

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Blanka Vrgoč

Utjecaj kaveznog uzgoja tune  
na naselja morske cvjetnice *Posidonia oceanica* (L.) Delile  
u području otočića Fulija (Srednji Jadran)

Diplomski rad

Zagreb, 2013.

Ovaj rad, izrađen na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Petra Kružića, predan je na ocjenu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja prof. biologije i dipl. ing. biologije, smjer ekologija.

Prvenstveno se zahvaljujem mentoru, doc. dr. sc. Petru Kružiću, na ustupljenim podacima, stručnom vodstvu i suradnji, te strpljenju i pomoći pri izradi ovog rada.

Veliko hvala i svim mojim kolegama i prijateljima, prvenstveno Dagmar Štafa i Ivani Vukov, koje su izuzetno uspješno dozirale motivacijske „mrkve i batine“ - kako tijekom mog studija, tako i za vrijeme izrade diplomskog rada.

I na posljetku, zahvaljujem se onima bez kojih nikad ne bih dospjela ovamo gdje sam danas, svom najčvršćem osloncu - svojoj obitelji na beskonačnom strpljenju, ljubavi i pruženoj podršci.

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

Utjecaj kaveznog uzgoja tune na naselja morske cvjetnice *Posidonia oceanica*  
(L.) Delile u području otočića Fulija (Srednji Jadran)

**Blanka Vrgoč**

Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Rooseveltov trg 6, Zagreb, Hrvatska

Kartiranje i praćenje stanja morske cvjetnice *Posidonia oceanica* u hrvatskom dijelu Jadranskog mora pokazuju značajno smanjenje gustoće livada u područjima pod utjecajem priobalnog kaveznog uzgoja tune. Predstavljeni su rezultati istraživanja područja u blizini otočića Fulije koje je pod utjecajem uzgajališta tune. Ovaj rad dokazuje da su obogaćivanje nutrijentima i rizik od eutrofikacije veliki problem ovog područja. Akvakulturni otpad izvor je onečišćenja nutrijentima koje stimulira cvjetanje fitoplanktona i zajednica alga, te obogaćuje sediment organskom tvari. Analizirani su stanje i gustoća livada vrste *Posidonia oceanica* pod utjecajem uzgajališta tune (otočić Fulija) i izvan njega (dvije kontrolne stanice na otoku Ižu i otočiću Mrtovnjaku). Istraživane su fizikalno-kemijske i biološke varijable u svrhu procjene utjecaja tunogojilišta na litoral u blizini otočića Fulije. Pored bioloških i standardnih osnovnih kemijskih parametara, poput koncentracije otopljenih nutrijenata, ispitani su i utjecaj ribogojilišta na distribuciju otopljenog organskog ugljika (DOC) te površinski aktivnih tvari (SAS). Pronađene su značajne razlike između koncentracije nutrijenata među istraživanim postajama pod utjecajem uzgajališta tune (otočić Fulija) i onima izvan njega (kontrolne postaje). Mukozni agregati bentoskih alga na livadama posidonije primijećeni su tijekom proljeća i ljeta. Broj izdanaka livada vrste *P. oceanica* smanjen je na postajama u blizini uzgajališta tune, što potvrđuje da aktivnosti ribogojilišta značajno utječu na okolne livade.

(35 stranica, 9 slika, 5 tablica, 51 literarni navod, hrvatski jezik)

Rad pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: *Posidonia oceanica*, uzgajalište tune, otopljeni nutrijenti, organska tvar, Jadransko more

Voditelj: Dr. sc. Petar Kružić, doc.

Ocjenitelji:

Rad prihvaćen: 2013.

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Graduation Thesis

Inshore capture-based tuna mariculture impact on *Posidonia oceanica* (L.)  
Delile meadows in the area of Fulija Islet (Central Adriatic Sea)

**Blanka Vrgoč**

Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb

Rooseveltov trg 6, Zagreb, Croatia

Mapping and monitoring of the seagrass *Posidonia oceanica* in Croatian part of the Adriatic Sea showed significant decline in meadows density in the area influenced by inshore capture-based tuna aquaculture. The results of *Posidonia* meadows survey in the area of Fulija Islet, which are under the influence of tuna farms, are presented. This paper proves that nutrient enrichment and the risk of eutrophication is a significant issue in this area. Aquaculture wastes are a source of nutrient pollution and stimulate blooms of phytoplankton and algae population, as well as organic matter enrichment in the sediment. The condition and density of *Posidonia oceanica* meadows under the influence of tuna farms (at Fulija Islet) and out of its reach (two control stations at Iž Island and Mrtovnjak Islet) have been analyzed. Physico-chemical and biological variables have been examined in order to evaluate the impact of a tuna farm on the littoral near Fulija Islet. Besides biological and standard basic chemical parameters, such as the concentration of dissolved nutrients, the influence of fish farming on the distribution of dissolved organic carbon (DOC) and surface active substances (SAS) in the water column were also investigated. Significant differences were found between nutrient concentrations among the investigated stations under the influence of tuna farm (Fulija Islet) and out of its reach (control stations). The mucous aggregates of the benthic algae were observed during the spring and summer on the *P. oceanica* meadows. Shoot density of the *P. oceanica* meadows decrease at the stations close to the tuna farm, which confirms that the tuna farm activity strongly affects the surrounding meadows.

(35 pages, 9 figures, 5 tables, 51 references, original in Croatian)

Thesis deposited in Central Biological Library

Key words: *Posidonia oceanica*, tuna farm, dissolved nutrients, organic matter, Adriatic Sea

Supervisor: Dr. Petar Kružić, Asst. Prof.

Reviewers:

Thesis accepted: 2013

---

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
1.1. Opća obilježja vrste <i>Posidonia oceanica</i>	1
1.2. Biologija	1
1.2.1. Stanište	1
1.2.2. Morfologija	2
1.2.3. Razmnožavanje	2
1.2.4. Ekologija	3
1.3. Ugroženost	4
1.4. Ciljevi istraživanja	6
<b>2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERIJALI I METODE</b>	<b>9</b>
<b>4. REZULTATI</b>	<b>11</b>
4.1. Temperatura, kisik i svjetlost	11
4.2. Koncentracija nutrijenata	13
4.3. Organska tvar: površinski aktivne tvari i otopljeni organski ugljik	16
4.4. Livade posidonije	20
<b>5. RASPRAVA</b>	<b>22</b>
<b>6. ZAKLJUČCI</b>	<b>29</b>
<b>7. LITERATURA</b>	<b>30</b>

## 1. UVOD

### 1.1. Opća obilježja vrste *Posidonia oceanica*

*Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, kod nas poznata kao posidonija, porost, voga ili jednostavno morska trava, endem je kako Jadranskog, tako i čitavog Sredozemnog mora. Uz nju, u ovim krajevima pronalazimo još samo tri morske cvjetnice, a to su: *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson – čvorasta morska resa, *Zostera marina* Linnaeus – morska svilina i *Zostera noltii* Hornemann – patuljasta svilina.

Ime je dobila po grčkom bogu mora, Posejdonu (Ποσειδών), što zapravo odražava i njezinu izuzetnu važnost te nezamjenjivu funkciju u morskim ekosustavima. Rod *Posidonia* objedinjuje još 8 vrsta (*Posidonia angustifolia* Cambridge & Kuo, *Posidonia australis* J.D.Hooker, *Posidonia coriacea* Cambridge & Kuo, *Posidonia denhartogii* Kuo & Cambridge, *Posidonia kirkmanii* Kuo & Cambridge, *Posidonia ostenfeldii* den Hartog, *Posidonia robertsoniae* Cambridge & Kuo, *Posidonia sinuosa* Cambridge & Kuo), koje se redom sve pojavljuju isključivo uz južne obale Australije. Taksonomski pripada u sljedeće kategorije:

Pododjeljak - Spermatophytina

Podrazred - Magnoliidae

Red - Alismatales

Porodica - Posidoniaceae

### 1.2. Biologija

#### 1.2.1. Stanište

Posidonija stvara guste livade na pomičnim dnima infralitoralnog područja, od površine pa do 40-ak m dubine. S obzirom da je upravo infralitoralna stepenica jako izražena u Jadranu, a pogotovo s obzirom na visoku prozirnost mora, čest je slučaj da biomasa morskih cvjetnica i alga uvelike premašuje biomasu životinjskog svijeta.

Jadransko u užem i Sredozemno more u širem smislu, kao umjerena mora, pružaju optimalne uvjete za razvoj livada posidonije, dok specifični hidrodinamički uvjeti osiguravaju

čistoću morske vode. Uslijed navedenog, livade posidonije postale su najproduktivniji morski ekosustavi ovog područja. One stvaraju „prašume“ u „pustinji“ manje ili više zamuljenih pješćanih dna, te pružaju zaštitu određenim vrstama i lovište drugima, čime uvelike pridonose ukupnoj produkciji i bioraznolikosti plitkih obalnih područja.

### **1.2.2. Morfologija**

Kao i svaka druga cvjetnica, i posidonija se sastoji od korijena, stabljike (odnosno podzemnog rizoma) i listova.

Korijen posidonije, kao i kod svih biljaka, služi pričvršćivanju za podlogu iz koje crpi hranjive tvari.

Stabljika je puzava, odnosno rizom, koja se korjenčićima veže za sediment, a služi i za vegetativno razmnožavanje. Specifična je utoliko što može rasti i horizontalno i vertikalno, osobina koja je za posidoniju vrlo važna, jer mrežu rizoma i izdanaka s vremenom zatrpava sediment, koji bi u protivnom biljku vrlo brzo ugušio. Ova prilagodba dvostruko je korisna, jer se tako sprječava i erozija obale. Iz rizoma rastu izdanci od kojih svaki ima snopiće s po 4 do 8 listova.

Listovi se sastoje od nepigmentirane baze i fotosintetizirajuće plojke zelene boje (svjetlije ili tamnije, ovisno o starosti), imaju 13-17 žila, na vrhu su zaobljeni, široki su oko 1 cm i duguljasti (prosječno 30-80 cm, a mogu narasti i više od 1 m). Plojke najstarijih listova otpadaju u jesen, dok baze listova ostaju na podanku.

### **1.2.3. Razmnožavanje**

*Posidonia oceanica* se razmnožava spolno i nespolno.

Spolnim putem se razmnožava pomoću cvjetova i plodova. Cvjetovi su neugledni, dvospolni, pojedinačni ili skupljeni u cvat. Posidonija cvjeta svakih nekoliko godina i to u jesen, a sazrijevanje plodova traje do proljeća. Peludna zrnca su ljepljiva i rasprostranjuju se morskim strujama, dok se plodovi šire uz pomoć i morskih struja i vjetra. Naime, svaki zreli plod (tzv. „morska maslina“) sastoji se od sjemenke i usplođa ispunjenog plinom koji, nakon odvajanja od matične biljke, ispluta na površinu gdje biva izložen djelovanju vjetra i morskih



struja. S vremenom se usplode raspukne, te sjemenka tone na dno i, ako su uvjeti povoljni, zakorjenjuje se.

Nespolno razmnožavanje omogućuje širenje na male udaljenosti, a odvija se putem rizoma. Vrlo je često u slučajevima okolišnog stresa i promjena fizikalno-kemijskih uvjeta u kojima biljka živi, te zbog kojih su inhibirani mehanizmi spolnog razmnožavanja.

#### **1.2.4. Ekologija**

Posidonija je prije oko 120 milijuna godina, dakle u doba krede, sekundarno prešla u more. Tranzicija k potpuno vodenim prilagodbama još je uvijek u tijeku: pelud se širi hidrofilno, dok se plodovi rasprostranjuju kombinacijom hidrohorije i anemohorije.

Relativno je euritemna vrsta (podnosi temperaturne oscilacije od 10°C do 28°C), no poprilično stenohalina, tako da je nećemo pronaći u boćatim vodama. Iako preferira čisto more, ipak donekle podnosi i onečišćenje, no utjecaj istog se redovito iskazuje prorjeđivanjem livada i izraženim obraštajem epifitskih alga na listovima.

Livade posidonije pružaju stanište i zaštitu mnogim morskim vrstama – od onih koji žive na njenim listovima, preko onih koji se među istima skrivaju od predatora, do onih koji tamo polažu jajašca. Relativno se mali broj vrsta njome hrani zbog visokog udjela celuloze u listovima, tako da je češći slučaj da kao hrana služe epifiti na njenim listovima i rizomima. Posidonija je primarno fotofilna vrsta čiji peririzomski dijelovi, zbog velike gustoće listova, često imaju i scijafilna obilježja, te ih nerijetko naseljavaju i vrste koje ne preferiraju izraženiju osvjetljenost. Uz gornje fotofilne slojeve, i svjetlijim uvjetima prilagođene vrste koje u njima obitavaju, naselja posidonije čine ekosustave izuzetno visoke biološke raznolikosti (Bakran-Petricioli, 2007).

