

UČINCI KAVEZNIH UZGAJALIŠTA RIBA DUŽ ISTOČNE OBALE JADRANA NA MORSKI OKOLIŠ

I. Katavić

Sažetak

Marikultura u Hrvatskoj mogla bi imati još veću ulogu u razvoju ruralnih priobalnih zajednica od one koju ima danas. No, povećanje proizvodnje ribe u kavezima prati zabrinutost javnosti za ekološka pitanja, što upućuje na potrebu odgovornijega pristupa razvoju i upravljanju ovim sektorom. Ujedno je to prigoda i izazov za učinkovije integriranje marikulture u gospodarstvo obalnim prostorom s podjednakim pravima i obvezama. Navedeno prije svega zbog njezine socijalne i ekonomske misije koja se sastoji u prevenciji depopulacije ruralnih prostora u priobalju i na otocima, te rastućih potreba turističkog tržišta za proizvodima mora. Premda je intenzivna marikultura obilježena kao ona koja negativno utječe na okoliš, mnogi od spominjanih negativnih učinaka nisu znanstveno dokumentirani. Utjecaj emisije dušika i fosfora što ih proizvodi riblja farma u obliku fecesa ili nepojedenih ostataka hrane nema veće značenje za morski ekosustav i općenito je od male važnosti u usporedbi s unosom što ga čine drugi korisnici obalnih resursa. Utjecaj na sediment i pridnene zajednice uglavnom je lokalni i kratkotrajan, te ovisi o broju i veličini farmi, kao i o obilježjima same lokacije. Oporavak nekih pridnenih zajednica nakon prestanka uzgojnih aktivnosti može biti odgođen za nekoliko godina (npr. ležišta *Posidonia*) zbog akumulirane organske tvari. Što se tiče uzgoja tuna, ako nije korektno lociran i voden, može rezultirati onečišćenjem, bilo zbog nepojedene hrane i metabolita ili tijekom izlova i pripreme za tržište. U najvećem broju slučajeva problem nastaje zbog nepoželjnih mirisa tijekom ljetne sezone i zamašćenosti morske površine ako se nekontrolirana širi izvan granica uzgajališta. Za održivi razvoj nacionalne marikulture od osobitog će značenja biti važna ponuda zdravog i kvalitetnog proizvoda marikulture u količini koja je primjerena tržišnim potrebama i s proizvodnjom koja neće degradirati morski okoliš.

Ključne riječi: marikultura, kavezni uzgoj ribe, utjecaj na okoliš, ekološke promjene, biološki odgovor

Rad je prezentiran na međunarodnom simpoziju »Jadran — srednjoeuropsko more«, Zadar, 4/5. lipnja 2003.

Prof. dr. sc. Ivan Katavić, pomoćnik ministra, Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva, Uprava ribarstva, 10000 Zagreb, Ul. grada Vukovara 78

UVOD

Akvakultura u svijetu postaje sve značajniji proizvođač ribe, rakova, školjkaša i vodenog bilja, te tako uvelike nadomješta smanjene potencijale iz prirodnih izvora. Ona je značajan čimbenik programa ruralnog razvoja, osigurava zapošljavanje, likvidni novac, devizni priljev i u cjelini potiče protok ljudi i kapitala. Trenutačna kontrolirana proizvodnja akvatičnih organizama od 43 milijuna tona, u kojoj riba sudjeluje s više od pola proizvedene biomase, čini vrijednost od 53 milijarde dolara (FAO/COFI, 2002). Zahvaljujući raznolikim tehnologijama ova se proizvodnja odvija na kopnu i moru i tako sudjeluje u iskorištavanju i razvoju ukupnih potencijala lokalnih i širih zajednica. U akvakulturu je do sada uključeno oko 200 vrsta i taj se broj zbog težnje za diverzifikacijom proizvodnje neprestano povećava. Morski ambijent sudjeluje s 55% ukupne svjetske proizvodnje, dok uzgoj u slatkim vodama pokazuje stalnu tendenciju smanjenja. Više od 90% ukupne proizvodnje dolazi iz Azije (39 mil. tona), od čega sama Kina proizvodi čak 30 mil. tona ili 70% svjetske proizvodnje. Europa s 2,1 mil. tona sudjeluje sa samo 4,9%. Oko 90% ukupne proizvodnje u akvakulturi dolazi iz zemalja u razvoju u kojima je tijekom zadnjeg desetljeća stopa rasta akvakulturne proizvodnje šest puta veća od one u razvijenim zemljama.

Djelatnost uzgoja ribe u zemljama Sredozemlja razvijala se gotovo eksponencijalno u posljednjih 15 godina, i postavila tako jedan od najbrže rastućih sektora u proizvodnji hrane. Primarni je cilj osigurati visokokvalitetnu i tržišno konkurentnu hranu iz mora, te tako, smanjenjem ribolovnog pritiska na prelovom ugrožena prirodna riblja naselja, pridonijeti njihovoj održivosti i zaštiti biološke raznolikosti. Samo od godine 1995. do 2000. kavezna proizvodnja komarče i lubina povećavala se stopom od 20% godišnje, i u zemljama Sredozemlja dostigla 100.000 tona (White, 2001). U zemljama članicama EU-a godišnje povećanje proizvodnje iznosilo je 24%, nasuprot 9% u zemljama nečlanicama. Grčka proizvodi 40% ukupne proizvodnje EU-a, dok je Turska najznačajniji proizvođač među zemljama nečlanicama. U isto je vrijeme razvojni trend u Republici Hrvatskoj kao jednoj od pionira marikulture zakočen, dijelom zbog nepovoljnog makroekonomskog okruženja, ratnih događanja, nedefiniranih vlasničkih odnosa i tipičnih problema tranzicijske ekonomije (Katavić, 1996).

Unatoč činjenici što razvoj ove djelatnosti ide u prilog cjelokupnoj ekonomiji, i na lokalnoj i na državnoj razini, otvaranje ribogojilišta vrlo često nailazi na otpor ostalih korisnika obalnih zona. Mogući negativni utjecaji na okoliš koji su posljedica otpada, zatim unošenje bolesti, uvođenje alohtonih organizama, izmjena genetskih obilježja zbog bježanja uzgajanih organizama i njihova križanja s prirodnim jedinkama, vizualno »onečišćenje«, nepoželjni mirisi i dr. mogu u mnogome utjecati na daljnji razvitak ove industrije. Turizam, koji je inače glavni izvor prihoda većine sredozemnih zemalja, često se natječe s marikulturom za raspoloživi obalni prostor, i to na područjima s

visokom kvalitetom morske vode. U ovom kontekstu, utjecaj koji ribogojilišta imaju na okoliš postao je vrlo čestom temom rasprava lokalnih udruga za zaštitu okoliša, privukao je veliku pozornost medija i često zbunjuje donositelje odluka, napose političare i upravna tijela.

S obzirom na druge korisnike obalnih resursa, sukobljenosti su sigurne, te politika razvoja i strateški planovi marikulture trebaju ići u pravcu pronalazjenja kompatibilnosti, odnosno smanjenja anticipiranih suprotavljenosti. Jedno od često citiranih rješenja jest usmjeravanje marikulture prema pučinskim prostorima od 3 do 12 nautičkih milja (Ewart i sur., 1995; Čićin-Šain i sur., 2001), ako ne želi biti suočena s rastućim prostornim i ekološkim ograničenjima.

Dosadašnja praksa svjedoči da ispravno planiran i kvalitetno upravljani projekt marikulture može biti ekološki prihvatljiv, ekonomski isplativ i društveno opravdan. U suprotnom, zanemarivanje temeljnih načela u odabiru lokacija i provođenju zootehničkih mjera može rezultirati negativnim ekološkim, ali i socio-ekonomskim posljedicama.

