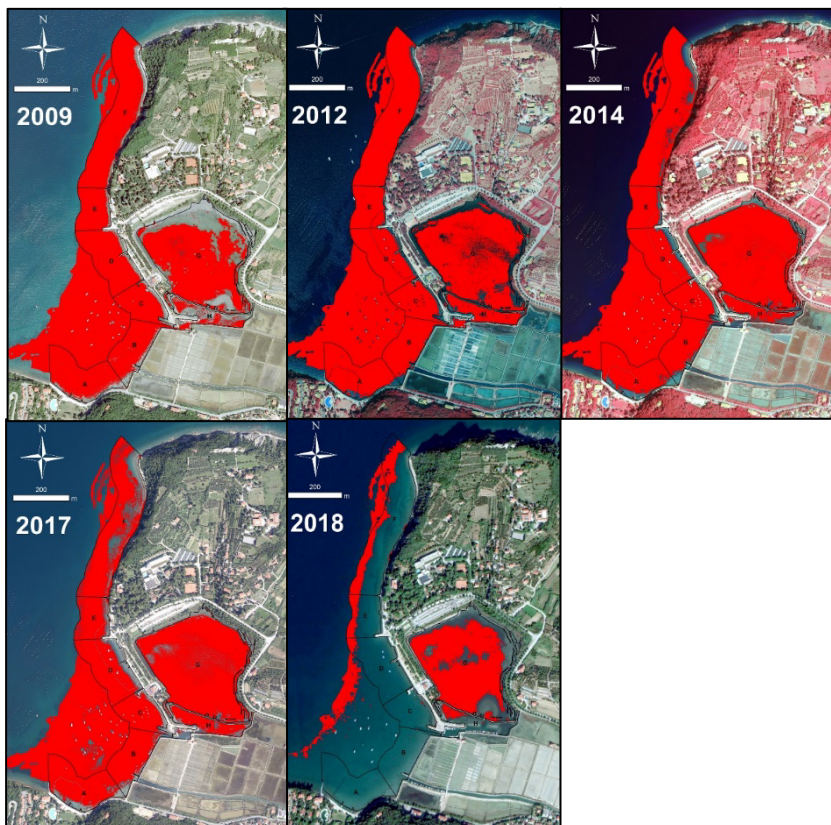
Analiza pokrovnosti morskih travnikov kolenčaste cimodoceje v daljšem obdobju je pokazala, da so vsi obravnavani predeli znotraj KPS v desetletnem obdobju doživeli znatne spremembe (Preglednica 1). Čeprav je ta vrsta z ekološkega vidika znatno bolj trpežna od drugih vrst trav, se na območju KPS sooča z nekaterimi dejavniki, ki jo ogrožajo do te mere, da se je pokrovnost njenih travnikov ( $m^2$ ) znatno zmanjšala ali pa so le-ti povsem izginili. Na obravnavanem območju je tako prišlo

do skoraj popolnega izginotja morskih travnikov. Kot možni vzrok smo identificirali več dejavnikov. Stanje je najslabše na predelu med Salinero (A) in solinami (B). Oba predela sta povsem zasipana s sedimentom, ob tem prihaja do resuspenzije, in s tem povezano motnostjo, kar vpliva na kakovost vode in obenem tudi na življenjske razmere za morske cvetnice. Izkazalo se je, da povzročča zasipavanje cimodoceje povečano smrtnost posameznih šopov, povečano navpično rast (do 4 cm zakopanih – zasipanih primerkov) in povečano nožnico (do 4 cm zakopanih – zasipanih primerkov) ter povečano rast najmanjšega internodija [44]. Pri zasipavanju > 13 cm avtorji navajajo, da je smrtnost 100 %. Tudi obe laguni se soočata s krčenjem morskih travnikov kolenčaste cimodoceje. Še posebej drastične spremembe so očitne v pretočni laguni, kjer so se morski travniki cimodoceje skrčili za več kot 80 % (Preglednica 6) v primerjavi z letom 2009. Tudi v tem primeru lahko krčenje povežemo z depozicijo sedimenta, ki je nastala pri izgradnji ribiškega pristanišča in obnove zahodne lagunske brežine. Če primerjamo površino morskih travnikov med letoma 2017 in 2018, so izgube zelo drastične (Slika 3). Na predelih notranjega dela zaliva (A, B in C) so se travniki cimodoceje skrčili za več kot 80 % površine iz leta 2017. Na predelih E, F in v pretočni laguni (H) pa se je travnik skrčil za približno polovico. V Stjuži znaša ta izguba približno petino izgubljenega travnika v primerjavi z letom poprej.

