

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Janez FORTE

**INDIKATORJI OBREMENTITVE OKOLJA
Z MARIKULTURO**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Janez FORTE

**INDIKATORJI OBREMENTITVE OKOLJA
Z MARIKULTURO
MAGISTRSKO DELO**

**INDICATORS OF THE MARICULTURE IMPACT ON THE
ENVIRONMENT**

M. Sc. Thesis

Ljubljana, 2016

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete z dne 14. 12. 2015, je bilo potrjeno, da kandidat izpolnjuje pogoje za magistrski Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti ter opravljanje magisterija znanosti s področja biologije. Za mentorja je bil imenovan prof. dr. Mihael J. Toman.

Magistrsko delo je bilo opravljeno na Morski biološki postaji Piran Nacionalnega inštituta za biologijo. Terensko delo je bilo opravljeno na ribogojnici Ribič in ribogojnici Fonda.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Ivan KOS

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Lovrenc LIPEJ

Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja Piran

Član: prof. dr. Jadran FAGANELI

Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja Piran

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Janez Forte

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Md
DK	UDK 574:639(043.2)=163.6
KG	marikultura/ribogojnica/indikatorji/indeksi/DPSIR/ekosistem/morje
AV	FORTE, Janez, univ. dipl. biol.
SA	TOMAN J., Mihael (mentor)
KZ	SI-1000, Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, področje biologije
LI	2016
IN	INDIKATORJI OBREMENTITVE OKOLJA Z MARIKULTURO
TD	Magistrsko delo
OP	VIII, 83 str., 16 pregl., 3 pril., 31 sl., 45 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	

Cilj naloge je bil čim natančneje opredeliti nekatere kazalce v morski ribogojnici Fonda v Piranskem zalivu, in s tem dokazati vplive hranjenja rib na morsko okolje ter prispevati orodja za uspešno načrtovanje rabe tega vodnega okolja. Z meritvami *in situ* (vodni stolpec, površina sedimenta in sediment), laboratorijskimi analizami ter statistično obdelavo, smo obravnavali 36 kazalcev (enostavnih, fizikalno-kemijskih in kompleksnih, bioloških indeksov). V vodnem stolpcu so primerni indikatorji ortofosfat, celotni fosfor, amoniak, celotna suspendirana snov, razmerje C_{org}/TN (organski ogljik in celotni dušik), bakterijska produkcija. Zanje je značilen hiter odziv na ribje izločke. Kazalci, izmerjeni v sedimentnih pasteh (celotna suspendirana snov, organski ogljik in celotni dušik), niso odzivni v času, so pa primerni za primerjavo z referenčnimi točkami in cenovno ugodni. Na sedimentu smo izmerili koncentracije klorofila *a* in feopigmentov, pri čemer so feopigmenti pokazali večjo zanesljivost kot klorofil, predvsem s prostorskega vidika. Indeks MAMBI, ki definira vpliv organske snovi na makrofavno, je pokazal prostorske razlike med vzorčevalnimi točkami; od 0,46, kar označuje zmerno stanje ekosistema v bližini kletk, do 0,99, kar pomeni, da je ekosistem v bolj oddaljenih točkah v zelo dobrem stanju. Struktura in abundanca meiofavne sta izrazita indikatorja sprememb v večmesečni časovni skali, vplivi oddaljenosti od kletk so večji kot vplivi sezone; so pa kompleksni indeksi zaradi visokih stroškov specialistov taksonomov za pogosto rabo neugodni. V porni vodi so dobri indikatorji: ortofosfat, silikat, amonij, sulfat. C_{org} je primeren predvsem za večletne analize razvoja obremenitve sedimenta z organsko snovjo. Primerna indikatorja sta še alkalnost in redoks potencial, slednji predvsem zaradi zanesljivosti in tudi stroškovne sprejemljivosti. Razvili smo metodi istočasnega vzorčenja v vodnem stolpcu na več točkah in komoro za merjenje redoks potenciala v jedniku na plovilu. Prvič pa je bila uporabljena metoda merjenja obarvanosti filtrov po filtraciji morske vode s pomočjo programske opreme Corel Photo-Paint, s katero smo pokazali razlike med vodnimi masami v bližini kletke in tistimi iz referenčnih lokacij.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN M. Sc. Thesis
DC UDC 574:639(043.2)=163.6
CX mariculture/finfish farm/indicators/indexes/DPSIR/ecosystem/sea
AU FORTE, Janez
AA TOMAN J., Mihael (supervisor)
PP SI-1000, Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate
Study of Biological and Biotechnical Sciences, Field: Biology