Svrha ovoga revijalnog prikaza jest da u svjetlu najnovijih spoznaja na relaciji marikultura—okoliš pomogne ispravnom sagledavanju, ponajprije ekološke dimenzije marikulture, uzimajući pritom njezino neporecivo gospodarsko i društveno značenje.

TEMELJNI IZVORI NESPORAZUMA

Iako je razmjerno veliki opseg dostupnih informacija vezanih za kavezni uzgoj ribe, sve donedavno su se one odnosile na sjeverna mora i na uzgoj salmonidnih vrsta. No, postoje bitne razlike u karakteristikama uzgojnih metoda koje se prakticiraju u zemljama Sredozemlja pri komercijalnoj proizvodnji lubina i komarče u odnosu prema salmonidnim vrstama, jednako kao i u prevladavajućim prirodnim obilježjima umjerenoklimatskog, odnosno mediteranskih ekosustava u usporedbi s hladnovodnim. Novija su istraživanja pokazala da Mediteran znatno bolje apsorbira nutrijente u usporedbi sa Sjevernim morem ili Baltikom (Wassman, 2003). Sve donedavno bilo je vrlo malo dostupnih informacija iz područja ekološkog aspekta marikulture, odnosno njezina utjecaja na okoliš u umjerenom klimatskom pojasu, pa su pretpostavke o očekivanim posljedicama, kao i javna percepcija o ekološkim učincima marikulture bile u najmanju ruku znanstveno upitne. Opravdana zabrinutost zbog uništavanja prirode i okoliša pogodovala je ustanovljivanju brojnih ekoloških udruga, te pogrešnih shvaćanja i zabluda o nepovratnoj degradaciji morskog okoliša. Usklađivanje gospodarskih očekivanja sa socijalnim i ekološkim izazovima prioritetni je zadatak. Dakako da gospodarska valorizacija nije i ne smije značiti sve, ali bez gospodarskog napretka ionako je »mного toga ništa«.

Posljednjih nekoliko godina znatno je obogaćena razmjerno oskudna baza znanstvenih podataka o temi utjecaja ribogojilišta na okoliš u Sredozemnom moru i Jadranu (Monday i sur., 1994). Vezano uz tu problematiku, provedena su brojna istraživanja čiji su rezultati objavljeni u nizu znanstvenih i stručnih časopisa. Utjecaj ribogojilišta proučavan je s različitih aspekata, kao što su utjecaji na kemizam mora, parazite, na nutrijente i plankton, na morske cvjetnice, na dinamiku akumulacije sedimenta ispod kaveza, na proces oporavka bentosnih zajednica nakon obustave uzgoja, utjecaj na kemijski sastav sedimenta, strukturu i sastav bentosnih zajednica. Izradene su brojne studije koje su uključivale praćenje ekoloških parametara na ribogojilištima duž istočne obale Jadrana, pa se, naposljetku, rezultati tih studija mogu uspoređivati s rezultatima sličnih studija u drugim zemljama Sredozemlja, kao i onima koje se odnose na uzgoj salmonida u sjevernim morima. No ipak, postoji još mnogo nepoznanica koje stoje na putu potpunom razumijevanju i mogućnosti modeliranja širokog spektra različitih utjecaja ribogojilišta na okoliš, a osobito pri raznolikim ekološkim scenarijima.

Nutrijenti i eutrofikacijski učinci na fitoplankton

Eutrofikacijski učinci na fitoplankton ovise o koncentraciji i sastavu nutrijenata, ali i o kapacitetu potrošnje fitoplanktona u pelagičkim zajednicama, prije svih herbivornih zooplanktonskih vrsta kroz »top-down« regulaciju. Povećanje biomase fitoplanktona eskalira cvatnjom čija pojava ovisi o koncentraciji kritičnih nutrijenata i prevladavajućim ekološkim čimbenicima. Kada cvatnja dostigne kritičnu gustoću, smanjuje se penetracija svjetla u dublje slojeve, čime su zapriječene fotosinteza i fitoplanktonska produkcija unatoč raspoloživim hranjivim solima. Ovo je tipični fenomen samozasjenjenja (engl. »autohading effect«) koji je praćen postupnim spuštanjem agregiranog fitoplanktona prema dubljim slojevima i samom dnu. Vertikalni eksport fitoplanktona s površine prema dnu značajan je izvor hrane bentosnim organizmima, ali je ujedno i značajan konzument kisika u pridnenim slojevima gdje se nerijetko razvija hipoksija, a u ekstremnim slučajevima stvaraju se anaerobni uvjeti s toksičnim produktima kao što su sumporovodik i metan.

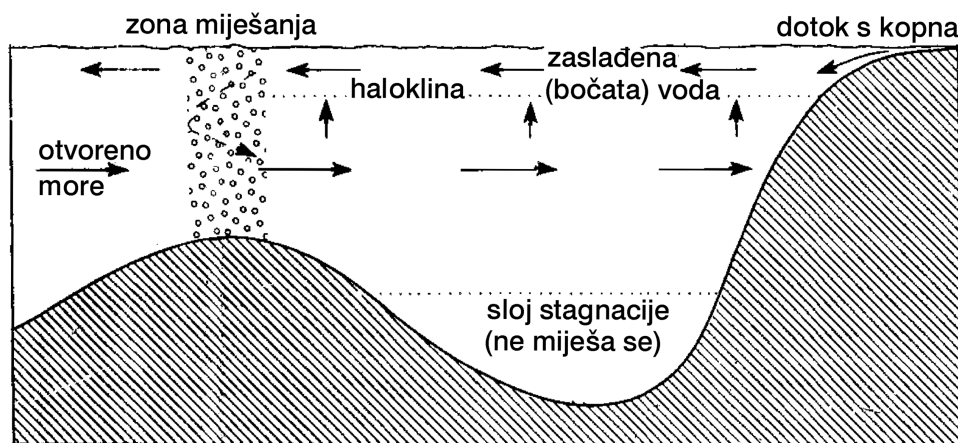
Ovisno o pritisku herbivora na otvorenu fitoplanktonsku biomasu, koncentracija fitoplanktona može se znatno razlikovati između područja sa sličnom koncentracijom nutrijenata. U usporedbi s Baltikom ili Norveškim morem Sredozemlje znatno bolje apsorbira nutrijente i, posljedično, znatno manje akumulira fitoplankton. *In situ* pokusi s dodavanjem fosfora u istočno Sredozemlje nisu rezultirali povećanjem fitoplanktonske biomase, nego tek brzom bakterijskom potrošnjom fosfora, koje su u kompeticiji s fitoplanktonom i mikrozooplanktonom (Wassmann, 2003).

Izbor lokacija — presudan čimbenik

Identifikacija i izbor pogodnih obalnih lokacija za uzgoj kritični je čimbenik za tehničku, ekonomsku i ekološku uspješnost individualnoga projekta marikulture, a i u cjelini sektora kao takvog. Ocjena povoljnosti lokacije polazi od razumijevanja specifičnih potreba određene vrste koja se uzgaja, kao i zadovoljenja temeljnih tehničkih pretpostavki koje su presudne za sigurnost instalacija i kvalitetno upravljanje projektom. Ispravno planiranje i smještanje proizvodnoga programa u obalni prostor rezultirat će ovim učincima:

- povećanjem izglednosti individualnog projekta marikulture za povrat uloženog kapitala
- smanjenjem sukobljenosti i usklađenosti između različitih korisnika obalnih resursa
- doprinosom poboljšanju ekonomskih učinaka ukupne aktivnosti korisnika obalnih prostora
- smanjenjem negativnih učinaka na okoliš.

Dostupna je obilna stručna literatura na temu kriterija za izbor lokacija potencijalno pogodnih za kavezni uzgoj ribe, a za Sredozemlje su predloženi specifični kriteriji koji mogu biti polazna osnova za pristup nacionalnim planiranjima obalnih prostora za marikulturu (PAP/RAC, 1996).