Ob tem je iz zemljevida očitno (Slika 3), da je degradacija in izguba travnikov najbolj očitna v priobalnem pasu, saj se je v vseh raziskanih predelih ohranil ozek pas travnika le daleč od obale.

**Preglednica 1: Ocenjena površina (m<sup>2</sup>) morskih travnikov po posameznih enotah znotraj Krajinskega parka**

Predel	2009	2012	2014	2017	2018
A	26.991	28.133	25.934	25.755	169
B	20.336	22.227	20.414	20.164	1
C	15.955	16.496	15.868	15.602	70
D	27.772	28.027	26.088	24.567	1.605
E	15.729	16.541	15.663	14.315	4.396
F	52.436	57.350	52.171	43.434	15.344
G	71.384	85.506	97.993	95.849	71.880
H	6.196	12.144	9.705	10.290	2.267

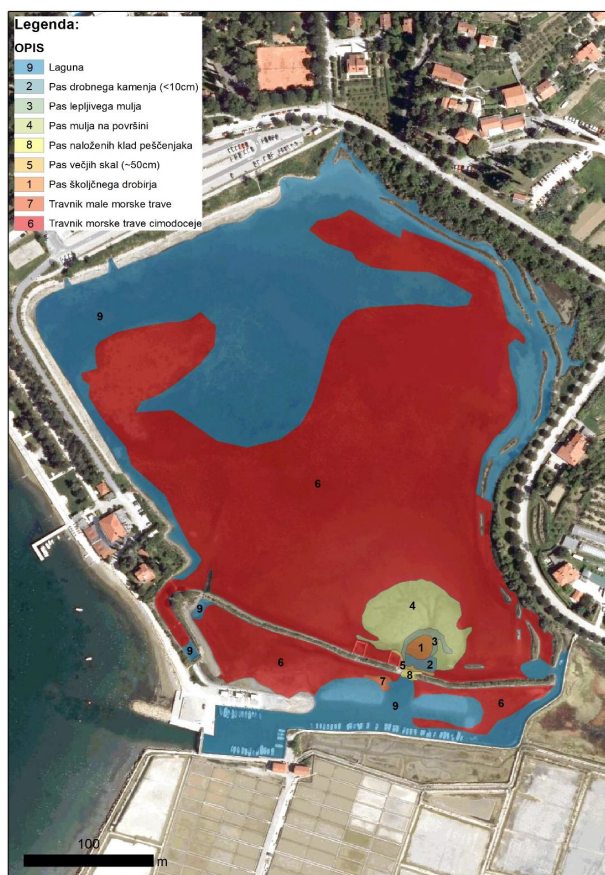


Slika 3: Razširjenost in pokrovnost morskih travnikov kolenčaste cimodoceje znotraj obravnavanega območja po posameznih predelih (A–H) in v različnih letih (2009, 2012, 2014, 2017 in 2018). Za razmejitev posameznih predelov glej Preglednico 1. Podlaga: ortofoto posnetki [40] in posnetki Google Maps [41]

Vir: lasten.

Če lahko zasipavanje oziroma nalaganje sedimenta na teh predelih povežemo z obnovo kanala Roja, je krčenje travnikov v drugih predelih težje razložiti. Med ustjem in nekdanjo restavracijo Lambado (C) je zelo ozek pas morskega travnika cimodoceje, ki se pojavlja na globini okoli 1 m. V drugih predelih je stanje podobno, vendar prekriva morsko dno znatno manjša količina nanesenega sedimenta. Na obravnavanem območju med Pacugom in rtičem Strunjan se posamezne zaplate morske trave pojavljajo le pred Vilo Tartini in proti rtiču Strunjan na globini od 1 do 3 m. Ne gre za sklenjeni morski travnik, ampak habitatni tip, ki meji na številne

peščine – ostanki nekdanjega morskega travnika. Šopi cimodoceje so tukaj nizki in v slabem stanju, ob tem so tudi prekriti z gosto sluzasto prevleko. Na območju med Villo Tartini in rtičem Strunjan je takih zaplat še več, vendar je njihovo stanje slabo. V globini od 4 do 6 m se pojavlja manjši morski travnik male morske trave (*Z. nolte*), ki je dobro razvit. Sklenjene morske travnike cimodoceje tako najdemo na skrajnem robu predela Rtič Strunjan (F) in v laguni Stjuži (G) (Slika 4). Pri tem noramo omeniti, da v Stjuži travnik ne pokriva lagune v celoti, ampak se ponekod pojavljajo večje jase brez vegetacije. V pretočni laguni je morski travnik razvit v nekdanjem iztoku Stjuže v pretočno laguno in v obliki podolgovate zaplate na meji z ribiškim pristaniščem (Slika 4).