Posidonija, po kvadratnom metru livade, u stupac vode oslobađa čak do 14 l kisika dnevno (Lorencin, 2010), što ju čini nezamjenjivim oksigenatorom i primarnim producentom morskog okoliša, te je vrlo efikasan indikator stanja litoralnih ekosustava. Izuzetno je važan čimbenik smanjenja erozije obale, kako zadržavanjem sedimenta među rizomima, tako i inhibirajući utjecaj valova svojim dugim listovima.

Svojedobno se posidonija koristila u razne kućanske, industrijske i farmaceutske svrhe, dok joj danas najveća opasnost prijeti od fizičkih poremećaja (kočarenje, dredže, sidrenje brodova), povećanog organskog opterećenja (marikultura, kanalizacija), onečišćenja mora

(industrijski zahvati, turizam), invazivnih vrsta (*Caulerpa taxifolia* (M. Vahl) C. Agardh i *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh) te zasjenjivanja (direktno fizičkog ili posredno razvojem epifitskih zajednica). Iako je zaštićena na gotovo cijelom Sredozemlju, degradacija livada je i dalje jako izražena.

### 1.3. Ugroženost

*Posidonia oceanica* stvara, u biološkom i ekonomskom smislu, najvrjednije zajednice i Sredozemnog i Jadranskog mora. Snažan utjecaj antropogenih aktivnosti direktno djeluje na evoluciju i preživljavanje ovih osjetljivih sustava (Ruiz i Romero, 2003). Područja prekrivena livadama posidonije u Mediteranu su reducirana više od 30% (Holmer *i sur.*, 2003). Potpisivanjem raznih međunarodnih konvencija (Barcelona 1976/1995, Bern 1979, Rio 1992, itd.) obalne su se zemlje obvezale na očuvanje i zaštitu morske vegetacije, posebno morskih cvjetnica, od kojih je mediteranski endem *P. oceanica* najugroženiji. Iako postoje znakovi degradacije posidonije u hrvatskom dijelu Jadrana, nadležne vlasti još uvijek nisu poduzele primjerene mjere zaštite.

U posljednjih se 40 godina čini kako je ova morska trava doživjela značajno propadanje na većini područja, što je posljedica raznih uzroka uglavnom povezanih s antropogenom aktivnošću, poput industrije i urbanih kanalizacijskih ispusta (Pérès, 1984; Bourcier, 1989; Pergent-Martini i Pergent, 1995; Pergent-Martini *i sur.*, 2006), uzgoja ribe (Delgado *i sur.*, 1997; Ruiz *i sur.*, 2001), kočarenja (Ruiz *i sur.*, 1999) i obalnih zahvata (Astier, 1984; Blanc i Jeudy de Grissac, 1989; Ruiz *i sur.*, 1993; Guidetti i Fabiano, 2000). Recentno povećanje uzgoja ribe u Jadranskom moru predstavlja dodatni antropogeni pritisak na livade morske cvjetnice *Posidonia oceanica*.

S obzirom da su kavezi uglavnom postavljeni u prirodno zaštićena područja, poput zaljeva i tjesnaca u relativno plitkim vodama, ribogojilišta predstavljaju velik pritisak na litoralnu stepenicu, pri čemu morske trave predstavljaju jedno od najosjetljivijih staništa. Prema Kataviću *i sur.* (2002), većina uzgajališta u Hrvatskoj nalazi se u vrlo plitkim područjima s vrlo slabom izmjenom vode. Problem je, također, i nedostatak kvalitetnog monitoringa utjecaja uzgajališta na kvalitetu vode i sedimenta. Ribogojilišta su uz to i u prostornoj kompeticiji s drugim ljudskim aktivnostima te, u nekim slučajevima, u konfliktu s pokušajima

zaštite vrijednih prirodnih područja.

Uzgoj ribe uzrokuje veliko organsko opterećenje okolne vode, koje pak utječe na ekosustav. Ovo opterećenje nutrijentima uzrokuje znatnu degradaciju kvalitete vode i odgovorno je za razne promjene, poput degradacije livada posidonije (Holmer *i sur.*, 2003; Pergent-Martini *i sur.*, 2006). Livade vrste *P. oceanica* pod kavezima nestaju, dok su okolna područja izrazito degradirana. Višak hrane, zajedno s ekskretima i fecesom, otpušta se u okoliš i rezultira visokim unosom organske tvari koja pada na dno i uzrokuje značajne promjene u kemiji sedimenta te poremećuje bentosku floru i faunu (Wu, 1995; Karakassis *i sur.*, 1999; La Rosa *i sur.*, 2002; Belias *i sur.*, 2003; Cancemi *i sur.*, 2003; Holmer *i sur.*, 2003). Ovakve promjene fizikalnih i kemijskih čimbenika vode i sedimenta rezultiraju redukcijom obilja morske trave ispod ribljih kaveza i okolnih područja. Ostali čimbenici također negativno utječu na biljku, npr. epifitsko cvjetanje koje zasjenjuje listove posidonije ili porast pritiska hranjenja riba i ježinaca. Svi navedeni čimbenici zajedno negativno utječu na zdravlje i preživljavanje posidonije, što ukazuje na osjetljivost morske trave na ljudske aktivnosti i objašnjava zašto je smatramo dobrim biološkim indikatorom kvalitete vode obalnih područja Mediterana. Ipak, neka su terenska istraživanja parametara stupca vode u blizini ribogojilišta pokazala slab ili nikakav utjecaj otopljenog otpada i navela na zaključak da se bilo kakav utjecaj na kvalitetu vode uglavnom događa na malim udaljenostima (Nordvarg i Johansson, 2002; Karakassis *i sur.*, 2005).

Relativno malo studija bavilo se problemom otopljenih nutrijenata sredozemnih ribogojilišta, tako da nije ustanovljen neki posebni uzorak. Organske otpadne tvari intenzivnog uzgoja unose se direktno u stupac vode u otopljenoj formi (80-90% ukupnog organskog ugljika) ili kao čestice (10-20%) u biološki vrlo aktivnom obliku. Te organske tvari, koje zajedno s onima prirodne pojavnosti tvore kompleksnu mješavinu različitih spojeva, najveća su zaliha reaktivnog otopljenog organskog ugljika (DOC) s potencijalom značajnih varijacija tijekom vremena, što utječe na globalni ekosustav u vremenskom periodu značajnom za ljudske interese. Veliki dio organskih tvari u morskoj vodi posjeduje površinski aktivna svojstva, pa se akumulira na granici vode s atmosferom, raspršenim i čestičnim materijalom, te sa sedimentom (Hunter i Liss, 1981; Ćosović *i sur.*, 1985; Marty *i sur.*, 1989). Površinski aktivne tvari (SAS) posreduju u procesu prijenosa energije i mase između različitih faza i predstavljaju najreaktivniji dio morske organske tvari.

Istraživanja organske tvari daju vrlo važne informacije o razinama koncentracije i

otopljenog organskog ugljika i površinski aktivnih tvari, njihove prostorne i vremenske varijabilnosti, te njihovog očekivanog utjecaja na procese u morskoj vodi, posebice u područjima pod izraženim utjecajem antropogenih aktivnosti.

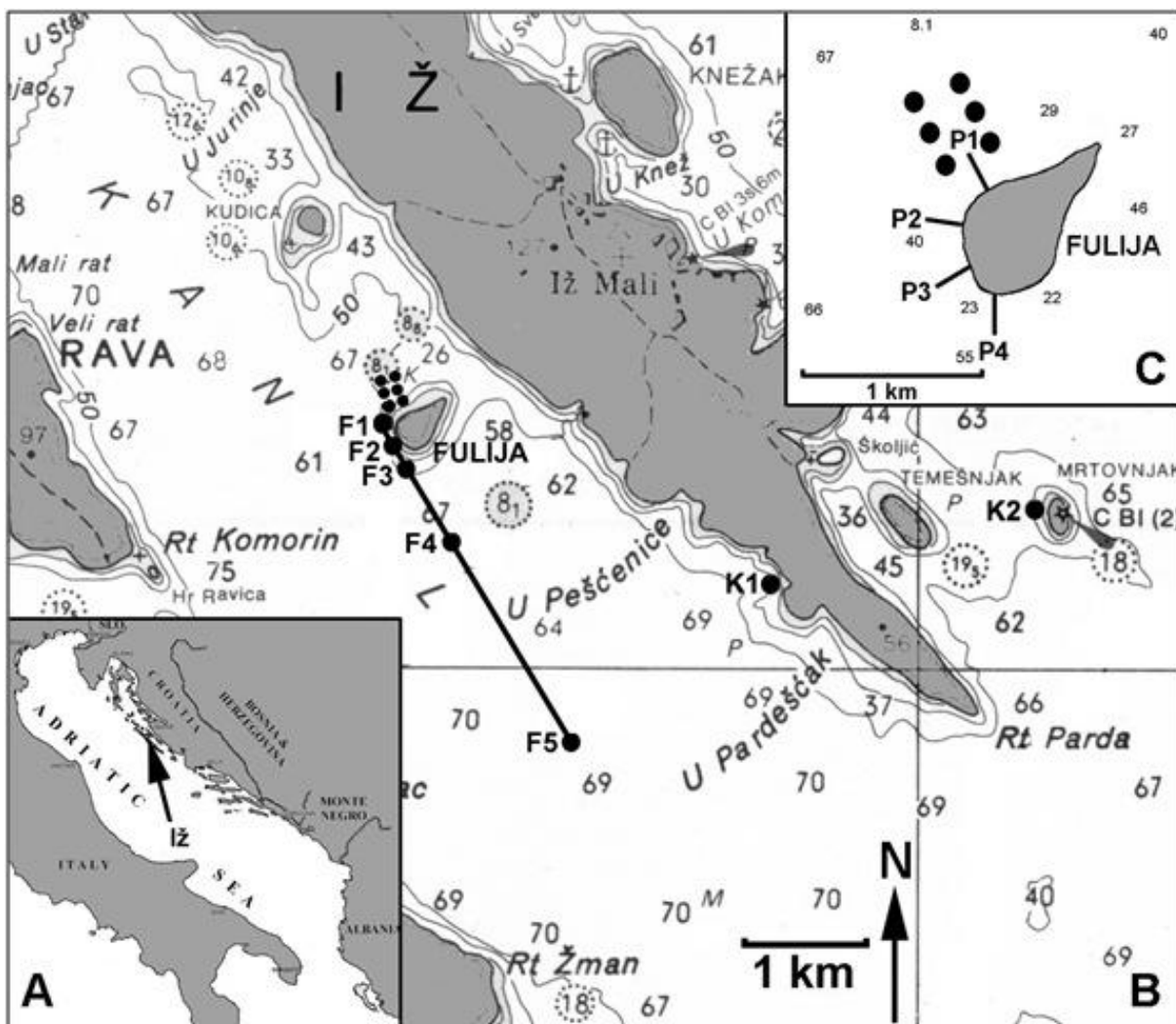
#### **1.4. Ciljevi istraživanja**

Livada vrste *Posidonia oceanica* istraživana je u blizini tunogojilišnih kaveza pored otočića Fulije, koji su zajedno s kavezima pored otočića Kudice, udaljenog oko 3 km, donosili oko 1500 tona tune godišnje. Analizirane su i karakteristike livade i produktivnost biljaka duž transekta od poremećenog prema neporemećenom području. Rezultati su uspoređeni s podacima o livadama izvan utjecaja ribogojilišta (otok Iž i otočić Mrtovnjak).

Utjecaj uzgoja tune na kvalitetu mora praćen je mjerenjem nutrijenata i zasićenja kisikom na različitim postajama i dubinama stupca vode.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno na području otočića Fulije (44°01'02"N, 15°06'42"E), koje je pod utjecajem uzgajališta tune (Slika 1). Mali otočić Fulija, smješten jugozapadno od otoka Iža, pruža zaštitu popratnoj mehanizaciji uzgajališta, koje je bilo prvo takve vrste u Sredozemnom moru. Kontrolne su stanice birane prema što sličnijem tipu dna kao i na samom uzgajalištu, te po sličnoj dubini.



**Slika 1.** A Karta s oznakom otoka Iža u srednjem Jadranu. B Karta s lokacijom proučavanog uzgajališta tune, otočić Fulija (6 crnih točaka) s 4 lokaliteta gdje je uzorkovana morska voda (F1-F4) i 3 kontrolne postaje (K1, K2 i F5). C 4 linijska transekta (P1-P4) u blizini kaveza s tunama na dubini od 5 do 25 m, gdje je mjerena brojnost izdanaka livade posidonije.

Broj izdanaka mjeren je na četiri linijska transekta u blizini kaveza s tunama (P1-P4) i na dvije kontrolne postaje (K1 – otok Iž i K2 – otočić Mrtovnjak) udaljene oko 4 km od kaveza (Slika 1). Četiri linijska transekta dubinom su varirali od 5 do 25 m: P1 – 50 m od kaveza, P2 – 100 m od kaveza, P3 – 300 m od kaveza i P4 – 600 m od kaveza. Kontinuirane livade vrste *P. oceanica* prisutne su na zapadnoj strani otočića Fulije (postaje P1-P4) te na kontrolnim postajama K1 i K2 od 3 do 30 m dubine. Većinom koloniziraju muljevite krupne pijeske. U blizini uzgajališta tune (postaja P1), na dubini od samo 10 m, uočena je livada u lošem stanju s velikim mrtvim područjima.