Slika 1. Prisutnost podmorskih pragova i mogućnost formiranja halokline ocjenjuju se nepovoljnim čimbenicima pri ocjeni boniteta lokacije za kavezni uzgoj ribe

Figure 1. Presence of threshold and halocline formation as an unfavourable factors in fish cage culture assessment

Između brojnih biofizikalnih kriterija koji se rabe pri odabiru lokacija za kavezni uzgoj ribe najčešće se uzimaju ovi:

- odgovarajuća zaštićenost od snažnih valova i vjetrova kako bi se osigurala fizička zaštita plutajućih instalacija i same ribe u kavezima
- primjerena dinamika izmjene vodenih masa (strujanja), imajući pritom u vidu da će prejaka strujanja izazivati stalno naprezanje sidrenog sustava i stvarati problem napetosti mrežnog tega, dok će, naprotiv, pri slabo izraženim strujanjima otopljeni kisik i metaboliti biti stalni ograničavajući čimbenik
- zadovoljavajuća dubina kako bi se uzgajana riba držala na sigurnoj udaljenosti od dna, omogućio pridneni lateralni transport i tako osigurala visoka kakvoća mora u kavezima
- odgovarajući sediment i morsko dno deskriptori su sa snažnom integracijskom snagom; pjeskovito i šljunkovito morsko dno sugerira primjeren lateralni transport i prozračnost akvatorija, dok je muljevito dno posljedica akumulacije sedimentirajućih čestica na lokalitetu.

U prilog povoljnosti lokacije ide svakako lagan i nesmetan pristup uzgajalištu, minimalni problemi s predatorima, stabilni uvjeti slanosti, blizina, pristup i organiziranost tržišta, udaljenost od drugih farmi, napose u smislu preveniranja problema bolesti.

Naprotiv, prisutnost podmorskih barijera koje priječe pridneni transport i miješanje vode, te snažniji dotok slatke vode s kopna nepovoljni su čimbenici pri ocijeni povoljnosti lokacija za kavezni uzgoj ribe (Slika 1). Ovo posljednje i stoga što se pojačanim dotokom slatke vode destabilizira režim slanosti koji može biti stresan za uzgajane organizme, a također se u stratificiranom sustavu mogu pojavljivati potpovršinske cvatnje fitoplanktona koje se formiraju uz haloklinu. Ova je pojava malo vjerojatna ako je stratifikacija posljedica dotoka slatke vode »vruljama« iz krškog podzemlja, jer je ona, u pravilu, siromašna hranjivim solima.

SUDBINA ORGANSKOG OTPADA NASTALOG KAVEZNIM UZGOJEM RIBE

Posve specifična biotska i abiotska obilježja Jadrana u usporedbi sa hladnim morima sjevernoga klimatskog pojasa umnogome određuju sudbinu otpadnih produkata kaveznog uzgoja ribe u njegovu prirodnom okolišu. *Temperatura mora* u rasponu od 10 do 25 °C razlog je izvanredno brzog metabolizma, što utječe i na proizvodnju same ribe i na mikrobiološku aktivnost. *Prevladavajuća oligotrofija* Jadrana posljedica je razmjerno niske koncentracije nutrijenata i niske razine fitoplanktonske produkcije, što je tipična osobina Sredozemlja kao slabo produktivnoga morskog ekosustava, osobito u njegovu istočnom dijelu koji je u doticaju s Jadranom (Azov, 1986; Pucher-Petković i Marasov

i ć, 1987; Marasović i sur., 1988). Razmjerno mala biomasa fitoplanktona uvjetuje veliku prozirnost vode, te je time omogućena fotosinteza i u dubljim slojevima, što pogoduje razvoju osebujne biološke raznolikosti. *Primarna produkcija* limitirana je fosforom, za razliku od primarne produkcije u Atlantiku i u većini svjetskih oceana, u kojima je limitirajući čimbenik dušik (Gilmartin i Revelante 1983; Krom i sur., 1991). S obzirom na navedeno, eutrofikacija se u Jadranu može očekivati tek u uvjetima povećanog unosa fosfora u ekosustav (Ivančić, 1995).

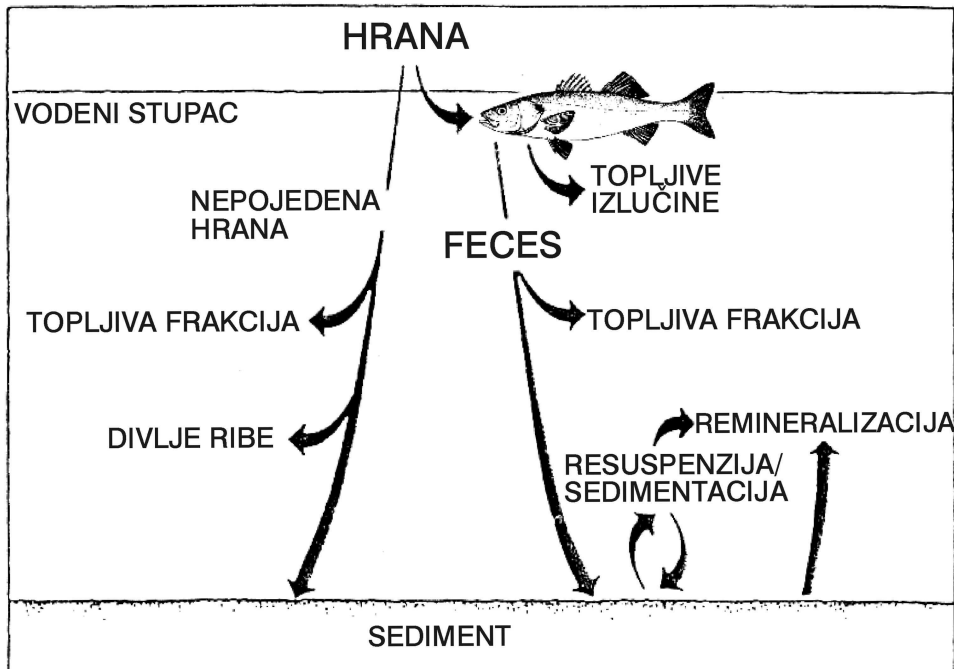
Biotička komponenta ekosustava, tj. fauna i flora Jadrana, vrlo je osebujna, osobito u obalnoj zoni, a čini je i velik broj endemičnih vrsta, što je rezultat vrlo dinamične geološke povijesti ovog područja. Oligotrofni uvjeti u ekosustavu razlog su niskoj abundanciji i maloj biomasi pojedinih vrsta (Benović i sur., 1984; Marasović i sur., 1989).

I konačno, *morfologija obalnih zaljeva*, gdje je i koncentrirana marikultura, vrlo je različita od morfologije škotskih uskih i dubokih morskih zaljeva, i norveških fjordova (Katavić, 1994). Jadranski zaljevi obično nisu u stalnoj vezi s izvorima slatke vode, niti imaju prag koji brani potpovršinsku izmjenu vodenih masa (Slika 1).

Sudbina organske tvari koja podliježe razgradnji i resuspenziji te mikrobiološkoj aktivnosti predvidiva je na globalnoj razini. Brojne procjene maksimalno dopustivoga organskog opterećenja rađene su na teoretskoj osnovi koristeći se pritom varijablama kao što su stopa disperzivnosti, stopa resuspenzije i mikrobiološke razgradnje. Teoretska procjena maksimalne stope asimilacije organskog ugljika u sedimentu utemeljena je na mogućnosti opskrbe dovoljnom količinom kisika putem lokalne dinamike izmjene vodenih masa (struje) kojom se sprječava anoksično stanje u moru. Akumulirani nutrijenti u sedimentu postupno se oslobadaju i ulaze u vodeni stupac bivajući tako podložni lateralnom transportu, te se koncentracija nutrijenata u zoni pod utjecajem neznatno razlikuje od kontrolnih postaja (Katavić i Antolić, 1999). Podaci o korelaciji između organskog unosa i njegova utjecaja na smanjenje raznolikosti bentosne faune krajnje su nedostatni i pretežito se odnose na sjevernomorska prostranstva, uz malu pouzdanost njihove primjene na umjerena i toplija klimatska područja. Mjerenja razgradnje organske tvari u sedimentu ispod ribljih kaveza u tropskim su morima (Akabski zaljev) 3 do 4 puta brža od onih u sjevernim klimatskim zonama (Wallin i Haknson, 1991; Angel i sur., 1995).