Slika 4: Zemljevid morskih habitatnih tipov v laguni Stjuža in v Pretočni laguni na podlagi podvodnih popisov in digitalnih ortofoto posnetkov iz leta 2018 [40]

Vir: lasten.

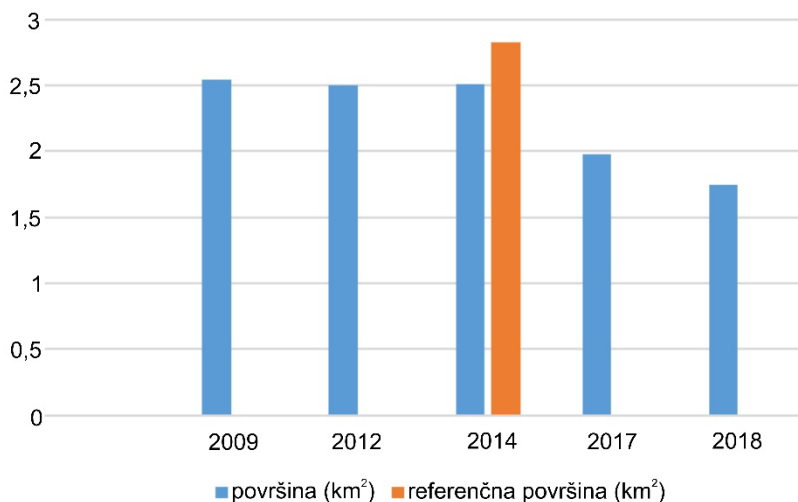
Eden od dejavnikov, za katerega je znano, da je v preteklosti pripomogel k masovnim poginom oziroma degradacijo in izginotju morskih travnikov, so bolezn. Tako je v tridesetih letih prejšnjega stoletja vrsta *Zostera marina* povsem izginila vzdolž atlantskih obal zaradi infekcije z morskim protistom *Labyrinthula zosterae* [45], [46]. Nekatere raziskave so razkrile protista iz rodu *Labyrinthula* tudi kot možen dejavnik za krčenje morskih travnikov kolenčaste cimodoceje [46]. Na okuženost opozarjajo poškodbe na listnih ploskvah. V slovenskem delu Jadrana poteka monitoring biometričnih meritev listnih ploskev kolenčaste cimodoceje z namenom ugotavljanja ekološkega stanja, vendar primeri poškodb na listih, povezanih s pašnjo ali fizičnimi poškodbami niso bili zabeleženi [47]. Orlando-Bonaca idr. (2015) [16] so ugotovili, da visoka stopnja sedimentacije in resuspenzije (tako naravne kot zaradi antropogenih dejavnosti) omejujeta razpoložljivost svetlobe v vodnem stolpcu. *C. nodosa* kaže plastične rastne odzive in povečuje dolžino listov, da bi izboljšala količino zajete svetlobe in zmanjšala zasenčenost [48]–[50]. Daljši listi morske trave tako pomenijo slabše ekološko stanje travnikov [16]. Tudi Najdek idr. (2020) [51] so pred kratkim raziskovali vzroke za krčenje travnika *C. nodosa* v hrvaškem delu severnega Jadrana. Ugotovili so, da je do regresije morskega travnika najverjetneje prišlo v obdobju, ko se je razpoložljivost svetlobe drastično zmanjšala zaradi povečane motnosti morske vode v povezavi s povečanim vnosom snovi s kopnega, na kar kaže zmanjšanje slanosti in znatno povečanje koncentracije trdnih delcev v povezavi z resuspenzациjo sedimenta.

### **3.3 Prostorska analiza kot orodje za ugotavljanje možnih posledic v morskem biodiverziteti**

Habitati so dobri indikatorji stanja biotske raznovrstnosti, saj so spremembe, ki se dogajajo v njih, pogosto odziv antropogenih ali okoljskih dejavnikov. Identifikacija ogroženih in ranljivih morskih habitatov je s tega vidika eden od ključnih korakov pri načrtovanju ohranjanja narave in možnih varstvenih ukrepov. Zato je uporaba digitalnih ortofoto posnetkov in satelitskih podob (daljinsko zaznavanje) obetavna metoda, ki ponuja možnost razumevanja prostorskih sprememb v času [52], [53], kar se je izkazalo tudi v okviru pričujoče raziskave. Ta je v konkretnem primeru pokazala na krčenje morskih travnikov v obrežnem delu KPS in v obeh lagunah. Ocene krčenja pokrovnosti habitatov so odvisne tudi od natančnosti historičnih podatkov in kakovosti podob ter velikosti obravnavanega habitata.