Ekološki parametri mjereni su u ožujku, lipnju, listopadu i prosincu 2004., svibnju 2005. te lipnju 2011. godine na postajama P1-P4, na postajama F1-F4, kao i na kontrolnim postajama K1, K2 i F5. Postaja F1 (otočić Fulija) udaljena je 50 m od uzgajališta tune, dok su ostale postaje od kaveza udaljene 100 m (F2), 300 m (F3), 1000 m (F4) i 3000 m (F5).

### 3. MATERIJALI I METODE

Uzorkovanje posidonije obavljeno je autonomnim ronjenjem. Gustoća livade (broj izdanaka po kvadratnom metru) procijenjena je na svakom lokalitetu pomoću 50x50 cm kvadrata, s barem 10 ponavljanja po postaji. Za procjenu obraštaja listova, sakupljeni su uzorci listova posidonije tijekom ljetnog perioda. Epifitske alge su ostrugane s čitavih listova (5 listova po izdanku, minimum 10 ponavljanja), sušene 48 h na 75°C te im je određena ukupna suha masa po izdanku.

U lipnju 2004. i 2011. godine korerima od 500 ml sakupljeni su uzorci sedimenta (u triplikatima) na postajama uz otočić Fulija (P1-P4) i na kontrolnim postajama (K1 i K2). Uzorci sedimenta su spaljeni u muflonskoj peći, 6 sati na 400°C i iz razlike ukupne težine sedimenta i težine ostataka sedimenta nakon spaljivanja dobivena je suha težina istaložene organske tvari.

Uzorci vode uzimani su Niskinovim crpcem na različitim dubinama (0,5 m, 5 m, 10 m i uz samo dno). Temperatura mora mjerena je Onset Computers Temperature Data Logger-ima na 10 m dubine – gdje se livade posidonije kontinuirano protežu na svim postajama. Intenzitet svjetlosti mjerena je Onset Computers StowAway Lightmeter-om također na 10 m dubine. Za određivanje koncentracije otopljenih nutrijenata (fosfata, nitrata, nitrita i amonijaka), 5-litarskim Niskinovim crpcem uzeti su uzorci morske vode tijekom ljeta i zime na postajama F1-F5, te na dvije kontrolne postaje K1 i K2, a amonijak, nitrati, nitriti i fosfati određeni su standardnim spektrofotometrijskim metodama (Coleman Junior II) s 5 ponavljanja po postaji (Strickland i Parsons, 1968). Kisik je mjerena WTW Oxi 197i Oxymeter-om.

Udio otopljenog organskog ugljika određen je u filtriranim (fiberglas-filteri, Whatman, GF/F) uzorcima morske vode pomoću visokotemperaturnog katalitičkog oksidacijskog analizatora (TOC-V<sub>CPH</sub> 5000 Model, Shimadzu, Japan). Ova se metoda temelji na kvantifikaciji oksidirane organske tvari (do CO<sub>2</sub>) pomoću nedisperzivne IC absorbancije. Slijepa proba pokazala je vrijednosti 0,09-0,13 mg/L C, dok su devijacije mjerenja bile manje od 5% od prosjeka. Standardizacija mjerenja provedena je prije analiza pomoću kalijevog hidrogen-ftalata u koncentracijama od 0,5, 1, 2 i 4 mg/L C.

Određivanje površinski aktivnih tvari (SAS) izvedeno je fazno-osjetljivom polarografijom izmjeničnom strujom na živinoj elektrodi po drugdje opisanom postupku (Ćosović i Vojvodić,

1982; 1987; 1989; 1998; 2000; Vojvodić *i sur.*, 1994; Vojvodić i Ćosović, 1996). Ukratko, metoda fazno-osjetljive polarografije izmjeničnom strujom, koja mjeri izvanfazne signale kapacitivne struje, bazira se na studiji o adsorpcijskim efektima SAS-a iz morske vode na živinu elektrodu pri odabranim uvjetima potencijala (-0,6 V na Ag/AgCl elektrodu), vremena adsorpcije (15, 30, 60 i 120 s) i transportnog moda kontroliranog akumulacijom putem miješanja otopine.

Za kvantitativno određivanje adsorpcijskih učinaka nepoznate smjese SAS-a (mg/L) u uzorcima morske vode, kalibracija krivulje pripremljena je proizvoljnim modelom neionizirane površinski aktivne tvari (korišten je Triton-X-100).

Detekcijska granica određivanja SAS-a u elektrolitnoj otopini je 0,02 mg/L ekvivalenta Triton-X-100. Relativna standardna devijacija, dobivena višestrukim analizama iste otopine koja sadrži SAS u razini 0,1 mg/L, manja je od 5%.

Površinski aktivne tvari određene su i u izvornim (nefiltriranim) uzorcima morske vode (SAS NF) i u filtriranim uzorcima koji sadrže samo otopljene površinski aktivne tvari (SAS F).

Elektrokemijska mjerenja obavljena su Metrohm instrumentom, 757 VA Computrace (Metrohm, Švicarska) pomoću živine kapne elektrode i Ag/AgCl elektrode kao referentne elektrode.

Jednosmjerni ANOVA model proveden je kako bi se procijenila razlika između istraživanih postaja, nakon čega je proveden i Turkey Honestly Significant Difference test. Dvosmjerni ANOVA je proveden da bi se otkrile razlike između postaja i perioda uzorkovanja. Korišten je program Statistica 7.0 za Windows.



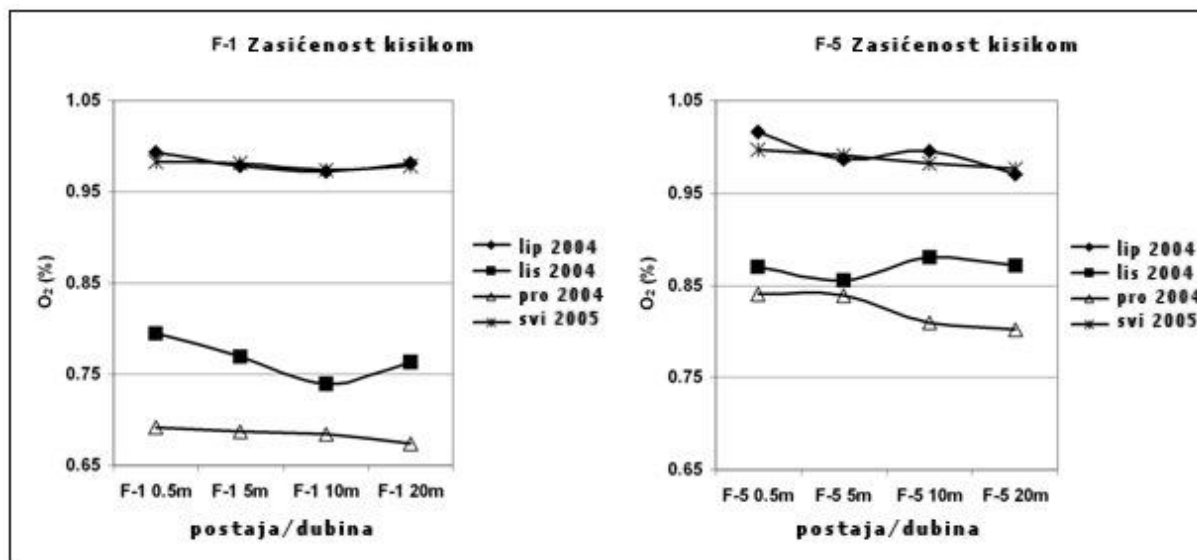
## 4. REZULTATI

### 4.1. Temperatura, kisik i svjetlost

Temperatura mora pokazala je sezonsku varijabilnost u rasponu od 10,2°C do 23,1°C bez značajnih razlika među istraživanim postajama (Tablica 1). Uvjeti najnižeg zasićenja kisikom zabilježeni su i na površini i na dubini od 20 m na postajama F1 i F2 u blizini uzgajališta tune u listopadu i prosincu. Kako je prikazano u Tablici 1 i na Slici 2, zasićenje kisikom pokazuje blagi uzlazni trend od postaje F1 prema vanjskim postajama F5, K1 i K2. Međutim, nije primijećena značajna razlika između istraživanih lokaliteta ( $p > 0,05$ ). Dvosmjerni ANOVA je pokazao značajnu razliku u zasićenosti kisikom samo u prosincu između postaje F1 i kontrolne postaje K2 ( $p < 0,01$ ).

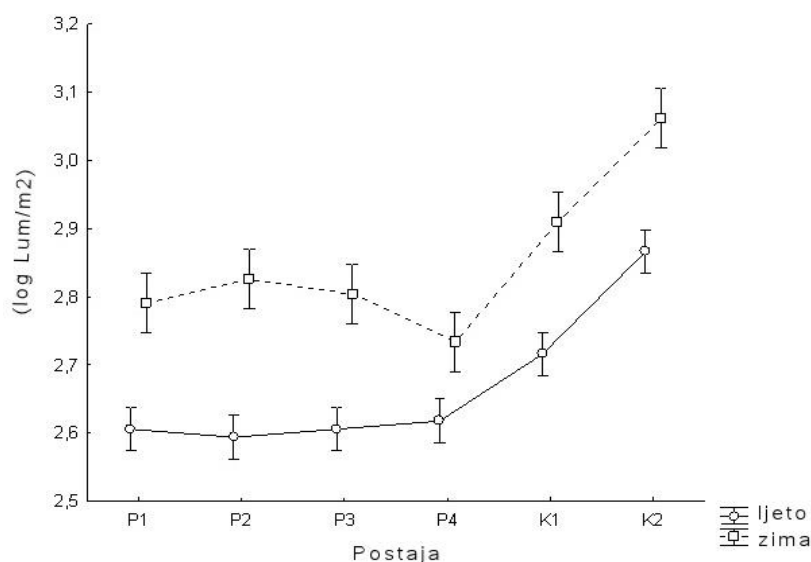
**Tablica 1.** Sezonske varijacije temperature (°C) i kisika (mg/L i % saturacije) na površini i dubini od 20 m u blizini otočića Fulije (F1 – F5) i na dvije kontrolne postaje (K1 i K2). SD = Standardna devijacija.

Temp. (°C)	F1		F2		F3		F4		F5		K1		K2	
	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m
Ožujak	10,3	9,7	10,3	9,7	10,2	9,8	10,3	9,8	10,2	9,9	10,3	9,6	10,4	9,6
Lipanj	21,1	19,3	22,2	19,2	22,0	18,7	21,3	19,5	23,1	19,2	22,1	19,4	21,4	19,3
Listopad	20,8	19,7	20,9	19,7	21,0	19,8	21,1	19,9	21,2	19,9	20,9	19,7	20,9	19,8
Prosinac	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,3	16,4	16,4	16,4	16,3	16,4	16,4
Svibanj	20,1	19,4	20,2	19,2	20,1	18,7	20,3	19,1	20,2	18,6	20,2	19,2	20,1	19,1
Prosjeck ± SD	17,7 4,6	16,9 4,2	18,0 4,8	16,8 4,2	17,9 4,8	16,7 4,0	17,9 4,7	16,9 4,2	18,2 5,1	16,8 4,1	18,0 4,8	16,8 4,3	17,8 4,6	16,8 4,3
O <sub>2</sub> (mg/L)	F1		F2		F3		F4		F5		K1		K2	
	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m
Ožujak	7,5	7,5	7,3	7,6	7,7	7,9	7,8	7,9	7,9	8,1	8,1	8,2	8,1	8,2
Lipanj	7,0	7,3	6,9	7,2	7,1	7,3	7,0	7,2	7,0	7,5	7,1	7,4	7,3	7,4
Listopad	5,5	5,4	5,9	5,4	5,7	5,5	6,0	6,1	6,3	6,3	7,4	7,6	7,3	7,4
Prosinac	5,2	5,1	5,3	5,2	5,2	5,2	6,3	6,2	6,5	6,3	7,7	7,9	7,8	8,0
Svibanj	6,7	6,9	6,5	6,7	6,7	6,9	6,7	6,9	6,8	7,0	7,1	7,3	7,1	7,4
Prosjeck ± SD	6,4 0,9	6,4 1,1	6,4 0,8	6,4 1,1	6,5 1,0	6,6 1,2	6,8 0,7	6,9 0,7	6,9 0,6	7,0 0,8	7,5 0,4	7,7 0,4	7,5 0,5	7,7 0,4
Zasić. O <sub>2</sub> (%)	F1		F2		F3		F4		F5		K1		K2	
	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m	0.m	20.m
Ožujak	99,6	98,2	99,2	98,2	99,8	98,7	101,4	99,9	101,7	99,4	100,7	99,8	102,3	100,4
Lipanj	99,4	98,1	99,5	96,4	101,1	96,9	99,3	99,1	101,6	97,1	99,8	99,4	101,3	100,0
Listopad	79,5	76,3	79,7	76,7	82,3	77,6	80,5	80,2	87,0	87,2	98,6	98,2	99,3	101,1
Prosinac	69,2	67,4	69,4	68,9	68,8	68,0	79,6	78,4	84,1	80,2	96,7	93,5	97,0	94,9
Svibanj	98,3	97,8	98,1	97,6	99,1	96,7	99,5	98,8	99,7	97,6	99,8	99,3	100,1	99,8
Prosjeck ± SD	89,2 14,0	87,6 14,7	89,2 13,9	87,6 13,8	90,2 14,2	87,6 13,9	92,1 11,0	91,3 10,9	94,8 8,6	92,3 8,3	99,1 1,5	98,0 2,6	100,0 2,1	99,2 2,5



**Slika 2.** Vertikalni profil zasićenosti kisikom na postaji F1 i kontrolnoj postaji F5 izmjerene u lipnju, listopadu i prosincu 2004. i svibnju 2005. godine.