Kavezni uzgoj bijele ribe (lubin, komarča i dr.)

Uzgoj se temelji na unošenju peletirane ili ekstrudirane hrane, pri čemu emisija organske tvari ima najznačajniji utjecaj intenzivnoga kaveznog uzgoja lubina i komarče na okoliš. S jedne strane, to su nepojedeni ostaci hrane (rasap) koje su dijelom konzumirale okolne populacije, dok je preostali dio podložan standardnim procesima razgradnje (Slika 2).



Slika 2. Sudbina nepojedene hrane pri intenzivnom kaveznom uzgoju ribe
Figure 2. Uneaten fish feed distribution in intensive cage culture

S druge strane, konzumirana frakcija rezultira metaboličkim produktima bogatima nutrijentima. Ako ovaj unos ne prelazi mogućnost prihvatnog kapaciteta ekosustava, odnosno prerade takvih tvari od nektona i osobito bentosnih zajednica, tada se on može smatrati povoljnim za lokalnu bioprodukciju. U suprotnom, nataložena organska tvar može rezultirati razvojem heterotrofnih bakterija (roda *Beggiatoa*) koje će kao bijela koprena na površini sedimenta smanjivati ulazak morske vode, a time i penetraciju kisika u sediment. Tako se može smanjiti aktivnost meiofaune, odnosno doći će do daljnjeg nakupljanja nepreradene organske tvari na površini sedimenta. Nagomilana organska tvar i uginuli organizmi podložni su razgradnji i troše dodatne količine kisika, što može rezultirati daljnjim mortalitetima, te u konačnici dovesti do stvaranja anaerobnih uvjeta i produkcije krajnje opasnog sumporovodika, odnosno metana.

Posebnosti kaveznog uzgoja tuna

Uzgoj tuna temelji se na prehrani, prethodno duboko smrznutom sitnom i nepreradenom plavom ribom u dodatku na određeni udio rakova i glavonožaca. Onečišćenje na uzgajalištu može se očekivati prije svega zbog

nepojedenih ostataka hrane i fecesa, te osobito za vrijeme izlova tuna iz kaveza (Katavić i sur., 2002). Najčešće uočeni problemi onečišćenja posljedica su prehranjenosti kojom se, s jedne strane, može nagomilavati nepojedena hrana, a, s druge, konzumirana hrana zbog nepotpune probave (peristaltika probavila pod utjecajem je proširenosti stijenki) sadrži tako povećane količine organske tvari, te osobito masti. Nekontrolirana disperzija masti i nepojedeni ostaci hrane na površini rezultiraju nepoželjnim mirisima, a, ako nisu kontrolirani, mogu se proširiti izvan uzgajališta, te tako proizvesti krajnje nepoželjne učinke na turistička odredišta (Katavić, 2002).

Na osnovi provedenih istraživanja bentosne flore i faune, kao i kemijskih karakteristika sedimenta i pridnenoga sloja vodenoga stupca, ireverzibilne posljedice uzgoja tuna na ekosustav mora nisu izvjesne (IOR, 2001). Na nekim uzgajalištima uočene su promjene u kvalitativnom i kvantitativnom sastavu pridnene flore i faune s dominacijom makrobentosnih beskralježnjaka i nitrofilnih alga, koji se mogu dovesti u izravnu vezu s ostacima hrane, odnosno ekskretima riba, koji padaju na dno ispod kaveza. Mjerenja redoks-potencijala upućuju na to da je akumulacija organske tvari ispod kaveza, u pravilu, takva da se njezina oksidacija može izvršiti kisikom, ili, u najmanju ruku, suboksičnim putem. Isto tako, kemijski parametri u vodenom stupcu ispod kaveza nisu pokazivali negativne promjene u odnosu prema uobičajenom stanju okoliša. Jedino je indikativan porast anorganskog fosfora u sedimentu i u pridnenom sloju vodenoga stupca koji je strogo lokalni i za koji se pouzdano može reći da će tijekom vremena, tj. procesom difuzije iz sedimenta u vodeni stupac, nestati.

BIOLOŠKI ODGOVOR PLANKTONA

Polazeći od činjenice da svako ribogojilište proizvodi organski otpad, nije, dakle, sporno da znatne količine otopljenog dušika i fosfora dospijevaju u morski okoliš. Oslobađanje nutrijenata iz ribogojilišta teoretski može remetiti prirodne obrasce protoka nutrijenata kroz ekosustav. U ribogojilištima je oslobađanje nutrijenata kontinuirani proces koji s različitim intenzitetom traje kroz čitavu godinu, uz napomenu da svoj maksimum postiže upravo ljeti, kada viša temperatura mora pogoduje intenzivnijem hranjenju ribe.

U umjerenim klimatskim zonama, u koje se ubraja i Jadran, fitoplankton pokazuje sezonske maksimume produkcije, i to prije svega u proljeće i u jesen. Ovomu je uzrok vremenska podudarnost dostatne količine nutrijenata u fotičkom sloju, čime oni postaju dostupni fitoplanktonu nakon intenzivnog miješanja u vodenom stupcu i u uvjetima dovoljne količine svjetlosti potrebne za obavljanje procesa fotosinteze. Suprotno tomu, nedostatak nutrijenata tijekom ljetne stratifikacije rezultira niskom produkcijom fitoplanktona, unatoč obilnoj količini svjetlosti.

Valja očekivati da će nutrijenti koji intenzivnim uzgojem dospijevaju u more stimulirati fitoplanktonsku produkciju u fotičkom sloju. Međutim, novostvorena fitoplanktonska biomasa zbog dinamike izmjene vodenih masa malokad završava na morskom dnu uzgajališta. U dubljim će slojevima fitoplanktonska produkcija biti sve slabija, unatoč dostupnim nutrijentima. Ovo je posljedica progresivnog smanjivanja intenziteta svjetla s dubinom, kao i efekta samozasjenjenja (»autoshading effect«) koji proizvodi novonastala fitoplanktonska masa u površinskim slojevima. Hipernutrikacija i promjene u trofičkom statusu uzgojnog područja ne očekuju se u područjima s odgovarajućom izmjenom vodenih masa, a značajnije povećanje fitoplanktonske biomase opaženo je samo u izuzetnim okolnostima (Beveridge, 1996).

U jednom uzgajalištu lubina i komarče na istočnoj obali Jadrana (Katavić i Antolić, 1999), te u tri mediteranska ribogojilišta (Pitta i sur., 1999) provedene su sezonske analize fizikalnih, kemijskih i bioloških obilježja vodenog stupca. Nije zabilježena bitna razlika u koncentraciji fosfata i nitrata između kontrolnih uzoraka i uzoraka vode iz kaveza s ribom, isto tako ni znatnije povećanje koncentracije klorofila. Analiza ostalih literaturnih podataka pokazala je da su lokacije i godišnje doba glavni čimbenici fluktuacije većine parametara. Oni su glavni čimbenici koji uvjetuju i abundanciju dominantnih taksona fitoplanktona (dijatomeja, flagelata, dinoflagelata i cilijata), mikroplanktona, te bitno utječu na strukturu i sastav bentosnih zajednica.