### 3.4 Krčenje morskih travnikov v slovenskem morju in možne povezave s podnebnimi spremembami

Krčenje morskih travnikov kolenčaste cimodoceje v KPS ni osamljen primer v slovenskem morju, niti širše v severnem Jadranu. Predtem je do podobnega krčenja prišlo pri morski travi pozejdonki, ki je še pred petdesetimi leti prekrivala velike površine v slovenskem delu Jadrana do približno 25 m globine. Morski travniki pozejdonke so pričeli postopno izginjati v celotnem Tržaškem zalivu, ohranili so se le na manjšem predelu (s površino 0,64 hektarjev) ob obalni cesti med Koprom in Izolo [54].



**Slika 5: Razširjenost morskih travnikov (v km<sup>2</sup>) na celotni slovenski obali v obdobju 2009 in 2018. Graf prikazuje časovni potek spreminjanja njihove površine (oranžni stolpec predstavlja referenčno površino na podlagi podatkov Harpha, 2014)**

Vir: lasten.

Primerjava med obdobjem pred letom 2018 (2009–2017) in letom 2018 je pokazala, da se tudi v slovenskem delu Jadranskega morja soočamo s trendom krčenja morskih travnikov cimodoceje (Slike 3, 4 in 5). Te spremembe sicer še zdaleč niso tako drastične kot vzdolž istrske obale, kažejo pa na trend krčenja. Pri tem moramo za leto 2018 upoštevati ugotovljeno krčenje morskih travnikov v Strunjanskem zalivu, za leto 2017 pa izginotje morskega travnika na območju med Piranom in Bernardinom.

Od drugih predelov, kjer so morski travniki povsem izginili, moramo omeniti tudi območje na Fizinah (Portorož), kjer smo zabeležili popolno izginotje nekdanjega zelo obsežnega morskega travnika cimodoceje. Znatne spremembe so opažene tudi na ustju reke Dragonje, kjer je v najbolj plitvem delu travnik izginil. Po drugi strani pa podatki kažejo, da se je nekoliko razširil travnik cimodoceje v Semedelskem zalivu.

Degradacija (skrčenje pokrovnosti in ožja razširjenost) in/ali izguba morskih travnikov cimodoceje je podobno kot v primeru obravnavanega območja (strunjanskega zaliva in obeh lagun) najbolj intenzivna v najbolj plitvih delih. V globljih predelih so morski travniki še vedno dobro razviti in razširjeni, kar kaže na dejstvo, da so očitno izven dosega različnih vplivov s kopnega. Zato lahko tudi v teh primerih ocenimo, da gre za antropogeno pogojene vzroke. Te lahko identificiramo v pritiskih in obremenitvah iz obalnega pasu in zaledja. Slika 5 prikazuje skrčenje površine morskih travnikov kolenčaste cimodoceje na vseh predelih slovenskega morja. V letih od 2009 do 2014 je znašala celotna površina travnikov cimodoceje približno 2,5 km<sup>2</sup>. Leta 2017 se je zmanjšala za približno 20 %, leta 2018 pa še za dodatnih 10 %. Ocenjena površina travnikov kolenčaste cimodoceje tako danes znaša približno 1,7 km<sup>2</sup>.

Na svetovni ravni sta zakisljevanje in segrevanje oceanov med največjimi grožnjami, ki neposredno ali posredno vplivajo na preživetje, razširjenost in fiziološko učinkovitost morskih travnikov [55]. Za večino morskih makrofitov se je izkazalo, da je temperatura najpomembnejši omejitveni dejavnik za širjenje in fiziološke dejavnosti [56]. Ker se temperatura morja v zadnjih desetletjih počasi, a vztrajno zvišuje v celotnem Sredozemlju, to vpliva tudi na proizvodnjo kisika in dihanje v travnikih kolenčaste cimodoceje, kot sta ugotovila Pérez in Romero (1992) [57].