Značajne su razlike također uočene u intenzitetu svjetlosti ( $p < 0,001$ ) (Slika 3). Najviše vrijednosti svjetlosnog intenziteta zabilježene su u prosincu na kontrolnoj postaji K2 ( $3,06 \pm 0,03 \log \text{Lum}/\text{m}^2$ ), a najniže u lipnju na postaji P2 ( $2,59 \pm 0,02 \text{Lum}/\text{m}^2$ ).



**Slika 3.** Srednja vrijednost zasićenosti svjetlom ( $\log \text{Lum}/\text{m}^2$ ) po zimi i na ljetu na dubini od 10 m na uzorkovnim postajama u blizini otočića Fulija (P1-P4) i kontrolnim postajama (K1 i K2).

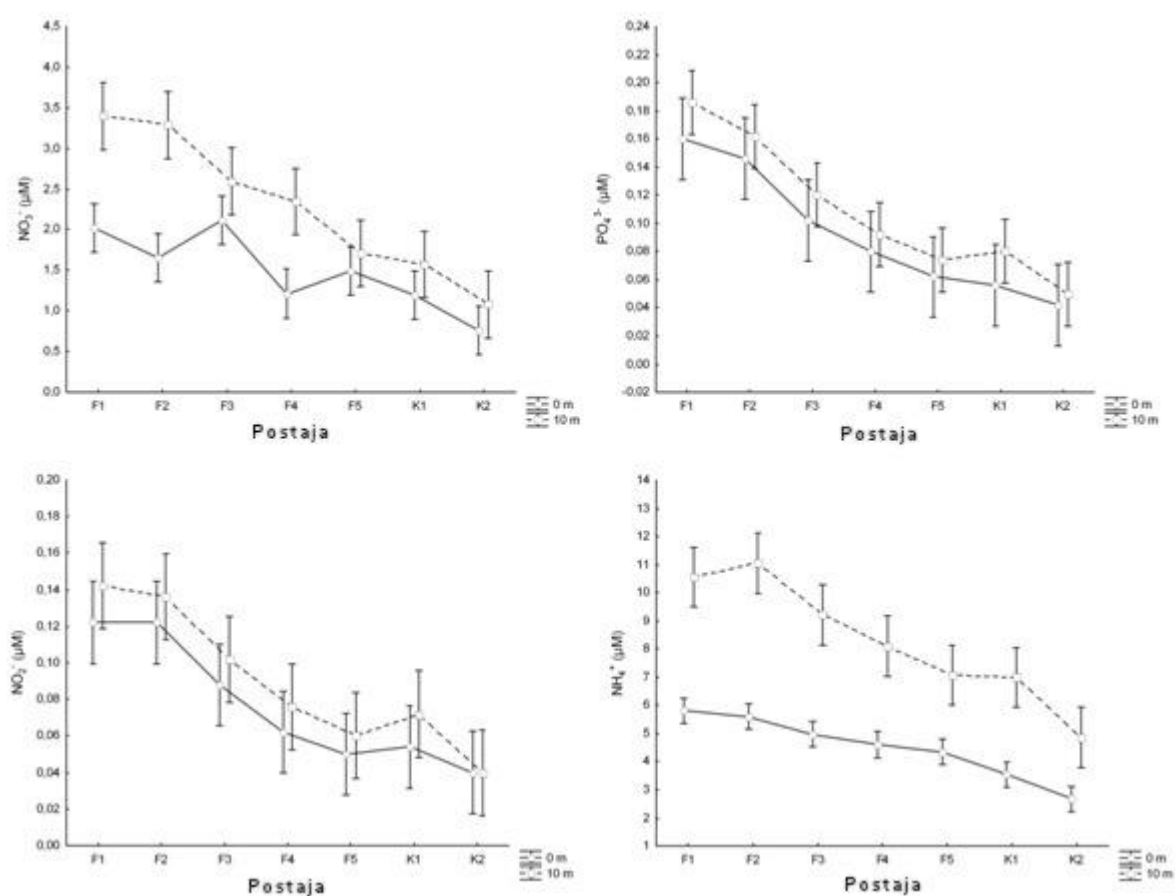
## 4.2. Koncentracija nutrijenata

Rezultati pokazuju da su koncentracije otopljenih nutrijenata na kontrolnim postajama K1, K2 i F5 značajno niže nego u blizini uzgajališta tune ( $p < 0,001$ ) (Tablica 2, Slika 4).

**Tablica 2.** Sezonske varijacije razine nutrijenata na površini i na 10 m dubine u blizini otočića Fulija (F1-F5) i na dvije kontrolne postaje (K1 i K2). SD = Standardna devijacija.

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	F1		F2		F3		F4		F5		K1		K2	
	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m
Ožujak	1,96	2,77	1,78	3,04	1,83	2,19	1,14	1,89	1,22	1,68	1,19	1,51	0,89	1,03
Lipanj	2,11	3,73	1,34	3,79	1,77	2,56	1,26	2,09	1,03	1,38	1,09	1,36	0,47	0,70
Listopad	2,03	3,77	1,52	3,27	2,73	3,01	1,29	2,96	1,96	2,17	1,46	2,07	0,96	1,74
Prosinac	2,57	3,89	2,38	3,88	2,21	3,07	1,31	2,76	1,45	1,49	1,29	1,49	0,83	0,80
Svibanj	1,44	2,82	1,27	2,47	2,03	2,14	1,06	2,03	1,79	1,81	0,96	1,43	0,67	1,12
Prosjeak	2,02	3,40	1,66	3,29	2,11	2,59	1,21	2,35	1,49	1,70	1,19	1,57	0,76	1,08
± SD	0,40	0,55	0,45	0,58	0,39	0,44	0,11	0,48	0,39	0,31	0,19	0,28	0,19	0,41
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	F1		F2		F3		F4		F5		K1		K2	
	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m
Ožujak	0,07	0,09	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05	0,02	0,02
Lipanj	0,09	0,11	0,10	0,12	0,06	0,08	0,05	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,04
Listopad	0,13	0,17	0,14	0,16	0,10	0,11	0,08	0,09	0,07	0,06	0,07	0,09	0,04	0,05
Prosinac	0,16	0,19	0,17	0,18	0,11	0,14	0,07	0,09	0,06	0,08	0,08	0,09	0,05	0,06
Svibanj	0,16	0,15	0,09	0,12	0,09	0,11	0,05	0,08	0,04	0,06	0,03	0,06	0,04	0,03
Prosjeak	0,12	0,14	0,12	0,13	0,09	0,10	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07	0,04	0,04
± SD	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM)	F1		F2		F3		F4		F5		K1		K2	
	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m
Ožujak	0,11	0,14	0,09	0,12	0,08	0,11	0,06	0,09	0,06	0,07	0,05	0,06	0,03	0,04
Lipanj	0,17	0,18	0,15	0,17	0,11	0,12	0,09	0,10	0,04	0,08	0,05	0,08	0,05	0,04
Listopad	0,12	0,16	0,11	0,12	0,06	0,11	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06	0,09	0,03	0,05
Prosinac	0,21	0,24	0,22	0,21	0,15	0,14	0,11	0,12	0,10	0,09	0,08	0,10	0,06	0,07
Svibanj	0,19	0,21	0,16	0,19	0,11	0,12	0,07	0,07	0,05	0,06	0,04	0,07	0,04	0,05
Prosjeak	0,16	0,19	0,15	0,16	0,10	0,12	0,08	0,09	0,06	0,07	0,06	0,08	0,04	0,05
± SD	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	F1		F2		F3		F4		F5		K1		K2	
	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m	0,m	10 m
Ožujak	5,28	8,63	5,34	9,11	4,73	7,31	4,28	7,06	3,77	6,49	3,79	5,93	2,06	4,07
Lipanj	5,37	9,20	5,41	10,21	5,36	9,03	5,31	7,18	5,27	5,73	2,98	6,77	2,74	4,10
Listopad	6,31	10,72	5,76	11,03	5,02	9,34	5,01	8,21	4,73	7,07	4,21	6,86	2,79	5,14
Prosinac	6,77	12,60	6,08	12,96	4,97	10,14	4,36	9,21	4,08	7,99	3,28	8,03	3,03	5,90
Svibanj	5,26	11,61	5,39	11,94	4,79	10,21	4,07	8,87	3,82	8,06	3,46	7,33	2,79	5,08
Prosjeak	5,79	10,55	5,60	11,05	4,97	9,21	4,61	8,11	4,33	7,07	3,54	6,96	2,68	4,86
± SD	0,69	1,65	0,32	1,49	0,25	1,18	0,53	0,97	0,65	0,99	0,47	0,77	0,37	0,78

Na čitavom su istraživanom području koncentracije nutrijenata bile veće na 10 m dubine nego u površinskom sloju. U prosincu su zabilježene značajno veće koncentracije otopljenog anorganskog fosfata, nitrata, nitrita i amonijaka na postajama u blizini uzgajališta ( $p < 0,001$ ). Dvosmjerni ANOVA pokazao je značajnu razliku u otopljenim anorganskim fosfatima, nitratima, nitritima i amonijaku između postaja F1 i kontrolnih postaja F5, K1 i K2 u prosincu ( $p < 0,001$ ) i svibnju ( $p < 0,01$ ).



**Slika 4.** Godišnja srednja vrijednost koncentracije nutrijenata i amonijaka na površini i na 10 m dubine na uzorkovnim postajama u blizini otočića Fulije.

Na dubini od 10 m, srednje vrijednosti nitrata su bile  $3,4 \pm 0,55 \mu\text{M}$  na postaji F1 udaljenoj 50m od kaveza i otprilike upola manje na kontrolnim postajama F5 ( $1,7 \pm 0,31 \mu\text{M}$ ) i K2 ( $1,08 \pm 0,41 \mu\text{M}$ ). Najviša izmjerena vrijednost koncentracije nitrata površinskog sloja mora bila je na postaji F3 ( $2,11 \pm 0,39 \mu\text{M}$ ) (Tablica 2).

Najveća srednja vrijednost nitrita zabilježena je na postaji F1 na 10 m dubine ( $0,14 \pm 0,04 \mu\text{M}$ ), dok je najniža izmjerena na kontrolnoj postaji K2 ( $0,04 \pm 0,02 \mu\text{M}$ ).

Najviše vrijednosti fosfata uočene su i na 10 m dubine ( $0,19 \pm 0,04 \mu\text{M}$ ) i na površini ( $0,16 \pm 0,04 \mu\text{M}$ ) postaje F1 u blizini kaveza. Najniža je površinska vrijednost zabilježena na kontrolnoj postaji K2 ( $0,04 \pm 0,01 \mu\text{M}$ ), a najniža dubinska na kontrolnoj postaji K2 ( $0,05 \pm 0,01 \mu\text{M}$ ).

Vrijednosti koncentracije amonijaka u blizini kaveza značajno su više nego na kontrolnim postajama. Najveća srednja koncentracija na 10 m dubine je na postaji F2 ( $11,05 \pm 1,42 \mu\text{M}$ ). Na istoj dubini, na kontrolnoj postaji K2, srednja godišnja vrijednost je  $4,86 \pm 0,78 \mu\text{M}$  (Tablica 2). Dvosmjerni ANOVA pokazuje značajnu razliku u koncentracijama amonijaka između lokaliteta F1 i kontrolnih postaja F5, K1 i K2 tijekom svih istraživanih mjeseci ( $p < 0,001$ ).

### 4.3. Organska tvar: površinski aktivne tvari i otopljeni organski ugljik

Kao što je prikazano u Tablici 3, najviša srednja koncentracija površinski aktivnih tvari zabilježena je u površinskom sloju u izvornim nefiltriranim (SAS NF) uzorcima prikupljenim tijekom 2004. i 2005. godine na postaji F1 ( $0,073 \pm 0,059$  mg/L). Najniža je SAS NF koncentracija primijećena na postaji F3 ( $0,048 \pm 0,025$  mg/L). U pridnenom sloju, s inače nižim koncentracijama SAS-a u odnosu na gornje slojeve, najveća srednja koncentracija primijećena je na postaji F1 ( $0,045 \pm 0,032$  mg/L), a najniža na kontrolnoj postaji F5 ( $0,025 \pm 0,007$  mg/L). Nije došlo do pojave značajnijih razlika srednjih koncentracija površinski aktivnih tvari kod nefiltriranih uzoraka među istraživanim lokalitetima ( $p > 0,05$ ).