Stabilnost koncentracije klorofila, čak i pri uvjetima kada je koncentracija nutrijenata visoka, može se tumačiti njihovim ograničenim vremenom iskorištavanja zbog brzog otplavlivanja, tako da fitoplankton ne ostaje dovoljno dugo na jednom mjestu kako bi profitirao na obilnoj količini hranjivih tvari (Gowen i sur., 1983). Provedenim istraživanjima u Britanskoj Kolumbiji potvrđeno je da sezonske promjene u okolišu u najvećoj mjeri utječu na zajednice fitoplanktona, a ne ribogojilišta lososa, kako se prije zaključivalo (Taylor i sur., 1992).

Pitta (1996) pokusima u mezokozmu pokazao je da se u istočnom Sredozemlju odgovor fitoplanktona na povećanu koncentraciju nutrijenata može očekivati u okviru 3–8 dana, ovisno o godišnjem dobu. Nadalje, također je dokazano da ne postoji linearna ovisnost između povećanja vrijednosti koncentracija nutrijenata i povećane vrijednosti biomase planktona; Owiatt i suradnici (1986) utvrdili su da je, u situacijama kada su koncentracije nutrijenata bile povećane 32 puta, uslijedilo povećanje primarne produkcije samo 3,5 puta.

S obzirom na ukupni antropogeni unos nutrijenata, marikultura sudjeluje tek neznatno u usporedbi s drugim korisnicima obalnoga prostora. Polazeći od statističkih pokazatelja proizvodnje u marikulturi, validnih modela za bilanciranje mase N i P (Hall i sur., 1992), te konačno na temelju procjene ukupnoga antropogenog unosa nutrijenata utvrđeno je da se u cijelom Sredozemlju marikulturom unosi 0,3 do 1% N i 0,4 do 1,4% P, dok su za Grčku kao vodećega proizvođača lubina i komarče (čini oko 50% europske proizvod-

nje) ti iznosi nešto veći: 1,9–7,7 % za N, i 2,9–10,4 % (Pitta i sur., 1999). Budući da u obavljene procjene nisu uzeti u obzir riječni inputi ni bilo kakvo prirodno obogaćivanje nutrijentima, ukupni procijenjeni unosi nutrijenata iz ribogojilišta mnogo su manji. No, povećanje koncentracije nutrijenata na lokaciji uzgoja, osobito u zatvorenim uvalama sa slabom dinamikom izmjene vodenih masa i/ili nepovoljnom konfiguracijom podmorja (npr. podmorski pragovi) može biti presudno za poticanje eutrofikacijskih procesa, a u tom zabrinutost javnosti je opravdana.

Organsko opterećenje, a time i emisija N i P u morski okoliš može se smanjiti boljom formulacijom hrane i nizom zootehničkih mjera. Prosječni indeks konverzije danas je sveden na 2 kg hrane (suha težina) za kilogram prirasta (vlažna težina), dok je on u salmonida gotovo dvostruko niži. Proizvodnja ekstrudirane hrane omogućila je smanjenje proteinske komponente u korist povećanja sadržaja masti. Na taj je način smanjen sadržaj nutrijenata u hrani, tako da se po toni proizvedene ribe računa tek s 9 kg P i 56 kg N, što je gotovo trostruko smanjenje njihove emisije u okoliš s obzirom na organsko opterećenje otprije 15 godina (Wallin i Hakanson, 1991).

UTJECAJ NA SEDIMENT, BENTOSNE ZAJEDNICE I PRIRODNE POPULACIJE RIBA

Većina studija utjecaja ribogojilišta na okoliš pokazala je da je najizvjesniji i potencijalno negativni učinak uzgajališta na strukturu i sastav bentosnih zajednica. Nekoliko je autora zabilježilo prisutnost rahlog, crnog sedimenta ispod kaveza, poznatog pod nazivom »sediment ribogojilišta« (Hall i sur., 1990; Angel i sur., 1995). Crni površinski sloj karakteriziran je niskim redoks–potencijalom, visokom koncentracijom organske tvari i feopigmenata, povećanjem ukupnog dušika i fosfora uz visok sadržaj vode. Potpovršinski sloj imao je iste ili niže koncentracije od onih mjerenih na površini. Važno je primijetiti da su debljina i kemijski sastav sedimenta varirali, osobito s obzirom na udaljenost od kaveza i sezonu uzorkovanja (Karakassis i sur., 1998). Debljina tog sedimenta primjetno se smanjivala povećanjem udaljenosti od kaveza, isto kao i tijekom hladnijega zimskog razdoblja koje obilježavaju smanjeni unos hrane i pojačani lateralni transport.

Vertikalni profil redoks–potencijala u sedimentu jedan je od najvažnijih indikatora za praćenje njegova »zdravlja«. On pokazuje odnos aktiviteta oksidiranih i reduciranih vrsta sustava, uz napomenu da je za redoks–potencijal u sediment najznačajniji odnos sulfata i sulfida (Berner, 1963). Ako je akumulacija organske tvari toliko visoka da se njezina oksidacija ne može izvršiti oksičnim (kisikom) ili suboksičnim putem, tada redoks–potencijal prelazi prema negativnom području, sugerirajući tako izvjesnost stvaranja anerobnih uvjeta (uvjeti bez kisika), koje nastanjuju tek rijetke bakterijske populacije (npr. sumporne bakterije). Negativne vrijednosti redoks–potencijala

zabilježene su samo ispod komercijalnih uzgajališta koja su smještena na muljevitim dnima (Karakassis i sur., 2000). Isti su autori utvrdili da je sadržaj organskog ugljika i dušika u blizini kaveza bio povećan 1,5–5 puta, a sadržaj ATP-a 4–28 puta, dok su promjene u strukturi i sastavu bentosnih zajednica indikativne oko kaveza tek u radijusu do 25 m. Na šljunkovitim dnima primjetan je porast abundancije i biomase bentosa čak 10 puta, iako se sastav makrofaune znatno razlikovao udaljavanjem od uzgajališta.

Na nekoliko uzgajališta duž istočne jadranske obale tijekom ljetnog razdoblja utvrđena je prisutnost kolonija nitastih bakterija (r. *Beggiatoa*). No, odsutnost makrofaune ispod kaveza nije primijećena (Antolić, osobno priopćenje), što su potvrdila i opsežna istraživanja bentosnih biocenoza grčkih uzgajališta (Karakassis i sur., 2000). Naprotiv, u sjevernom Atlantiku, na ribogojilištu lososa jednako kao i u Baltičkom moru, u brojnim studijama evidentirana je anoksija sedimenta i potpuna odsutnost makrofaune dna (Pearson i Rosenberg, 1978; Brown i sur., 1987; Rosenthal i Rangeley, 1988; Hansen i sur., 1991).

S obzirom na rezultate ispitivanja kemijskih i bioloških parametara koji su upozorili na određene promjene koje se mogu dovesti u vezu s aktivnostima kaveznog uzgoja ribe, izvješća ronilaca i snimke kamerom, kao i videozapisi s niza uzgajališta duž istočne obale Jadrana također upućuju na strogo lokalne promjene u sastavu makrofaune i u biljnom pokrovu dna. Ovdje je teško razlučiti utjecaj organskog opterećenja od utjecaja koji, zasigurno, može proizvesti samozasjenjenje (»autoshading effect«), odnosno smanjena penetracija svjetla zbog povećane fitoplanktonske produkcije ili pak samog fizičkog zaprečavanja prodiranja svjetla od plutajućih struktura i ribe u kavezima. Slični su nalazi utjecaja ribogojilišta na okolnu sredinu utvrđeni u blizini niza ribogojilišta lososa (Brown i sur., 1987; Hargrave i sur., 1993; Weston, 1990).