Jadransko in Sredozemsko morje se v povprečju segrevata hitreje kot druga morja, porast temperature pa se že kaže v množičnih poginih, premikih v razširjenosti vrst ter prihodu tujerodnih vrst [58], [59]. Med raziskovalci vlada konsenz, da podnebne spremembe znateno vplivajo na morske travnike [60]. V nekaterih objavah so že poročali, da segrevanje oceanov povzroča znatno smrtnost pozejdonke [61] in nekateri napovedujejo dramatične izgube njenih travnikov tudi v prihodnje [59]. Eksperimentalne raziskave v zalivu Chesapeake [62] so pokazale, da pride do popolnega izginotja vrste *Z. marina*, če jo za krajši čas izpostavimo hitremu porastu temperature za nekaj stopinj. Spričo nadaljnega globalnega segrevanja napovedujejo

premik v razširjenosti morskih trav v manj obremenjena območja [63], saj temperatura vpliva na ključne procese pri morskih travah, kot so fotosinteza, dihanje, rast in razmnoževanje [63], [64]. Zato je treba v luči podnebnih sprememb načrtovati prihodnje raziskave o dolgoročni aklimatizacijski sposobnosti travnikov morskih trav.

#### 4 Zaključek

Morske cvetnice veljajo za biološke indikatorje, saj vsaka sprememba v razširjenosti morskih trav, kot je zmanjšanje največje globine ali obsežna izguba njihovih travnikov, opozarja na negativne spremembe v okolju [65]. V zadnjih desetletjih so bile tako površine obstoječih morskih travnikov kot njihove izgube zelo grobo ocenjene, medtem ko je bilo natančnih podatkov na dobro raziskanih območjih malo, vključno s številnimi sredozemskimi regijami [21].

Pridobljeni zemljevidi prostorskih in časovnih sprememb travnikov morskih cvetnic služijo kot ključno orodje za odločevalce in upravjalce morskih zavarovanih območjih in bi lahko podprli učinkovitejše ukrepe za ohranjanje in upravljanje teh zelo produktivnih okoljih. Ob tem bi lahko s pomočjo napovedi podnebnih sprememb ustvarili potencialne zemljevide tveganja za morske travnike. Te informacije bi lahko pomagale pri načrtovanju obsežnih obnovitvenih ukrepov, ki so nujno potrebni za obvladovanje okoljskih problemov, neposredno ali posredno povezanih s poglobljajočo se podnebno krizo. Vzpostavitev učinkovitih načrtov upravljanja morskih travnikov, katerih cilj je ublažiti vpliv človekovih dejavnosti, je izjemnega pomena in prispeva k doseganju dobrega ekološkega stanja na evropski in sredozemski ravni.

#### Zahvale

Na tem mestu izrekamo zahvalo za pomoč pri pripravi tega prispevka našim kolegom iz Morske biološke postaje Nacionalnega inštituta za biologijo in sicer Leonu Lojzetu Zamudi, Tihomirju Makovcu, Milijanu Šišku ter Valentini Pitacco. Hvaležni smo tudi prof. dr. Rolandu Melzerju iz bavarske univerze v Muenchnu za podatke o stanju ob hrvaški istrski obali. Ne nazadnje se zahvaljujemo tudi strokovnemu osebju Krajinskega parka Strunjan, ki so nas povabili k izvedbi raziskave o stanju morskih travnikov v Strunjanu.

Študijo je omogočila Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v sklopu projekta »Dejavniki, ki vplivajo na gozdove jadranskih rjavih alg in rešitve za obnovo habitata« (J1-1702).