Kod filtriranih uzoraka prikupljenih u površinskom sloju, najvišu srednju vrijednost SAS F imala je postaja F1 ( $0,056 \pm 0,042$  mg/L), dok je najniža bila na kontrolnoj postaji F5 ( $0,045 \pm 0,031$  mg/L). Među pridnenim uzorcima, najviša je SAS F vrijednost zabilježena na postaji F4 ( $0,039 \pm 0,028$  mg/L), a najniža na kontrolnoj postaji F5 ( $0,029 \pm 0,013$  mg/L). Kao i u slučaju SAS NF-a, nije pronađena značajnija razlika između postaja ( $p > 0,05$ ).

Rezultati ispitivanja otopljenog organskog ugljika, prikazani u Tablici 3, pokazuju da je najvišu srednju vrijednost koncentracije DOC-a površinskih uzoraka pokazala postaja F1 ( $1,32 \pm 0,40$  mg/L), dok je najnižu imala postaja F4 ( $0,93 \pm 0,30$  mg/L). Među pridnenim uzorcima najviša srednja vrijednost koncentracije DOC-a pronađena je na postaji F3 ( $1,01 \pm 0,29$  mg/L), a najniža na postaji F4 ( $0,84 \pm 0,15$  mg/L). Ni u slučaju DOC-a nisu pronađene značajnije razlike među postajama ( $p > 0,05$ ).

Neovisno o svemu, potrebno je naglasiti kako oba navedena parametra (i SAS i DOC) jako ovise o biološkoj aktivnosti morskog ekosustava, pokazujući izražene sezonske oscilacije – od visokih vrijednosti između kasnog proljeća i rane jeseni do niskih zimi. Također, što se vodenog stupca tiče, više koncentracije SAS-a i DOC-a karakteriziraju površinske slojeve u odnosu na niže pridnene koncentracije.

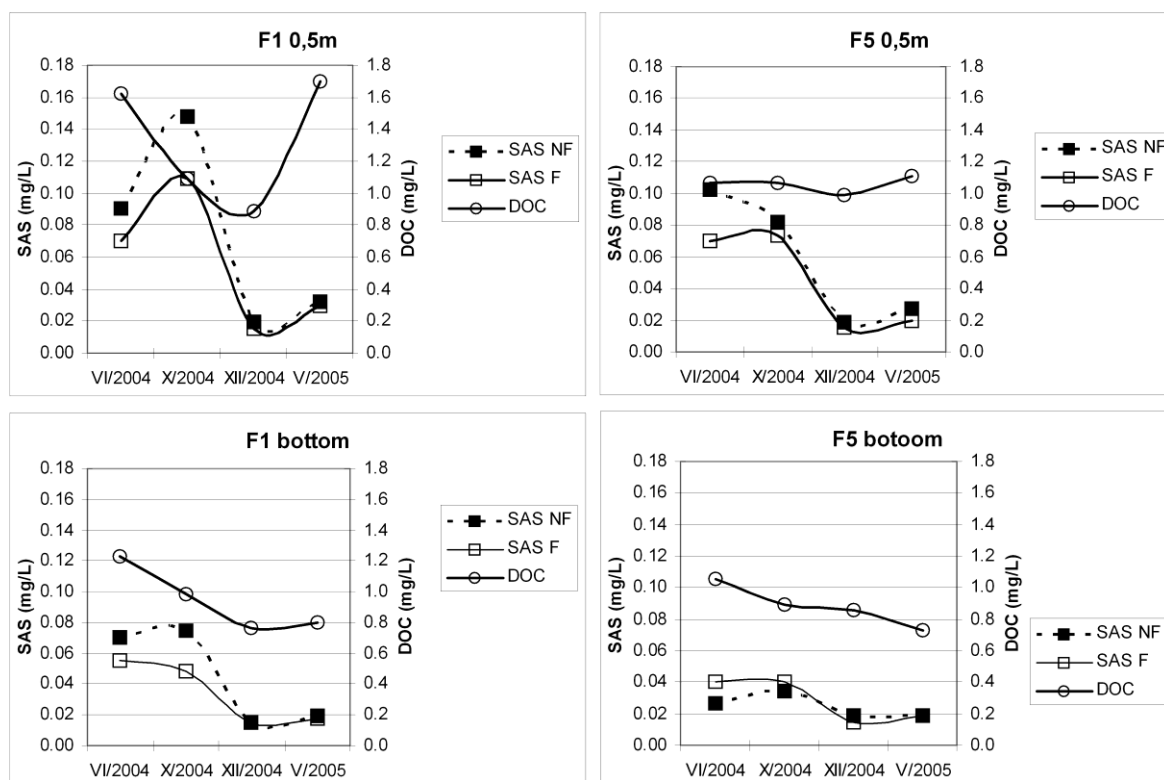
U tom svjetlu, raspon koncentracija SAS NF uzoraka sakupljenih u lipnju ( $0,027 - 0,122$  mg/L, srednja vrijednost  $0,073 \pm 0,022$  mg/L) i u listopadu ( $0,032 - 0,148$  mg/L, srednja vrijednost  $0,078 \pm 0,023$  mg/L) pokazuje više vrijednosti od onih sakupljenih u prosincu ( $0,015 - 0,053$  mg/L, srednja vrijednost  $0,024 \pm 0,012$  mg/L) i svibnju ( $0,019 - 0,060$  mg/L, srednja vrijednost  $0,030 \pm 0,013$  mg/L). Sličan vremenski trend pokazuju i filtrirani uzorci (SAS F), ali s nešto nižim vrijednostima.

Otopljeni organski ugljik, kao konzervativniji parametar, također pokazuje slične vremenske varijacije. Raspon koncentracija DOC-a seže od viših u lipnju (1,03 – 1,88 mg/L, srednja vrijednost  $1,31 \pm 0,27$  mg/L) i listopadu (0,88 – 1,09 mg/L, srednja vrijednost  $1,01 \pm 0,06$  mg/L), ali i u svibnju (0,75 – 1,70 mg/L, srednja vrijednost  $0,94 \pm 0,22$  mg/L), do nižih vrijednosti prosinca (0,58 – 1,06 mg/L, srednja vrijednost  $0,82 \pm 0,14$  mg/L).

**Tablica 3.** Sezonske varijacije površinski aktivnih tvari (SAS NF i SAS F) i otopljenog organskog ugljika (DOC) u uzorcima morske vode uzetim na lokalitetima F1, F2, F3, F4 i F5. SD = Standardna devijacija. Pridneni uzorci uzimani su na dubini od 50 m.

SAS NF (mg/L)	F1			F2			F3			F4			F5							
	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m					
Lipanj	0,090	0,085	0,112	0,100	0,062	0,080	0,065	0,062	0,072	0,070	0,027	0,092	0,072	0,080	0,072	0,102	0,072	0,062	0,027	
Listopad	0,148	0,073	0,060	0,086	0,083	0,083	0,032	0,075	0,075	0,086	0,072	0,095	0,065	0,075	0,065	0,082	0,076	0,098	0,034	
Prosinac	0,020	0,034	0,032	0,043	0,019	0,019	0,018	0,019	0,019	0,015	0,015	0,048	0,053	0,015	0,019	0,048	0,053	0,015	0,019	
Svibanj	0,032	0,028	0,025	0,022	0,045	0,056	0,023	0,035	0,023	0,060	0,019	0,040	0,040	0,030	0,018	0,027	0,019	0,020	0,019	
Prosjeck	0,073	0,055	0,062	0,063	0,052	0,060	0,032	0,048	0,047	0,058	0,033	0,069	0,058	0,050	0,044	0,065	0,055	0,049	0,025	
± SD	0,059	0,028	0,041	0,032	0,036	0,027	0,030	0,016	0,025	0,030	0,030	0,029	0,014	0,032	0,029	0,034	0,026	0,039	0,007	
SAS F (mg/L)	F1			F2			F3			F4			F5							
0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m
Lipanj	0,070	0,077	0,070	0,065	0,070	0,070	0,065	0,080	0,070	0,070	0,060	0,065	0,072	0,070	0,060	0,070	0,065	0,065	0,065	0,040
Listopad	0,109	0,080	0,072	0,048	0,089	0,086	0,065	0,040	0,075	0,082	0,072	0,046	0,083	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,080	0,040
Prosinac	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,018	0,015	0,015	0,019	0,018	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Svibanj	0,030	0,019	0,019	0,018	0,026	0,019	0,018	0,018	0,019	0,020	0,019	0,017	0,019	0,019	0,019	0,020	0,017	0,018	0,019	
Prosjeck	0,056	0,048	0,044	0,034	0,050	0,046	0,042	0,032	0,048	0,048	0,044	0,032	0,046	0,045	0,044	0,045	0,043	0,045	0,029	
± SD	0,042	0,036	0,031	0,020	0,035	0,035	0,030	0,019	0,034	0,033	0,031	0,019	0,034	0,032	0,028	0,031	0,031	0,033	0,013	
DOC (mg/L)	F1			F2			F3			F4			F5							
0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m	0,m	5,m	10 m
Lipanj	1,620	1,400	1,410	1,230	1,560	1,880	1,810	1,030	1,080	1,410	1,540	1,360	1,280	1,130	1,090	1,070	1,030	1,250	1,060	
Listopad	1,090	1,070	0,960	0,980	1,040	1,090	1,000	0,880	1,020	1,030	0,980	0,930	1,040	1,060	0,990	1,070	1,040	1,030	0,892	
Prosinac	0,890	1,060	0,720	0,760	0,980	0,850	0,780	0,920	1,000	0,750	0,680	0,850	0,680	0,660	0,680	0,990	0,940	0,890	0,860	
Svibanj	1,700	0,750	0,960	0,800	0,970	1,090	0,810	0,850	1,040	0,790	0,840	1,100	0,830	0,810	1,040	1,110	0,980	0,850	0,730	
Prosjeck	1,325	1,070	1,013	0,943	1,138	1,228	1,100	0,920	1,035	0,985	1,010	1,010	0,933	0,915	0,960	1,060	0,998	1,005	0,886	
± SD	0,397	0,266	0,288	0,214	0,283	0,449	0,483	0,079	0,034	0,303	0,374	0,298	0,298	0,219	0,185	0,050	0,046	0,181	0,136	

Rezultati SAS i DOC koncentracija dobivenih na postaji F1 u blizini ribljih kaveza i kontrolnoj postaji F5 smještenoj daleko od uzgajališta tune, prikazani su na Slici 5 s ciljem spoznavanja mogućih utjecaja uzgajališta tune na distribuciju organske tvari u vodenom stupcu. Stupac vode predstavljen je s dva sloja, površinskim i pridnenim, gdje su razlike u vrijednostima SAS-a i DOC-a najizraženije.



**Slika 5.** Vertikalni profil površinski aktivnih tvari u nefiltriranim (SAS NF) i filtriranim (SAS F) uzorcima, te otopljenog organskog ugljika (DOC) u stupcu morske vode na postajama F1 i F5.

Rezultati jasno pokazuju maksimum vrijednosti koncentracija DOC-a u površinskom sloju u blizini uzgajališta tune (postaja F1) tijekom svibnja, sa značajno višim vrijednostima (34%) nego što su one na kontrolnoj postaji F5, gdje toliki maksimumi nisu zabilježeni. U pridnenom je sloju 13% viša koncentracija DOC-a u blizini kaveza pronađena samo tijekom ljetnih mjeseci.

Vidljiva razlika u sastavu površinski aktivnih tvari primijećena je u listopadu u površinskom sloju na postaji F1 u odnosu na postaju F5 - koncentracije SAS NF-a i SAS F-a su na lokalitetu F1 44,6% i 33% više nego na lokalitetu F5. Što se pridnenog sloja (s i inače nižim koncentracijama SAS-a) tiče, povećane koncentracije SAS-a zabilježene su na postaji F1 u odnosu na vrijednosti kontrolne postaje F5 u lipnju i listopadu (16,7% i 61,4%).



Sastav nefiltriranog SAS uzorka, koji sadržava i otopljene i čestične organske tvari (SAS NF), u odnosu na koncentracije otopljene forme (SAS F), dominirao je uzorcima sakupljenim tijekom lipnja i listopada. Na lokalitetu F1 i u površinskom i u pridnom sloju koncentracije SAS NF bile su 16,4% i 21,4% više od vrijednosti filtriranih uzoraka. U prosincu i ožujku je sastav SAS-a u oba sloja bio sličan.