Nema dostupnih podataka o utjecaju uzgoja lubina i komarče na divlje populacije riba. Genetsko »onečišćenje«, odnosno gubitak izvornih genetskih obilježja prirodnih populacija zbog križanja s prethodno selekcioniranim uzgajanim jedinkama koje nisu lišene ni križanja u bliskom srodstvu nije moguće isključiti. No, gotovo je sigurno da razmjeri genetske kontaminacije prirodnih populacija ne mogu biti ni približno slični onima koji su utvrđeni u akvakulturi slatkovodnih vrsta. Okupljanje velikih vrsta riba podno kaveza, osobito za vrijeme hranjenja (Petricioli i Onofri, osobno priopćenje) upućuju na mogućnost transfera parazita i patogena u oba pravca, što može imati negativne posljedice na prirodne populacije, ali i na ekonomiju samog uzgajališta.

EKOLOŠKA CIJENA MARIKULTURE

Priobalni morski prostor izuzetno je vrijedan prirodni potencijal s velikim i raznolikim mogućnostima gospodarske valorizacije. U isto se vrijeme u njemu sukobljavaju interesi čitavog niza postojećih, kao i potencijalnih korisnika, te je, uz procjenu njegove kakvoće, osobito važno njegovo namjensko vrednovanje, i s ekološkog, a isto tako s gospodarskog i društvenog aspekta. Ovo i stoga da bi se u konačnici znalo što i koliko lokalna i šira društvena zajednica dobivaju ili gube alociranjem ili obezvredivanjem pojedinih dijelova pomorskog dobra određenom gospodarskom djelatnošću. U slučaju pogrešne alokacije pomorskoga javnog dobra i eventualne njegove degradacije, u posljednje vrijeme ima pokušaja procjene njegova prirodnog potencijala za oporavak, kao i utvrđivanje za to potrebnoga vremena. Ova su istraživanja tek u začetku, provode se tek u malobrojnim zemljama Sredozemlja, a zbog različitih klimatskih, geomorfoloških, zoogeografskih, fitocenoloških, hidroloških i dr. uvjeta dobiveni se rezultati, s obzirom na eventualnu širu primjenu mogu uzimati tek kao orijentacijski.

Oporavak bentosa

Scenarij 1.

U Grčkoj je provedeno ispitivanje životnih zajednica muljevitoga morskoga dna iznad kojega je provoden intenzivni višegodišnji kavezni uzgoj komarče i lubina (Karakassis i sur., 1999). Nakon prestanka intenzivnog uzgoja, tijekom iduća 23 mjeseca praćeno je stanje na morskom dnu, s posebnim obzirom na geokemijske značajke i sastav zajednica makrofaune. Na nekim su mjestima neposredno nakon prestanka uzgoja primijećeni anoksični uvjeti u sedimentu s crnim površinskim slojem. Iako je tijekom prvih 6–10 mjeseci zabilježeno relativno brzo poboljšanje uvjeta na dnu, poslije su u sustavu zabilježene znatne fluktuacije vrijednosti većine varijabli koje su pokazale da nije nastupio potpuni oporavak sredine. Ova regresija u oporavku pripisana je sekundarnom poremećaju kojemu je uzrok cvjetanje algi zbog sezonske mobilizacije nutrijenata iz sedimenta ispod kaveza. Na temelju toga zaključeno je da je proces oporavka opterećenih bentosnih sustava dinamičnih obalnih područja ovisan o utjecajima različitih faktora, te pokazuje faze progresije i regresije.

Scenarij 2.

Praćenje procesa oporavka livada morskih cvjetnica (*Posidonia*) u zapadnom Sredozemlju (Delgado, 1999) pokazalo je znakove regresije, tj. propadanja tijekom daljnje tri godine od zatvaranja ribogojilišta, premda se kakvoća vode relativno brzo stabilizirala. Kao mogući razlog navodi se mineralizacija akumuliranoga organskog materijala i povećan protok nutrijenata. Pretpostavka je

da su ti nutrijenti uzrokovali intenzivniji rast epifita i fitoplanktona koji su ograničili prodor svjetlosti i time biljkama onemogućili fotosintezu.

Scenarij 3.

Istraživanjima meiofaune (organizmi u sedimentu manji od 0,5 mm) pokazala su da se ona vratila na stanje od prije početka uzgoja ribe u okviru 6 mjeseci nakon zatvaranja ribogajališta (Mazzola i sur., 2000). Rezultati ovog pokusa trebaju se uzeti s oprezom jer su opažanja provedena nešto manje od godine dana a da nije utvrđen odnos između organskog opterećenja analiziranog područja i sastava zajednice meiofaune. Uz redoks-potencijal, istraživanje stanja meiofaune važan je indikator utjecaja uzgajališta na okoliš, posebno stoga što ovi organizmi imaju važnu ulogu u mineralizaciji organske tvari na morskom dnu, te što se njihova aktivnost nadopunjava aktivnošću mikroorganizama.

PRIORITETI I POLITIKA ODRŽIVOG RAZVOJA

Premda dostupne informacije ne idu u prilog općeprisutnoj zabrinutosti kad je riječ o utjecaju otpadnih produkata marikulture na morski ekosustav Jadrana, barem u okviru današnjih kapaciteta proizvodnje, ipak postoji potreba za iscrpnijim znanstvenim spoznajama koje bi bolje pojašnjavala ekološke procese i smanjila negativne utjecaje koji se događaju pod utjecajem uzgojnih aktivnosti. Da bi se razvio sustav pouzdanih indikatora kvalitete sredine, te ustanovili široko prihvatljivi standardi valoriziranja stanja sredine, potrebna su daljnja istraživanja. Te bi informacije pomogle pri donošenju odluke o daljnjem razvitku ove aktivnosti, izbjegavajući pritom negativne ekološke posljedice i neželjene učinke na biološku raznolikost. Isto tako, znatno reduciranje negativnih utjecaja na okoliš i prirodne populacije i unapređenje marikulture postiglo bi se kombinacijom ovih strateških i zootehničkih mjera:

- zoniranje priobalja, izbor lokacija za marikulturu, strategija upravljanja uzgajalištima i odabir tehnologija uzgoja trebaju biti ekološki osmišljeni
- budući da naša nacionalna regulativa prepoznaje »eko-certifikaciju« proizvodnje u marikulturi, proizvođač stječe dvostruku korist: (1) s jedne strane, dobiva dodatnu novčanu stimulaciju, i (2) pozicionira svoj eko-prepoznatljiv proizvod s većom cijenom na tržište
- istraživački i razvojni programi trebaju sadržavati naglašenu potrebu za ekološkom zaštitom, te poticajnim socijalnim i ekonomskim učincima za lokalnu zajednicu
- smanjenje udjela ribljega brašna i ribljeg ulja u korist biljnih komponenti poželjno je utoliko što rezultira smanjenjem pritiska na prirodne riblje stokove, te smanjuje rizike od eutrofikacije zbog povećanog unošenja nutrijenata u morski okoliš

— preventivne mjere smanjuju potrebu za terapeutcima, čime se dobivaju, na stres otporne, prethodno cijepljene i zdrave jedinke, slobodne od patogena i parazita.

Posebno je važno da se istraživanje usmjeri na specifična područja Jadrana i zone zanimljive za marikulturu, uzimajući pritom znatne razlike u smislu prevladavajućih obilježja prirodne sredine, uzgajanih vrsta i socio-ekonomskih implikacija. Posve specifična istraživanja potrebna su za valorizaciju utjecaja marikulture na različite morske ekosustave u različitim zemljopisnim područjima, posebno s obzirom na pojedine vrste koje se uzgajaju i njihov mogući utjecaj na biološku raznolikost. Uniformnost regulative na razini cijelog Jadrana važna je za održivost u smislu efektivnosti i u odnosu s ekološkim posljedicama. Pravna ograničenja i obveze monitoringa mogla bi povisiti troškove uzgoja na lokalnoj razini. To bi pogodovalo širenju ove aktivnosti na područja koja se slabije nadziru, što bi apsolutno išlo u korist daljnjem uništavanju okoliša. Posebno važna pitanja, kao što su unošenje alohtonih vrsta i zabrana upotrebe antibiotika, trebali bi potpasti pod uniformni jadranski regulacijski sustav i biti jednako učinkovito nadzirani od svih obalnih zemalja u jadranskom bazenu. Sustav prevencije u ovom slučaju je upravo toliko učinkovit koliko je učinkovita njegova najslabija sastavnica (čit. država). Regionalno specifični kriteriji za odabir lokacija za uzgoj u Sredozemlju (PAP/RAC, 1996), kao i protokoli monitoringa što ih je predložio GESAMP (1996) mogli bi poslužiti kao polazna osnova za pristup integralnom planiranju obalnih prostora za potrebe marikulture, odnosno za praćenje stanja i promjena u okolišu zbog ovih aktivnosti.