## Literatura

- [1] M. M. Brodersen *idr.*, „Cumulative impacts from multiple human activities on seagrass meadows in eastern Mediterranean waters: the case of Saronikos Gulf (Aegean Sea, Greece)“, *Environ Sci Pollut Res*, let. 25, št. 27, str. 26809–26822, sep. 2018, doi: 10.1007/s11356-017-0848-7.
- [2] M. Spalding, M. Taylor, C. Ravilious, F. Short, in E. Green, „The distribution and status of seagrasses“, v *World atlas of seagrasses*, E. P. Green in F. T. Short, Ur. Berkeley: University of California Press, 2003, str. 1–26.
- [3] M. A. Hemminga in C. M. Duarte, *Seagrass ecology*. Cambridge University Press, 2000.
- [4] L. M. Nordlund, R. K. F. Unsworth, M. Gullström, in L. C. Cullen-Unsworth, „Global significance of seagrass fishery activity“, *Fish Fish*, let. 19, št. 3, str. 399–412, maj 2018, doi: 10.1111/faf.12259.
- [5] R. K. F. Unsworth, L. M. Nordlund, in L. C. Cullen-Unsworth, „Seagrass meadows support global fisheries production“, *Conservation Letters*, let. 12, št. 1, str. e12566, 2018, doi: 10.1111/conl.12566.
- [6] B. Ondiviela *idr.*, „The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate“, *Coastal Engineering*, let. 87, str. 158–168, 2014.
- [7] J. Terrados in J. Borum, „Why are seagrasses important?—Goods and services provided by seagrass meadows“, v *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*, J. Borum, C. M. Duarte, D. Krause-Jensen, in T. M. Greve, Ur. The M&MS project, 2004, str. 8–10. [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.seagrasses.org>
- [8] J. Widdows, N. D. Pope, M. D. Brinsley, H. Asmus, in R. M. Asmus, „Effects of seagrass beds (*Zostera noltii* and *Z. marina*) on near-bed hydrodynamics and sediment resuspension“, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, let. 358, str. 125–136, 2008.
- [9] T. Luisetti, E. L. Jackson, in R. K. Turner, „Valuing the European ‘coastal blue carbon’ storage benefit“, *Mar. Pollut. Bull.*, let. 71, str. 101–106, 2013.
- [10] J. Richir, N. Luy, G. Lepoint, E. Rozet, A. A. Azcarate, in S. Gobert, „Experimental in situ exposure of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile to 15 trace elements“, *Aquat. Toxicol.*, let. 140, str. 157–173, 2013.
- [11] D. Effrosynidis, A. Arampatzis, in G. Sylaios, „Seagrass detection in the mediterranean: A supervised learning approach“, *Ecol. Inform.*, let. 48, str. 158–170, 2018.
- [12] K. Heck Jr, G. Hays, in R. J. Orth, „Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows“, *Marine Ecology Progress Series*, let. 253, str. 123–136, 2003.
- [13] HD, 92/43/EEC, „Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora“. 1992.
- [14] E. Diaz-Almela, N. Marbà, in C. M. Duarte, „Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records“, *Glob. Chang. Biol.*, let. 13, str. 224–235, 2007.
- [15] N. Marbà, E. Díaz-Almela, in C. M. Duarte, „Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009“, *Biol. Conserv.*, let. 176, str. 183–190, 2014.
- [16] M. Orlando-Bonaca *idr.*, „A new index (MediSkew) for the assessment of the *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadow’s status“, *Marine Environmental Research*, let. 110, str. 132–141, sep. 2015, doi: 10.1016/j.marenvres.2015.08.009.
- [17] M. Orlando-Bonaca, J. Francé, B. Mavrič, in L. Lipej, „Impact of the Port of Koper on *Cymodocea nodosa* meadow“, *Annales Series Historia Naturalis*, let. 29, št. 2, str. 187–194, 2019.
- [18] T. Repolho *idr.*, „Seagrass ecophysiological performance under ocean warming and acidification“, *Scientific Reports*, let. 7, št. 1, str. 1–12, 2017.
- [19] F. T. Short *idr.*, „Extinction risk assessment of the world’s seagrass species“, *Biol. Conserv.*, let. 144, št. 7, str. 1961–1971, jul. 2011, doi: 10.1016/j.biocon.2011.04.010.
- [20] F. Tuya, J. Martín, in A. Luque, „Impact of a marina construction on a seagrass bed at Lanzarote (Canary Islands)“, *J. Coast. Conserv.*, let. 8, št. 2, str. 157–162, 2002.