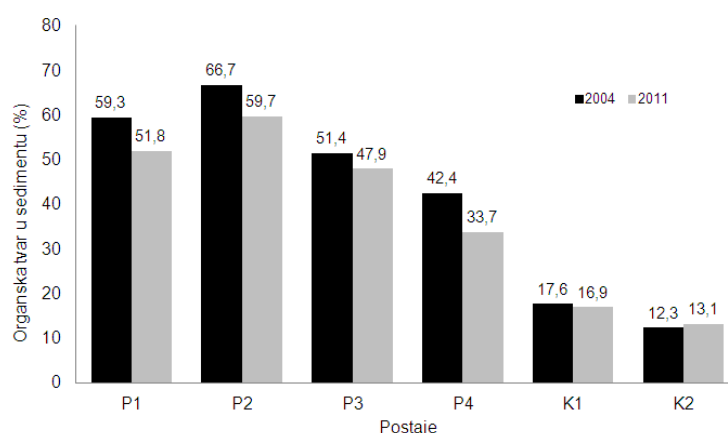
Značajnije razlike u organskoj tvari nisu pronađene među lokalitetima tijekom istraživanih mjeseci ( $p > 0,05$ ).

U tablici 4. prikazan je postotak organske tvari u sedimentu sakupljenom na postajama uz otočić Fulija (P1 - P4) i dvije kontrolne postaje (K1 i K2) tijekom lipnja 2004. (uzgajalište aktivno) i 2011. (uzgajalište zatvoreno) godine na dubini od 15 metara.

**Tablica 4.** Postotak organske tvari u sedimentu na postajama uz otočić Fulija (P1 - P4) i dvije kontrolne postaje (K1 i K2). Uzorci su sakupljeni u lipnju 2004. i 2011. godine.

Organska tvar u sedimentu (2004) u %						
Dubina/Postaja	P1	P2	P3	P4	K1	K2
15 m	59,3	66,7	51,4	42,4	17,6	12,3
Organska tvar u sedimentu (2011) u %						
Dubina/Postaja	P1	P2	P3	P4	K1	K2
15 m	51,8	59,7	47,9	33,7	16,9	13,1

Najveći postotak organske tvari utvrđen je na postaji P2 (66,7% u 2004. i 59,7% u 2011. godini). Uzorci iz lipnja 2011. godine pokazuju neznatno manje vrijednosti na postajama P1, P2 i P3 (Slika 6).



**Slika 6.** Postotak organske tvari u sedimentu na postajama uz otočić Fulija (P1 - P4) i dvije kontrolne postaje (K1 i K2). Uzorci su sakupljeni u lipnju 2004. i 2011. godine.

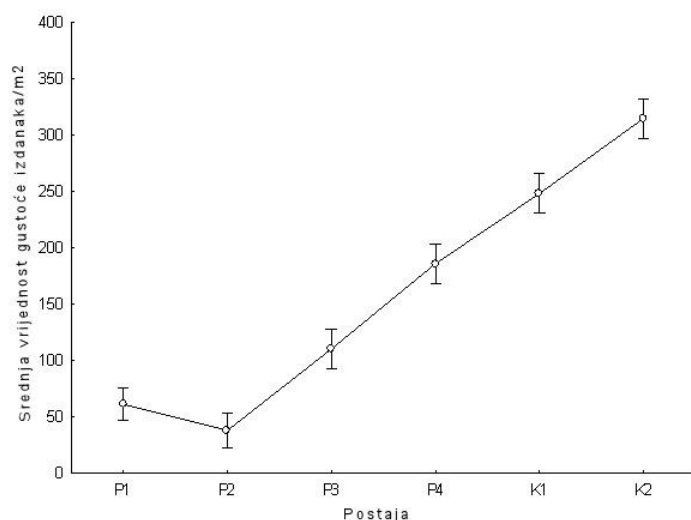
#### 4.4. Livade posidonije

Potpuna degradacija livada vrste *Posidonia oceanica* zabilježena je u krugu 70 m oko kaveza, gdje je potpuno odumiranje očigledno, dok je broj izdanaka znatno reduciran još daljnjih 500 m od uzgajališta. Značajne su razlike izražene u broju izdanaka između lokaliteta na Fuliji i kontrolnih postaja ( $p < 0,001$ ). Maksimalne vrijednosti prostorne strukture livada posidonije pronađene su na 10 m dubine na lokalitetima najudaljenijim od kaveza (Tablica 5).

**Tablica 5.** Srednja vrijednost broja izdanaka po  $m^2$  i biomasa epifita (mg po izdanku) sa standardnim devijacijama na lokalitetima u blizini otočića Fulije (P1-P4) i dvije kontrolne postaje (K1 i K2).

Broj izdanaka/ $m^2$						
Dubina/ /Postaja	P1	P2	P3	P4	K1	K2
5.m	-	56 ± 4.46	107 ± 4.02	182 ± 12.57	248 ± 29.07	296 ± 6.57
10.m	61 ± 6.98	38 ± 2.17	110 ± 4.27	186 ± 8.08	256 ± 13.61	315 ± 30.77
15.m	-	47 ± 2.65	127 ± 4.55	163 ± 3.86	192 ± 6.88	279 ± 2.49
20.m	-	49 ± 5.41	106 ± 3.86	146 ± 7.5	-	202 ± 17.65
Biomasa epifitskih alga (mg/izdanak)						
Dubina/ /Postaja	P1	P2	P3	P4	K1	K2
10 m	190.1 ± 51.5	198.8 ± 74.4	167.5 ± 39.9	98.9 ± 41.8	46.4 ± 15.9	34.9 ± 13.8

Najniže vrijednosti zabilježene su na postajama P2 ( $38 \pm 2,17$  izdanaka/  $m^2$ ) i P1 ( $61 \pm 6,98$  izdanaka/  $m^2$ ). Najviša je vrijednost dokumentirana na 10 m dubine kontrolnih postaja K1 ( $256 \pm 13,61$  izdanaka/  $m^2$ ) i K2 ( $315 \pm 30,77$  izdanaka/  $m^2$ ) (Slika 7).



**Slika 7.** Srednja vrijednost broja izdanaka po  $m^2$  na lokalitetima uz Fuliju (P1-P4) i dvije kontrolne postaje (K1 i K2) na 10 m dubine.

Biomasa epifitskih alga pokazuje visoke vrijednosti u blizini uzgajališta tune (postaje P1, P2 i P3) bez značajnijih razlika ( $p > 0,05$ ). Najviše vrijednosti utvrđene su na postaji P2 ( $198.8 \pm 74.4$  mg/izdanak). Vidljiva je značajna razlika između postaja u blizini otočića Fulije i kontrolnih postaja K1 i K2 (Turkey test  $p < 0,001$ ). Na postaji K2 je srednja vrijednost biomase epifitskih alga iznosila svega  $34,9 \pm 13,8$  mg/izdanak (Tablica 5).

## 5. RASPRAVA

Eutrofikacija, kao antropogeni uzrok pogoršanja stanja livada morske cvjetnice *Posidonia oceanica*, ozbiljan je problem obalnih područja čitavog Mediterana. Utjecaji uzgajališta riba, i eutrofikacija okolnog područja kao njihova posljedica, dokumentirani su i potvrđeni od strane više autora (Delgado *i sur.*, 1997; Marbà i Duarte, 1997; Ruiz *i sur.*, 2001; Cancemi *i sur.*, 2003; Wu *i sur.*, 1994; Pitta *i sur.*, 2005, 2006; Marbà *i sur.*, 2006). Sličan trend redukcije koncentracije kisika i povišenja koncentracije otopljenih nutrijenata u stupcu vode u blizini ribogojilišta s visokom produkcijom, uočen je u okolini kaveza u blizini otočića Fulije. Zabilježeno opadanje koncentracije nutrijenata od zime do ljeta uzrokovano je ljetnom stratifikacijom stupca vode uslijed plitkih piknoklina, maksimuma rasta fitoplanktona i koncentriranja nutrijenata u višem vodenom sloju zbog povišene temperature i jačeg zračenja. Ovaj proces predstavlja tipičnu sezonsku dinamiku karakterističnu za zapadni Mediteran (Maldonado *i sur.*, 2005). Varijacije u koncentracijama fosfata, nitrata i nitrita mogle bi se objasniti sezonskim promjenama u okolišu, ali usporedba rezultata koncentracije nutrijenata u stupcu vode u blizini kaveza i onih s kontrolnih postaja pokazuje značajan utjecaj tunogojilišta na koncentracije nutrijenata u blizini kaveza, a posebno u kanalima (kao u ovom istraživanju) i zaljevima.

Opće je poznato da čak i minimalni unos anorganskog fosfora u dno ispod kaveza može imati potencijalno drastičan utjecaj na sustav fitoplanktona i alga (Maldonado *i sur.*, 2005). Dio organske tvari potekle iz kaveza se mineralizira u vodi, otpuštajući tako anorganske nutrijente. Ti nutrijenti dalje pospješuju rast fitoplanktonskih epifita i rast makroalga, koji pak zatim reduciraju količinu svjetlosti dostupnu morskoj travi. Zelena alga *Ulva rigida* C. Agardh zabilježena je na postajama P2, P3 i P4 na dubinama od 20 do 25 m. Ova vrsta, zajedno s vrstama roda *Enteromorpha*, živi u visoko eutrofnom moru (npr. u blizini kanalizacijskih ispusta).

Povišenje koncentracije nutrijenata na uzorkovnim postajama u blizini Fulije najočitije je u površinskom sloju i na dubini od 10 m te pokazuje značajnu akumulaciju organskog otpada u blizini kaveza s tunama. Velika je vjerojatnost da će kontinuirani unos otopljenih nutrijenata iz ribogojilišta drastično djelovati na okolišne promjene koje utječu i na fitoplankton i na bentoske zajednice na lokalnoj razini (Ruiz *i sur.*, 2001; Cancemi *i sur.*, 2003). Wu *i sur.*

(1994) izvještavaju o povišenju otopljenih nutrijenata samo u slučajevima ribogojilišta sa slabom izmjenom vode i velikom gustoćom ribe u kavezima. Nekoliko studija ističe da bi amonijak mogao biti vrlo obilan izvor anorganskog dušika prispjelog iz uzgajališta tune (Wu, 1995; Karakassis *i sur.*, 1999, 2001; Ruiz *i sur.*, 2001; Cancemi *i sur.*, 2003). Maksimalne vrijednosti nitrata, nitrita i fosfora dobivene u prosincu i amonijaka u lipnju u blizini tunogojilišta mogle bi biti rezultat režima prehrane tuna. Punjenje kaveza novoulovljenim tunama počinje u svibnju i lipnju, dok su u prosincu i siječnju kavezi puni i spremni za odvoz ribe.

Još jedan od utjecaja uzgajališta tune na livade posidonije pored Fulije jest organski otpad u morskom dnu. Značajan dio unesene organske tvari inkorporira se u sediment i zatim mineralizira, rezultirajući visokim organskim udjelom u sedimentu. Utjecaj takvog organskog opterećenja sedimenta mogao bi biti vrlo dugotrajan, čak i u slučaju poboljšanja kvalitete vode tijekom vremena. Ovo je dokazano na slučaju propadanja livada posidonije koje se nastavilo još godinama nakon zatvaranja ribogojilišta (Delgado *i sur.*, 1999). Količina organske tvari u sedimentu i dalje je visoka i nakon što je uzgajalište kod Fulije zatvoreno (Tablica 4). Time je dokazano da se nagomilana organska tvar u sedimentu ispod i pored kaveza vrlo sporo „troši“ i svakim novim proljećem dolazi do novog „cvjetanja“ alga zbog povećane koncentracije hranjivih soli u stupcu morske vode.

Ispod ribljih kaveza na postajama P1 i P2 pronađen je crni sediment (tzv. „sediment ribogojilišta“ (Holmer *i sur.*, 2003)) koji obično označuje visok udio organskog materijala i akumulaciju dušičnih i fosfatnih spojeva. Organski bogat sediment inače odgovara filamentoznoj bakteriji *Beggiatoa ssp.*, koja je također pronađena ispod kaveza u obliku malih bijelih zakrpa.

Snažan utjecaj uzrokovan ribogojilištima vrlo je varijabilan i ovisi o lokalnoj hidrodinamici, količini ribe u kavezima, strategiji prehrane riba i brzini tonjenja fekalnih peleta. Visoke okolišne koncentracije nutrijenata uzrokuju negativne posljedice, poput masovnog razvoja alga i snažne kompeticije između epifita. Povišene koncentracije nutrijenata mogu stimulirati fitoplanktonsku i bakterijsku aktivnost, ali utjecaj na bentoski ekosustav još je puno ozbiljniji te rezultira organskim obogaćenjem sedimenta, što za posljedicu povlači pad biološke raznolikosti (Karakassis *i sur.*, 1999, 2001). Velika biomasa divlje ribe u blizini kaveza može reducirati taj utjecaj na bentoske sustave, no može i dodatno povećati unos dušika i ugljika u stupac vode, utječući tako i na pelagički sustav modificirajući

prostornu disperziju otpada (Fernandez-Jover *i sur.*, 2007).