ZAKLJUČCI

Rezimirajući recentna iskustva i dostupne literaturne podatke koji se ponajprije odnose na kavezna uzgajališta u Jadranu i u Sredozemlju, mogu se izlučiti ovi zaključci:

- (1) Glavninu problema u razvoju marikulture moguće je objasniti kompeticijom za prostor, osobito u područjima veće koncentracije različitih aktivnosti u kojima ona, kao razmjerno novija djelatnost remeti već uspostavljeni *status quo* među korisnicima obalnih resursa; valja očekivati da će se razvojem pojedinih sektora suprotstavljenosti i nesnošljivosti razmjerno povećavati, a marikultura će biti prisiljena odstupati sve dalje od obale. Pritom se pojavljuje problem što je u pučinski uzgoj (»offshore«) moguće uključiti tek manji broj vrsta riba i što su ove tehnologije u početnoj fazi razvoja i aplikacije.
- (2) Integralno upravljanje obalnim zonama nameće se kao najbolji pristup usklađivanja interesa i rješavanja problema suprotstavljenosti interesa različitih korisnika obalnoga prostora.

- (3) Utjecaj kaveznog uzgoja na biološku raznolikost u načelu je negativan, premda je dokazano lokalna i kratkotrajna. Unapređenje tehnologija i upravljanja objektima marikulture može znatno smanjiti negativne posljedice na morski okoliš, jednako tako i izbjeći negativni utjecaj na biološku raznolikost.
- (4) Smanjenjem sadržaja N i P u hrani, zamjena peletirane hrane ekstrudiranom, uporaba za okoliš manje štetnih protuobraštajnih sredstava, favoriziranjem cijepjenja i imunostimulacije kao preventivne umjesto uporabe antibiotika i antimikotika kao kurative, zakretanje prema monoseks i triploidnim populacijama kako bi se izbjegle nepoželjne genetske interakcije s prirodnim populacijama preporučljive su mjere.
- (5) Emisija dušika i fosfora koji fecesom i nepojedenim ostacima hrane dospjevaju u morski okoliš općenito je beznačajna u usporedbi s unosom nutrijenata iz drugih izvora s kopna, ali može proizvesti eutrofikacijske učinke na uzgajalištu ili u njegovoj neposrednoj blizini. No, dosadašnja istraživanja i opažanja duž istočne jadranske obale nisu potvrdila znakove eutrofikacije, ni znatan porast biomase fitoplanktona ili organskog ugljika. Dnevne fluktuacije koncentracije nitrata i fosfata posljedica su unošenja hrane u različitim vremenskim intervalima (najveće je povećanje sredinom dana).
- (6) U usporedbi s Baltikom i Norveškim morem, Sredozemlje znatno bolje apsorbira nutrijente; povećanjem koncentracije P kao limitirajućeg čimbenika fitoplanktonske produkcije u Sredozemlju neće rezultirati značajnijom fitoplanktonskom biomasom, što se objašnjava brзом bakterijskom potrošnjom istoga.
- (7) Utjecaji na sediment podno kaveza različita su intenziteta, od neznatnog, do vrlo značajnog, što ovisi o veličini farme i biofizikalnim obilježjima lokacije, ponajprije o morskim strujama i tipu sedimenta. U ribogojilištima lubina i komarče ustanovljeno je da se velika količina otpada u obliku fosfata taloži neposredno ispod kaveza.
- (8) U muljevitom sedimentu postoji veća mogućnost pogoršanja uvjeta za životne zajednice dna u obliku anoksije i proizvodnje H₂S. Nikakav utjecaj na sediment nije primijećen izvan radijusa od 25 m od kaveza.
Utvrđeni trend sezonskog oporavka zajednica dna dovodi se u vezu s manjim intenzitetom hranjenja tijekom hladnijeg dijela godine.
- (9) Oporavak bentosnih zajednica na muljevitome dnu, nakon obustave uzgoja, može se znatno odužiti zbog sekundarnih poremećaja i nove fiksacije ugljika.
- (10) Imajući u vidu značenje livada morskih cvjetnica za očuvanje bioraznolikosti i u cjelini funkcioniranja morskog ekosustava, te činjenicu da su utvrđeni znakovi regresije livada morskih cvjetnica tijekom iduće tri godine od prestanka rada uzgajališta, nameće se potreba sustavne zaštite ovih staništa.

Summary

THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF MARINE FISH CAGE FARMS IN THE EASTERN ADRIATIC

I. Katavić

Mariculture in Croatia could play a more important role in development of rural communities along coastline. However, by increase of fish farming, public concern over environmental issues has been raised, and the need for more responsible mariculture development and management has been asked. There are opportunities and challenges for effectively integrating mariculture into coastal zone management with equal rights and obligations. This is primarily because of its social and economic mission consisting in preventing de-population of rural coastal areas and islands and meeting the growing needs of tourist market for seafood. Although intensive mariculture production is accused of producing negative environmental effects, many of these effects still need to be scientifically documented. The effect of nitrogen and phosphorous releases from farmed fish faeces or uneaten food is not of significant issues for marine ecosystem, and it is generally of little importance compared to the inflow of nutrients from other coastal sources. The impact on sediment and benthic communities is mainly local and short-term ones, and depends on the number and extent of the farms and their location. Recovery of some benthic communities after the cessation of farming activities may be delayed over several years (i. e. *Posidonia* beds) due to the accumulated organic matter. Bluefin tuna farming if not properly located and managed might cause pollution problems, either from uneaten feed and metabolic waste or from harvesting and processing the fish. In most cases the problem comes from smell pollution during the summer time and the oily water surface that may be widespread much outside of the farm areas. It will be important for sustainable development of Croatian mariculture to offer a healthy and good quality product in the quantities required by the market, while not degrading the marine environment.

Key words: mariculture, cage fish farming, environmental impacts, ecological changes, biological response

Prof. dr. Ivan Katavić, Deputy Minister, Ministry for agriculture and forestry, Directorate for fisheries, 10000 Zagreb, Vukovarska 78