- [21] C. F. Boudouresque, G. Bernard, G. Pergent, A. Shili, in M. Verlaque, „Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review“, *Bot. Mar.*, let. 52, št. 5, str. 395–418, nov. 2009, doi: 10.1515/BOT.2009.057.
- [22] F. T. Short, „Loss and restoration of seagrass ecosystems“, Zurich, 2003, str. 23–27.
- [23] L. Telesca *idr.*, „Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change“, *Sci Rep*, let. 5, št. 1, str. 12505, dec. 2015, doi: 10.1038/srep12505.
- [24] F. Fabbri *idr.*, „Trends of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Magnoliophyta) in the Canary Islands: population changes in the last two decades“, *Sci. Mar.*, let. 79, št. 1, str. 7–13, mar. 2015, doi: 10.3989/scimar.04165.19B.
- [25] R. J. Orth *idr.*, „A Global Crisis for Seagrass Ecosystems“, *BioScience*, let. 56, št. 12, str. 987–996, 2006, doi: 10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2.
- [26] F. Tuya, H. Hernandez-Zerpa, F. Espino, in R. Haroun, „Drastic decadal decline of the seagrass *Cymodocea nodosa* at Gran Canaria (eastern Atlantic): interactions with the green algae *Caulerpa prolifera*“, *Aquat. Bot.*, let. 105, str. 1–6, 2013.
- [27] F. Tuya, L. Ribeiro-Leite, N. Arto-Cuesta, J. Coca, R. Haroun, in F. Espino, „Decadal changes in the structure of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows: Natural vs. human influences“, *Estuar. Coast. Shelf S.*, let. 137, str. 41–49, 2014.
- [28] A. R. Hughes, S. L. Williams, C. M. Duarte, K. L. Heck, in M. Waycott, „Associations of concern: declining seagrasses and threatened dependent species“, *Frontiers in Ecology and the Environment*, let. 7, št. 5, str. 242–246, jun. 2009, doi: 10.1890/080041.
- [29] M. Waycott *idr.*, „Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems“, *Proceedings of the national academy of sciences*, let. 106, št. 30, str. 12377–12381, 2009.
- [30] F. T. Short, C. A. Short, in A. Novak, „Seagrasses“, v *The Wetland Book: II: Distribution, Description and Conservation*, C. M. Finlayson, G. R. Milton, R. C. Prentice, in N. C. Davidson, Ur. Dordrecht, Nizozemska: Springer Science, 2016.
- [31] J. Borum in T. M. Greve, „The four European seagrass species“, v *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*, J. Borum, C. M. Duarte, D. Krause-Jensen, in T. M. Greve, Ur. The M&MS project, 2004, str. 1–7. [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.seagrasses.org>
- [32] P. Firbas, *Vsa slovenska jezera: leksikon slovenskih stoječih voda*. Ljubljana: DZS, 2001.
- [33] A. Avčin *idr.*, „Akvatični ekosistemi v Strunjanskem zalivu I: preliminarno poročilo“, Inštitut za biologijo univerze v Ljubljani in Morska biološka postaja Portorož, Ljubljana in Piran, 1973.
- [34] L. Lipej *idr.*, „Raziskave biodiverzitet na območju Strunjanskih solin in Stjuže“, Morska biološka postaja in Nacionalni inštitut za biologijo, Piran in Ljubljana, Naročnik: Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, 2004.
- [35] L. Lipej, B. Mavrič, M. Orlando-Bonaca, V. Pitacco, D. Trkov, in L. L. Zamuda, „Inventarizacija favne in flore Pretočne lagune, Stjuže in solin“, 186, 2019.
- [36] V. Pitacco, L. Lipej, B. Mavrič, M. Mistri, in C. Munari, „Comparison of benthic indices for the evaluation of ecological status of three Slovenian transitional water bodies (northern Adriatic)“, *Marine Pollution Bulletin*, let. 129, št. 2, str. 813–821, 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.10.085.
- [37] L. Lipej, R. Turk, in T. Makovec, *Ogrožene vrste in habitatni tipi v slovenskem morju*. Zavod RS za varstvo narave, 2006.
- [38] S. Jensen in S. Bell, „Seagrass growth and patch dynamics: cross-scale morphological plasticity“, *Plant Ecology*, let. 155, št. 2, str. 201–217, 2001.
- [39] V. Papathanasiou, „*Cymodocea nodosa* as a bioindicator of coastal habitat quality: an integrative approach from organism to community scale“, Doktorska dizertacija, School of Marine Science and Engineering, Faculty of Science and Technology, University of Plymouth, UK, 2013.
- [40] Geodetska uprava Republike Slovenije, „Ortofoto“, 2017. <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/topografski-in-kartografski-podatki/ortofoto/> (pridobljeno 1. februar 2022).