Zapažene evidentne promjene u zajednici oko kaveza - povećanje epifita na listovima i reducirana prozirnost stupca vode (smanjena dostupnost svjetla), utječu na fotosintetsku sposobnost posidonije. Epifitsko opterećenje livada u blizini kaveza pokazuje maksimum tijekom perioda jače insolacije i viših temperatura u proljeće i ljeto. Značajno veća biomasa epifita pronađena je u blizini kaveza s tunama (postaje P1-P4) u usporedbi s kontrolnim postajama (K1 i K2). Ovi rezultati mogu poslužiti kao direktan dokaz obogaćivanja okoliša ribogojilišta nutrijentima, posebice  $\text{NH}_4^+$ , što također potvrđuju i Cancemi *i sur.* (2003). Postoje i oprečna zapažanja gdje je epifitsko opterećenje manje u blizini kaveza nego što je na kontrolnim postajama, no to je slučaj uglavnom zbog velikog herbivornog pritiska u blizini ribogojilišta (Delgado *i sur.*, 1997; Pergent *i sur.*, 1999; Ruiz *i sur.*, 2001). Takva visoka herbivorna aktivnost nije zabilježena tijekom ovog istraživanja.

Iako ne postoje značajne razlike u srednjim vrijednostima koncentracija površinski aktivnih tvari (SAS) i otopljenog organskog ugljika (DOC) među postajama u blizini tunogojilišta i kontrolne postaje F5, područje oko uzgajališta ipak pokazuje blago povišene vrijednosti. Usporedba koncentracija DOC-a pokazuje da gotovo i nema razlike u prosincu, dok bi se viša koncentracija očekivala u okolici kaveza. Razlog tomu mogla bi biti jača disperzija organskog unosa zbog snažnije hidrodinamike tijekom tog dijela godine. Također je zanimljivo istaknuti da su vrijednosti koncentracija DOC-a gotovo 10 puta niže nego su u svom istraživanju dokumentirali La Rosa *i sur.* (2002). I neke druge studije, u kojima je uzorkovan stupac vode, su također dokumentirale minimalan utjecaj uzgoja ribe na stupac vode. La Rosa *i sur.* (2002) zabilježili su povišene vrijednosti otopljenog anorganskog fosfora i DOC-a blizu kaveza u usporedbi s kontrolnim postajama, a Belias *i sur.* (2003) su pronašli dokaze o povišenom amonijaku, fosfatu i DOC-u na postajama uz kaveze u Jonskom moru.

Srednje vrijednosti koncentracija SAS-a i DOC-a dobivene na području između postaja F1 i F5, smještenih u središnjem dijelu Jadranskog mora, uspoređene su s vrijednostima plitkog bazena sjevernog Jadrana iz perioda 1989.-2003. U lipnju, listopadu, prosincu i svibnju, koncentracije površinski aktivnih tvari, u biološki produktivnijem području sjevernog Jadrana, također su sezonski varirale, no srednje su vrijednosti ipak bile znatno više (1 – 6 x) nego na Fuliji i u njezinoj okolici. Udio otopljenog organskog ugljika bio je 1,4 - 1,7 puta viši u sjevernom Jadranu (Vojvodić, u pripremi). Te činjenice karakteriziraju otvorene vode Jadranskog mora (Ćosović *i sur.*, 1989), a zajedno s činjenicom da su u okolici otočića Fulije

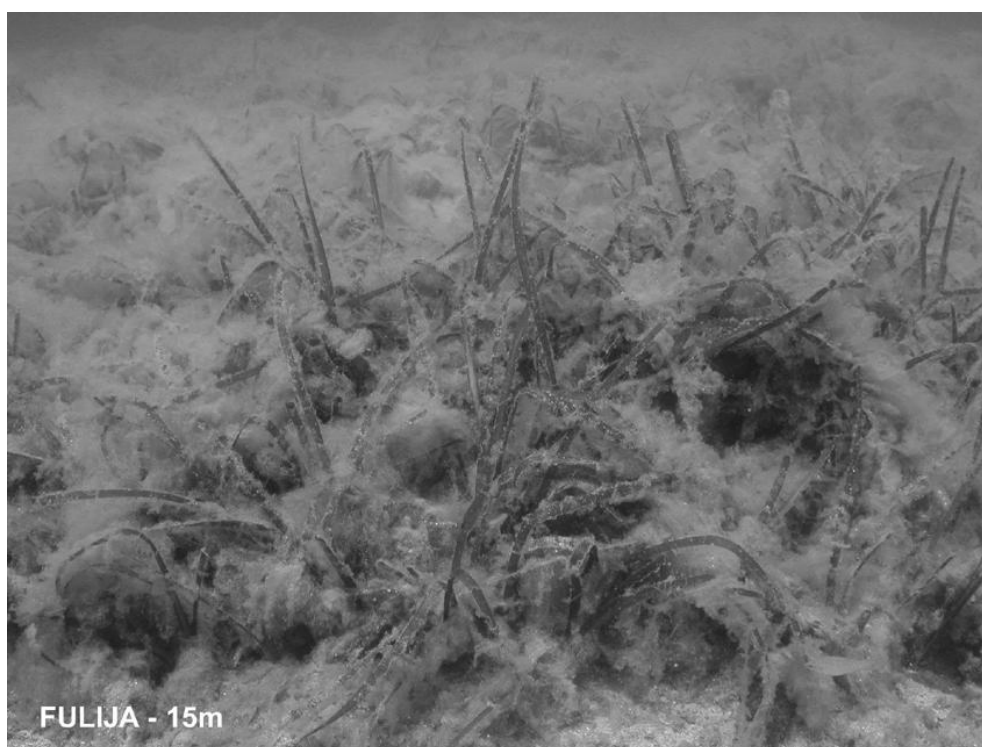
nađeni isti rasponi koncentracija organske tvari, upućuju na zaključak o oligotrofnom stanju područja između postaja F1 i F5.

S obzirom da se uzgoj riba odvija u otvorenim kavezima, otopljeni viškovi se, u obliku organskih i anorganskih nutrijenata, otpuštaju direktno u stupac vode u biološki izuzetno aktivnoj formi. No, Nordvarg i Johansson (2002) dokumentirali su da se u okolišu mogu izmjeriti i vrlo mala povišenja koncentracije nutrijenata. Također je dokumentirano da, unatoč brzom razrjeđenju nutrijenata, dostupnost istih viša je uz uzgojne kaveze – i to pogotovo u oligotrofnim uvjetima. Pod takvim uvjetima, uzgoj ribe stimulira proliferaciju oligotrofnih ekosustava, dok su eutrofni dodatno opterećeni još većim unosom nutrijenata i organske tvari (Holmer, 2004). Upravo je iz ovog razloga odabrana postaja F1 u blizini kaveza, kako bi se pokazale promjene u sadržaju organske tvari u gradijentu udaljenosti do postaje F5, koja se nalazi vrlo daleko od tunogojilišta.

Akumulacija otopljene organske tvari, zajedno s obogaćenjem SAS-om i duž dubinskog profila na postaji F1, proces je koji se odvija tijekom svih sezona i koji se može pripisati povišenoj biološkoj produktivnosti morskih sustava povezanoj s uzgojem riba, a može dovesti do eutrofikacije vodenog stupca.

Redukcija količine svjetlosti jedan je od najvažnijih čimbenika odgovornih za propadanje livada posidonije u eutroficiranim vodama. Srednje vrijednosti svjetlosnog intenziteta zimi na 10 m dubine na uzorkovnim postajama pored Fulije (P1-P4) u odnosu na kontrolne postaje (K1 i K2) pokazuju redukciju dostupne svjetlosti u blizini kaveza. Degradacija livada vrste *Posidonia oceanica* kraj otočića Fulije može se pripisati i redukciji svjetlosti zbog zasjenjivanja kavezima i disperzije organskog detritusa. No, do degradacije livada posidonije dolazi i zbog bentoskih mukoznih agregata koji joj pokrivaju listove.

Zbog cvjetanja alga u kasno proljeće, livada je prekrivena debelim naslagama alga koje listovima posidonije onemogućuju fotosintezu (Slike 8 i 9). Potencijalna šteta na livadama posidonije zbog akumulacije takvih agregata uključuje zasjenjivanje, promjene u koncentracijama nutrijenata sedimenta i, u konačnici, anoksiju. Hipoksični ili anoksični uvjeti potencijalno mogu utjecati na vitalnost vrste *P. oceanica* sprječavajući oksigenaciju podzemnih organa (Ruiz *i sur.*, 2001; Lorenti *i sur.*, 2005). Mukozne akumulacije na posidoniji vjerojatno su povezane s kretanjem vodenih masa, čija snaga opada s dubinom (Gambi *i sur.*, 1989).



**Slika 8.** Izraženo cvjetanje filamentozne alge *Acinetospora crinita* na postaji P3 na 15 m dubine.

Ovaj proces regresije popraćen je vrlo izraženim cvjetanjem višestaničnih alga, prvenstveno vrste *Acinetospora crinita* (Charmichael ex Harvey) Kornmann. Posljednjih godina pojavnost bentoskih mukoznih agregata postala je sve veći problem duž jadranske obale, ali i na mnogim drugim područjima Sredozemnog mora (Giuliani *i sur.*, 2005). Ti se agregati pojavljuju po sezonskom uzorku, uočljivi su kao mali žučkasti čuperci u rano proljeće koji napreduju prema kraju ljeta kada se, uz povoljne okolišne prilike, razvijaju u opsežne prevlake na dnu. Ovisno o topografskim karakteristikama hridinastog dna i lokalnim hidrodinamičkim uvjetima, bentoski mukozni agregati se mogu razviti na raznim dubinama i na raznim zajednicama alga, livadama posidonije, gorgonijama, periskama i drugim bentoskim organizmima (Slika 8). Heterogena zajednica alga, sačinjena od diatomeja, modrozelenih alga i fragmenata makroalga, raste unutar takvih bentoskih agregata, ali ne doprinosi značajno njihovoj biomasi. Makroskopski razvoj uzrokuje nekoliko filamentoznih ili njima bliskih vrsta: *Nematochryopsis marina* (Feldmann) Billard i *Chrysonephos lewisii* (Taylor), dvije brzorastuće višestanične bentoske alge iz skupine Chrysophyta, zajedno sa slobodnoživućom smeđom algom *Acinetospora crinita*. Alga *Nematochryopsis marina* je dosad zabilježena na atlantskoj obali Francuske, u zapadnom Mediteranu, a zadnjih godina i u



sjevernom i srednjem Jadranu (Innamorati *i sur.*, 2001; Lorenti *i sur.*, 2005). Kao posljedica ovakvih mukoznih pokrova dolazi do drastičnog smanjenja stope fotosinteze, a dokumentirano je i da ovakvi tepisi mogu ugušiti naselja morskih cvjetnica (Den Hartog, 1994; Delgado *i sur.*, 1997; Cancemi *i sur.*, 2003; Holmer *i sur.*, 2003). Naselja posidonije na postajama P1-P4 jako su pogođena ovakvim pokrovima, a akumulacija nije varirala s dubinom. Pokrivenost je masivna i poprimila je oblik pokrova koji je „usidren“ u gornjim slojevima epifitima jako obraslih listova. Na kontrolnim postajama nije pronađena ni *A. crinita* niti ikoja od drugih filamentoznih alga.



**Slika 9.** Degradirana livada posidonije s mrtvom periskom (*Pinna nobilis* L.) na postaji P2 na 20 m dubine.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju značajnu degradaciju, pa čak i nestanak naselja posidonije u slučajevima kad su kavezi ribogojilišta postavljani iznad ili u blizini istih. Na nekim područjima ispod kaveza i na postaji P1 preostali su samo mrtvi rizomi nekadašnjih naselja posidonije.

Izraženo smanjenje gustoće posidonije daje uvid u štetu nanесenu naselju. Vrijednosti gustoće livada posidonije (broj izdanaka/m<sup>2</sup>) na postajama P1, P2 i P3 značajno su ispod

normalnih vrijednosti za dubinu od 10 m. Prema klasifikacijskoj tablici (Pergent *i sur.*, 1995), te su vrijednosti puno manje i od „abnormalne gustoće“ izrazito poremećenih livada. Niže vrijednosti gustoće na postaji P2 mogle bi se povezati s lokalnim hidrodinamičkim uvjetima (brzina struja varira 6-25 cm/s), koji utječu na stopu taloženja organske tvari. Pridnene struje u Iškom kanalu snažnije su u smjeru juga nego sjevera.

Rasprava rezultata dobivenih za udjele organske tvari s površinski aktivnim svojstvima i otopljenog organskog ugljika, kao izvora onečišćenja koje stimulira cvjetanje fitoplanktona i povišenje koncentracije otopljene organske tvari u stupcu vode, primarno je fokusirana na moguće rizike od eutrofikacije povezane s akvakulturnom aktivnošću.