LITERATURA

- Angel, D. L., Krost, P., Gordin, H. (1995): Benthic implications of the net cage aquaculture in the oligotrophic Gulf of Aqaba. In: *Improving the knowledge base in modern aquaculture*. Rosenthal, H., Moav, B. and Gordin, H. (eds). *Eur. Aquacult. Soc. Spec. Publ.*, 25, 129–173.
- Antolić, B. osobno priopćenje
- Azov, Y. (1986): Seasonal patterns of phytoplankton productivity and abundance in near-shore oligotrophic waters of the Levant Basin (Mediterranean). *J. Plankton Res.*, 8, 41–53.
- Benović, A., Fonda-Umani, S., Malej, A., Specchi, M. (1984): Net-zooplankton biomass of the Adriatic Sea. *Mar. Biol.*, 79, 209–218.
- Berner, R. A. (1963): Electrode studies of hydrogen sulfide in marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 563–575.
- Beveridge, M. C. M. (1996): *Cage aquaculture*. Fishing News Books, Blackwell, Oxford.
- Brown, J. R., Gowen, R. J., McLusky, D. M. (1987): The effects of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *J. Exp. mar. Biol. Ecol.*, 109, 39–51.
- Ćićin-Šain, B., Bunsick, S. M., DeVoe, R., Eichenberg, T., Evart, J., Halvorson, H., Knecht, R. W., Rheault, R. (2001): Development of a policy framework for offshore marine aquaculture in the 3–200 mile US ocean zone. Center for the Study of Marine Policy, University of Delaware, 166p.
- Delgado, O., Ruiz J., Perez, M., Romero, J., Ballestreros, E. (1999): Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after loading cessation. *Oceanol. Acta*, 22, 109–117.
- Ewart, J. W., Hankins, J., Bullock, D. (1995): State policies for aquaculture effluents and solid wastes in the Northeast Region. *Northeastern Regional Aquaculture Center Extension Bulletin* Nb. 300, 24p.
- FAO/Committee on Fisheries/Sub-Committee on Aquaculture (2002): *Aquaculture development and management: status, issues, and practices*. COFI: AQ/i/2002/2, 13p.
- Gilmartin, M., Revelante, N. (1983): The phytoplankton of the Adriatic Sea: Standing crop and primary production. *Thalassia Jugosl.*, 19, 173–188.
- GESAMP (1996): Monitoring the ecological effects of coastal aquaculture wastes. *Rep. Stud. GESAMP*, 57, Rome.
- Gowen, R. J., Tett, P., Jones, K. J. (1983): The hydrography and phytoplankton ecology of Loch Ardbhair: a small sea loch on West Coast of Scotland. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 71, 1–16.
- Hall, P. O. J., Anderson, L. G., Holby, O., Kollberg, S., Samuelsson, M. O. (1990): Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61: 61–73.
- Hall, P. O. J., Holby, O., Kollberg, S. and Samuelsson, M. O. (1992): Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 89, 81–91.
- Hansen, P. K., Pittman, K., Ervik, A. (1991): Organic waste from marine fish farms — effects on the seabed. In *Marine aquaculture and environment*, Mäkinen, T. (ed). Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 105–119. pp.

- Hargrave, B. T., Duplisea, D. E., Pdeiffer, E., Wildish, D. J. (1993): Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 96, 249–157.
- IOR (2001): Izvješća o stanju morskog dna i sedimenta na lokacijama uzgajališta tuna, tvrtki Kali tuna, Adriatic tuna, Jadran tuna, Drvenik tuna i Brač tuna. Izvješća, IOR–Split, 10 pp.
- Ivančić, I. (1995): Utjecaj dugoročnih promjena oceanografskih svojstava na koncentraciju hranjivih soli u sjevernom jadraniu. Doktorska disertacija, Prirodoslovno–matematički fakultet, Zagreb, 138p.
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E. (1998): Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 162, 243–252.
- Karakassis, I., Hatziyanni, E., Tsapakis, M., Plaiti, W. (1999): Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 184, 205–218.
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Papadopoulou, K. –N., Plaiti, W. (2000): Impact of bass and bream farming in cages on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES J. mar. sci.*, 57, (5), 1462–1471.
- Katavić, I. (1994): Aktualni trenutak u akvakulturi Republike Hrvatske s naglaskom na razvojni koncept marikulture. *Morsko ribarstvo*, 46, (1), 15–18.
- Katavić, I. (1996): Status and overview of aquaculture in Croatia, In: *Aquaculture Developmnt in Eastern Europe, EAS*, (Csavas, I. ed.), Budapest (Hungary), 118–127.
- Katavić, I., Antolić, B. (1999): On the impact of seabass *Dicentrarchus labrax* L. cage farm on water quality and benthic communities. *Acta Adriat.*, 40, (2), 19–32.
- Katavić, I., Tičina, V., Frničević, V. (2002): Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) farming on the Croatian coast of Adriatic Sea — present state and future plan. First international Symposium on the Domestication of the BFT (DOTT), Feb. 2002, Cartagena, Spain.
- Katavić, I. (2002): Tuna farming as a new achievement in mariculture of Croatia. Ocean Fisheries Symposium, Sept. 2002, Yantai, China.
- Krom, M. D., Kress, N., Brenner, S., Gordon, L. I. (1991): Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnol. Oceanogr.*, 36, 424–432.
- Marasović, I., Pucher–Petković, T., Alegria–Hernandez, V. (1988): Relation between phytoplankton production and *Sardina pilchardus* catch in the Middle Adriatic. In: *Fifth Technical Consultation on stock assessment in the Adriatic, GFCM*, Caddy, J. F. and Savini M. (eds), Rome, 121–126.
- Marasović, I., Pucher–Petković, T., Alegria–Fernandez, V. (1989): Phytoplankton productivity of the Adriatic Sea in relation to pelagic fisheries. *Bilješke–Notes*, 72, 1–8.
- Mazzola, A., Mirto, S., Danovaro, R., Fabiano, M. (2000): Fish farming effects on benthic community structure in coastal sediments: analysis of meiofaunal resilience. *ICES J. mar. sci.*, 57, (5), 1454–1461.
- Munday, B. W., Eleftheriou, A., Kentouri, M., Divanach, P. (1994): Quantitative statistical analysis of the literature concerning the interaction of the

- environment and aquaculture — identification of gap and lacks. *J. Appl. Ichthyol.*, 10, 319–325.
- Owiatt, C. A., Keller, A. A., Sampou, P. A., Beatty, L. L. (1986): Patterns of productivity during eutrophication: a mesocosm experiment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 28, 69–80.
- PAP/RAC (1996): Approaches for zoning of coastal areas with reference to Mediterranean aquaculture. Split: PAP–10/EAM/GL. 2, 35 pp.
- Pearson, T. H., Rosenberg, R. (1978): Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 16, 229–311.
- Petricioli D. i Onofri V. (osobno priopćenje)
- Pitta, P. (1996): Dynamics of the plankton community in sea bream (*Sparus aurata*) rearing mesocosms. PhD Thesis, University of Crete, Heraklion.
- Pitta, P., Karakassis, I., Tsapakis, M., Zivanovic, S. (1999): Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia.*, 391, 181–194.
- Pucher–Petković, T. i Marasović, I. (1987): Promjene u fitoplanktonskoj zajednici kao odgovor na pojačanu eutrofikaciju mora. *Pomorski zbornik*, 25, 18–26.
- Rosenthal, H., Rangeley, R. W. (1988): The effect of a salmon cage culture on the benthic community in a largely enclosed Bay (Dark Harbour, Grand Manan Island, N. B., Canada). In *Fish Health Protection Strategies*, Lillelund, K., H. Rosenthal, H. (eds). Bundesministerium für Forschung und Technologie, Hamburg/Bonn. 207–223.
- Taylor, B. E., Jamieson, G., Carefoot, T. H. (1992): Mussel culture in British Columbia: the influence of salmon farms on growth of *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, 108, 51–66.
- Wallin, M., Hakanson, L. (1991): Nutrient loading models for estimating the environmental effects of marine fish farms. In: *Marine aquaculture and environment* (Makinen, T. ed.), 39–56. Copenhagen: Nordic, Council of Ministers.
- Wassmann, P. (2003): Eutrophication effects on phytoplankton and thresholds of environmental sustainability. The Croatian Norwegian Workshop on Aquaculture, Coastal Management and Environmental Impact, October 1–5, 2003, Vodice, Croatia (*Abstract*).
- Weston, D. P. (1990): Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61, 233–244.
- White, P. (2001): Marine aquaculture development in the Mediterranean region, pp. 136–139. In: Otterstad, O. and Benovic, A. (eds) 2001. Report of the Workshop on *Releasing Development Potentials at the Eastern Adriatic Coast, Dubrovnik (Croatia)*, October, 2001.

Primljeno: 6. 11. 2003.
Prihvaćeno: 13. 11. 2003.