- [41] Google Earth, „Satellite Imagery in Google Earth“, 2022. <https://earth.google.com/web/data=CiQSIHlgOGQ2YmFjYjU2ZDIzMTFIOThiNTM2YjMzNGRiYmRhYTA> (pridobljeno 1. februar 2022).
- [42] QGIS Development Team, *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation, 2017. [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.qgis.org/>
- [43] WFD, 2000/60/EC, „Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy“. 2000.
- [44] S. Cabaço, R. Santos, in C. M. Duarte, „The impact of sediment burial and erosion on seagrasses: a review“, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, let. 79, št. 3, str. 354–366, 2008.
- [45] L. K. Muehlstein, D. Porter, in F. T. Short, „Labyrinthula zosterae sp. nov., the causative agent of wasting disease of eelgrass, *Zostera marina*“, *Mycologia*, let. 83, št. 2, str. 180–191, 1991.
- [46] Y. S. Olsen in C. M. Duarte, „Combined effect of warming and infection by *Labyrinthula* sp. on the Mediterranean seagrass *Cymodocea nodosa*“, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, let. 532, str. 101–109, 2015.
- [47] L. Lipej *idr.*, „Raziskava z oceno stanja morskih travnikov v Krajinskem parku Strunjan = Assessment of the status of seagrass meadows in the Strunjan Landscape Park“, Marine Biology Station Piran, 174, 2018.
- [48] D. E. Goldberg, „Competitive ability: definitions, contingency and correlated traits“, *Philos. Trans.: Biol. Sci.*, let. 351, št. 1345, str. 1377–1385, 1996.
- [49] S. Orfanidis *idr.*, „Further improvement, validation, and application of CymoSkew biotic index for the ecological status assessment of the Greek coastal and transitional waters“, *Ecological Indicators*, let. 118, str. 106727, nov. 2020, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106727.
- [50] B. W. Touchette in J. M. Burkholder, „Overview of the physiological ecology of carbon metabolism in seagrasses“, *Journal of experimental marine biology and ecology*, let. 250, str. 169–205, 2000.
- [51] M. Najdek *idr.*, „Dynamics of environmental conditions during the decline of a *Cymodocea nodosa* meadow“, *Biogeosciences*, let. 17, št. 12, str. 3299–3315, jun. 2020, doi: 10.5194/bg-17-3299-2020.
- [52] C. Corbane *idr.*, „Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges“, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, let. 37, str. 7–16, maj 2015, doi: 10.1016/j.jag.2014.11.005.
- [53] P. K. Pandian *idr.*, „Seabed habitat mapping techniques: an overview of the performance of various systems“, *Medit. Mar. Sci.*, let. 10, št. 2, str. 29–43, dec. 2009, doi: 10.12681/mms.107.
- [54] R. Turk in A. Vuković, „Phenology of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Gulf of Koper (Gulf of Trieste), North Adriatic“, *Rapport du Congrès de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, let. 35, str. 592–593, 1998.
- [55] A. Jueterbock *idr.*, „Phylogeographic differentiation versus transcriptomic adaptation to warm temperatures in *Zostera marina*, a globally important seagrass“, *Mol. Ecol.*, let. 25, št. 21, str. 5396–5411, nov. 2016, doi: 10.1111/mec.13829.
- [56] B. Duarte *idr.*, „Climate Change Impacts on Seagrass Meadows and Macroalgal Forests: An Integrative Perspective on Acclimation and Adaptation Potential“, *Front. Mar. Sci.*, let. 5, str. 190, jun. 2018, doi: 10.3389/fmars.2018.00190.
- [57] M. Pérez in J. Romero, „Photosynthetic response to light and temperature of the seagrass *Cymodocea nodosa* and the prediction of its seasonality“, *Aquat. Bot.*, let. 43, str. 51–62, jun. 1992, doi: 10.1016/0304-3770(92)90013-9.
- [58] M. Coll *idr.*, „The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats“, *PLoS ONE*, let. 5, št. 8, str. e11842, avg. 2010, doi: 10.1371/journal.pone.0011842.
- [59] G. Jordà, N. Marbà, in C. M. Duarte, „Mediterranean seagrass vulnerable to regional climate warming“, *Nature Climate Change*, let. 2, št. 11, str. 821–824, nov. 2012, doi: 10.1038/nclimate1533.
- [60] M. Waycott *idr.*, „Vulnerability of mangroves, seagrasses and intertidal flats in the tropical Pacific to climate change (Chapter 6)“, v *Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture*

- to *Climate Change. Secretariat of the Pacific Community*, J. D. Bell., J. E. Johnson, in A. J. Hobday, Ur. Secretariat of the Pacific Community, 2011, str. 297–368.
- [61] N. Marbà in C. M. Duarte, „Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality“, *Global Change Biology*, let. 16, št. 8, str. 2366–2375, 2010, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02130.x.
- [62] K. A. Moore, E. C. Shields, in D. B. Parrish, „Impacts of Varying Estuarine Temperature and Light Conditions on *Zostera marina* (Eelgrass) and its Interactions With *Ruppia maritima* (Widgeongrass)“, *Estuaries and Coasts*, let. 37, št. S1, str. 20–30, mar. 2014, doi: 10.1007/s12237-013-9667-3.
- [63] F. T. Short in H. A. Neckles, „The effects of global climate change on seagrasses“, *Aquatic Botany*, let. 63, št. 3–4, str. 169–196, apr. 1999, doi: 10.1016/S0304-3770(98)00117-X.
- [64] S. J. Campbell, L. J. McKenzie, in S. P. Kerville, „Photosynthetic responses of seven tropical seagrasses to elevated seawater temperature“, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, let. 330, št. 2, str. 455–468, mar. 2006, doi: 10.1016/j.jembe.2005.09.017.
- [65] J. A. Thomson *idr.*, „Extreme temperatures, foundation species, and abrupt ecosystem change: an example from an iconic seagrass ecosystem“, *Glob. Change Biol.*, let. 21, št. 4, str. 1463–1474, apr. 2015, doi: 10.1111/gcb.12694.