Prikupljeni podaci pokazuju da se utjecaj tunogojilišta može detektirati čak do 500 m udaljenosti od kaveza.

## 6. ZAKLJUČCI

1. Biomasa epifitskih alga pokazuje visoke vrijednosti u blizini uzgajališta tune (postaje P1, P2 i P3), dok su najviše vrijednosti utvrđene na postaji P2 ( $198.8 \pm 74.4$  mg/izdanak).

2. Zbog cvjetanja alga u kasno proljeće, naselje posidonije je prekriveno debelim naslagama alga koje listovima posidonije onemogućuju fotosintezu. Ovaj proces popraćen je vrlo izraženim cvjetanjem višestaničnih alga, prvenstveno vrste *Acinetospora crinita* (Charmichael ex Harvey) Kornmann.

3. Povišenje koncentracije nutrijenata na uzorkovnim postajama u blizini otočića Fulija najočitije je u površinskom sloju mora i na dubini od 10 m te pokazuje značajnu akumulaciju organskog otpada u blizini kaveza s tunama.

4. Jedan od utjecaja uzgajališta tune na naselja posidonije pored Fulije jest organski otpad u morskom dnu. Organska tvar istaložena u sedimentu ispod i pored kaveza nakon zatvaranja uzgajališta i dalje je u visokoj koncentraciji. Male su razlike u koncentraciji organske tvari u sedimentu za vrijeme aktivnog uzgajališta i nakon zatvaranja. Ovi podaci dokazuju da uzgajališta imaju dugotrajan negativni učinak na morski okoliš.

5. Iako ne postoje značajne razlike u srednjim vrijednostima koncentracija površinski aktivnih tvari (SAS) i otopljenog organskog ugljika (DOC) među postajama u blizini tunogojilišta i kontrolne postaje F5, područje oko uzgajališta ipak pokazuje blago povišene vrijednosti.

6. Rezultati ovog istraživanja pokazuju značajnu degradaciju, pa čak i nestanak naselja posidonije u slučajevima kad su kavezi ribogojilišta postavljeni iznad ili u blizini istih (u krugu 70 m oko kaveza). Na područjima ispod kaveza i na postaji P1 preostali su samo mrtvi rizomi nekadašnjih naselja posidonije. Prikupljeni podaci pokazuju da se utjecaj tunogojilišta može detektirati čak do 500 m udaljenosti od kaveza.

## 7. LITERATURA

- Astier, J.M. - 1984. Impacts des aménagements littoraux de la Rade de Toulon, liés aux techniques d'endiguage, sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. In: Boudouresque, C. F., Jeudy de Grissac, A., Olivier, J. (Eds.), International Workshop on *Posidonia oceanica* beds 1. GIS Posidonie publ, France, 255-259.
- Bakran-Petricioli, T. – 2007. Morska staništa – priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb. 1-169.
- Belias, C., V. Bikas, M. Dassenakis, and M. Scoullou. - 2003. Environmental impacts of coastal aquaculture in Eastern Mediterranean Bays. The case of Astakos Gulf, Greece. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 10(5): 287-295.
- Blanc, J.J. and A. Jeudy de Grissac. - 1989. Réflexions géologiques sur la régression des herbiers à Posidonies (Départements du Var et des Bouches-du Rhône). In: Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Fresi, E., Gravez, V. (Eds.), International Workshop on *Posidonia oceanica* beds 2. GIS Posidonie Publ, France, 273-285.
- Bourcier, M. - 1989. Régression des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile à l'Est de Marseille, sous l'action conjuguée des activités humaines et des modifications climatiques. In: Boudouresque, C. F., Meinesz, A., Fresi, E., Gravez, V. (Eds.), International Workshop on *Posidonia oceanica* beds 2. GIS Posidonie Publ, France, 287-292.
- Cancemi, G., G. De Falco, and G. Pergent. - 2003. Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, 56: 961-968.
- Ćosović, B. and V. Vojvodić. - 1982. The application of ac polarography to the determination of surface active substances in seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 27: 361-369.

- 
- Ćosović, B. and V. Vojvodić. - 1987 Direct determination of surface active substances in natural waters. *Mar. Chem.*, 22: 363-373.
- Ćosović, B. and V. Vojvodić. - 1989. Adsorption behaviour of the hydrophobic fraction of organic matter in natural waters. *Mar. Chem.*, 28: 183-198.
- Ćosović, B. and V. Vojvodić. - 1998 Voltammetric Analysis of Surface Active Substances in Natural Seawater. *Electroanalysis*, 10(6): 429-434.
- Ćosović, B. and V. Vojvodić. - 2000. Mucilage events in the Northern Adriatic : search for tools for early warning. *Period. biol.*, 102(1): 255-259.
- Ćosović, B., V. Žutić, V. Vojvodić and T. Pleše. - 1985. Determination of surfactant activity and anionic detergents in seawater and seasurface microlayer in the Mediterranean. *Mar. Chem.*, 17: 127-139.
- Delgado, O., A. Grau, S. Pou, F. Riera, C. Massuti, M. Zabala and E. Ballesteros. - 1997. Seagrass regression caused by fish cultures in Fornells Bay (Menorca, Western Mediterranean). *Oceanol. Acta*, 20: 557-563.
- Delgado, O., J. Ruiz, M. Pérez, J. Romero and E. Ballesteros. - 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanol. Acta*, 22: 109-117.
- Den Hartog, C. - 1994. Suffocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*. *Aquat. Bot.*, 47: 21-28.
- Gambi, M.C., M.C. Buia, E. Casola and M. Scardi. - 1989. Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. In: Boudouresque, C. F., Meinesz, A., Fresi, E., Gravez, V. International Workshop on *Posidonia* Beds, 7–11 October 1985, Ischia, Italy, 101-12.
- Guidetti, P. and M. Fabiano. - 2000. The use of lepidochronology to assess the impact of terrigenous discharges on the primary leaf production of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Pollut. Bull.*, 40(5): 449-453.
-

- 
- Giuliani, S., C. Virno Lamberti, C. Sonni and D., Pellegrini. - 2005. Mucilage impact on gorgonians in the Tyrrhenian sea. *Sci. Total Environ.*, 353(1-3): 340-349.
- Holmer, M., M. Perez and C.M. Duarte. - 2003. Benthic primary producers - a neglected environmental problem in Mediterranean maricultures? *Mar. Pollut. Bull.*, 46: 1372-1376.
- Holmer, M. - 2004. Maricultures and eutrophication, p. 186-195. In: Drainage basin nutrient inputs and eutrophication: an integrated approach. Chapter 14: Editors P.Wassmann and K. Olli, October 2004.
- Hunter, K.A. and P.S. Liss. - 1981. Polarographic measurement of surface-active material in natural waters. *Water Res.*, 15: 203-215.
- Innamorati, M., M. Nuccio, I. Massi, G. Mori and A. Melley. - 2001. Mucilages and climatic changes in the Tyrrhenian Sea. *Aquat. Conserv.: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11: 289-298.
- Fernandez-Jover, D., P. Sanchez-Jerez, J. Bayle-Sempere, A. Carratala and V. Leon. - 2007. Addition of dissolved nitrogen and dissolved organic carbon from wild fish faeces and food around Mediterranean fish farms: Implications for waste-dispersal models. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 340: 160-168.
- Katavić, I., V. Tičina and V. Franičević. - 2002. A preliminary study of the growth rate of bluefin tuna from Adriatic when reared in the floating cages. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, 54(2): 472-476.
- Karakassis, I., E. Hatziyanni, M. Tsapakis and W. Plaiti. - 1999. Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 184: 205-218.
- Karakassis I, M. Tsapakis E. Hatziyanni and P. Pitta. - 2001. Diel variation of nutrients and chlorophyll in sea bream and sea bass cages in the Mediterranean. *Fresenius Environ. Bull.*, 10: 278-283.
- Karakassis, I., P. Pitta and M.D. Krom. - 2005. Contribution of fish farming to the nutrient
-

- loading of the Mediterranean. *Sci. Mar.*, 62: 313-321.
- La Rosa, T., S. Mirto, E. Favalaro, B. Savona, G. Sarà, R. Donovaro and A. Mazzola. - 2002. Impact of the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm. *Water Res.*, 36: 713-721.
- Lorencin, V. – 2010. Morfološka raznolikost livada morske cvjetnice *Posidonia oceanica* (L.) Delile na postajama u sjevernom, srednjem i južnom Jadranu (Diplomski rad)
- Lorenti, M., M.C. Buia, V. Di Martino and M. Modigh. - 2005. Occurrence of mucous aggregates and their impact on *Posidonia oceanica* beds. *Sci. Total Environ.*, 353: 369-379.
- Maldonado, M., M.C. Carmona, Y. Echeverría and A. Riesgo. - 2005. The environmental impact of Mediterranean cage fish farms at semi-exposed locations: does it need a re-assessment? *Helgol. Mar. Res.*, 59: 121-135.
- Marbà, N. and C.M. Duarte. - 1997. Interannual changes in seagrass (*Posidonia oceanica*) growth and environmental change in the Mediterranean littoral zone. *Limnol. Oceanogr.*, 42: 800-810.
- Marbà, N., R. Santiago, E. Diaz-Almela, E. Álvarez and C.M. Duarte. - 2006. Seagrass (*Posidonia oceanica*) vertical growth as an early indicator of fish farm-derived stress. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 67: 475-483.
- Marty, J.C., V. Žutić, R. Precali, A. Saliot, B. Čosović, N. Smolaka and G. Cauwet. - 1989. Organic matter characterization in the Northern Adriatic Sea with special reference to the sea surface microlayer. *Mar. Chem.*, 26: 313-330.
- Nordvang, L. and T. Johansson. - 2002. The effects of fish farm effluents on the water quality in the Åland archipelago, Baltic Sea. *Aquac. Eng.*, 25: 253-279.
- Pérès, J.M. - 1984. La régression des herbiers a *Posidonia oceanica*. In: Boudouresque, C. F., Meinesz, A., Fresi, E., Gravez, V. (Eds.), International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds 1. GIS Posidonie Publ, France: 445-454.

- 
- Pergent-Martini, C. and G. Pergent. - 1995. Impact of a sewage treatment plant on the *Posidonia oceanica* meadow: assessment criteria. In: Proceedings of the second International conference on the Mediterranean coastal environment. MEDCOAST'95: 1389-1399.
- Pergent-Martini, C., C. Boudouresque, V. Pasqualini and G. Pergent. - 2006. Impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows: a review. *Mar. Ecol.*, 27: 310–319.
- Pergent, G., C. Pergent-Martini and C. Boudouresque. - 1995. Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: Etat des connaissances. *Mésogée*, 54: 3-27.
- Pergent, G., S. Mendez, C. Pergent-Martini and V. Pasqualini. - 1999. Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanol. Acta*, 22(1): 95-107.
- Pitta, P., E.T. Apostolaki, M. Giannoulaki and I. Karakassis. - 2005. Mesoscale changes in the water column in response to fish farming zones in three coastal areas in the Eastern Mediterranean Sea. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 65: 501-512.
- Pitta, P., E.T. Apostolaki, T. Tsagaraki, M. Tsapakis and I. Karakassis. (2006) Fish farming effects on chemical and microbial variables of the water column: A spatio-temporal study along the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, 563: 99-108.
- Ruiz, J.M., A. Marín, J.F. Calvo and L. Ramírez Díaz. - 1993. Interactions between a foodway and coastal constructions in Aguilas bay (southeastern Spain). *Ocean Coas. Manage.*, 19: 241-262.
- Ruiz, J.M., J.M. Gutiérrez Ortega, J.A. García Charton and A. Pérez Ruzafa. - 1999. Spatial characterization of environmental impact by bottom trawling on *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in artificial reef areas of the southeastern coast of Spain. In: Proceedings Seventh International Conference on Artificial Reefs (7th CARAH): 664-674.
-



- Ruiz, J.M., M. Pérez and J. Romero. - 2001. Effects of fish farm loadings on seagrass (*Posidonia oceanica*) distribution, growth and photosynthesis. *Mar. Pollut. Bull.*, 42: 749-760.
- Ruiz, J.M. and J. Romero. - 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Pollut. Bull.*, 46: 1523-1533.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. - 1968. Fisheries Research Board of Canada. A Practical Handbook of Seawater Analysis. 1-311.
- Vojvodić, V. and B. Čosović. - 1996. Fractionation of Surface Active Substances on the XAD-8 Resin: Adriatic Sea Samples and Phytoplankton Culture Media. *Mar. Chem.*, 54: 119-133.
- Vojvodić, V., B. Čosović and V. Mirić. - 1994. Fractionation of surface active substances on the XAD-8 resin Part I. Mixtures of model substances. *Anal. Chim. Acta*, 295: 73-83.
- Wu, R.S.S. - 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Mar. Pollut. Bull.*, 31: 159-166.
- Wu, R.S.S., K.S. Lam, D.W. Mackay, T.C Lau and V. Yam. - 1994. Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: a case studies in the sub-tropical environment. *Mar. Environ. Res.*, 38: 115-145.