PY 2016
TI INDICATORS OF THE IMPACT OF THE MARICULTURE ON THE
ENVIRONMENT
DT M. Sc. Thesis
NO VIII, 83 p., 16 tab., 3 ann., 31 fig., 45 ref
LA sl
AL sl/en

AI The primary aim of this thesis was to determine some indicators at the marine fishery Fonda in the gulf of Piran and by doing so, to prove the impact of fish feeding on the marine environment and to contribute some tools for a successful usage of this water body. With the measurements *in situ* (water column, sediment surface and in the sediment), laboratory analysis, and statistic data processing, we were able to take in consideration 36 different indicators (simple ones, e.g. physical and chemical indicators and more elaborate ones, e.g. biological indexes). In the water column, we found as suitable the following indicators: orthophosphate, total phosphor, ammonia, total suspended solids, C_{org}/TN ratio (organic carbon and total nitrogen). For these elements, a quick response to the fish excretion is a characteristic. The indicators, measured in the sediment traps (total suspended solids, organic carbon, and total nitrogen), are not responsive in time. However, they are suitable for the comparison with some reference points and their cost is acceptable. On the sediment we measured the chlorophyll *a* and phaeopigment concentrations and established that the phaeopigments show a greater stability than the chlorophyll *a*, especially from the space aspect. MAMBI index which defines the influence of the organic matter on the macrofauna showed (in the space aspect) some differences between the sampling points (from 0.46, which marks a normal condition of the ecosystem near the cages, up to 0.99, which means that the ecosystem in the remote points is in excellent conditions). The structure and the abundance of the meiofauna are the most relevant indicators of the changes on a monthly time scale; the influence of the proximity of the cages is higher than the influence of the season changes; however, the usage of complex indicators is not recommendable for performing a constant survey because of the high costs involved. In the interstitial water the good indicators are: orthophosphate, silica, ammonia, sulphate. C_{org} is suitable especially for an analysis that lasts for several years and analyses the developmental strain on the sediment because of the organic matter. Good indicators are also alkalinity and the redox potential, which is suitable especially for its reliability and expense wise. We have developed a new method that offers a possibility to sample the water column at different testing points at the same time and a chamber to measure redox potentials in the corer on the boat. For the first time, we analysed the colour of the filter after the filtration of the sea water using Corel Photo-paint, which showed differences between water masses near the cages and those from reference locations.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	IX
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 SPLOŠNO O MARIKULTURI	3
2.2 INDIKATORJI	12
2.3 ZAKONODAJA	14
3 METODE	16
3.1 OPIS LOKACIJE	16
3.2 OPIS RIBOGOJNICE	19
3.3 VZORČENJE	22
3.3.1 Vzorčenje v vodnem stolpcu.....	22
3.3.2 Vzorčenje površine sedimenta	26
3.3.3 Vzorčenje v sedimentu	27
3.3.4 Meritve tokov.....	28
3.4 LABORATORIJSKE METODE	28
3.4.1 Obdelava obarvanosti filtrov s pomočjo programa Corel Photo-Paint	30
4 REZULTATI.....	33
4.1 VODNI STOLPEC	33
4.1.1 Nutrienti in celotna suspendirana snov.....	33
4.1.2 Obarvanost filtrov	37
4.1.3 Bakterijska abundanca in produkcija.....	38
4.1.4 Pigmenti v fitoplanktonu	39
4.1.5 Organski ogljik in dušik v vodnem stolpcu pred in po hranjenju rib.....	41
4.1.6 Hitrost sedimentacije, organski ogljik in dušik v sedimentnih pasteh.....	43
4.2 SEDIMENT	45
4.2.2 Alkalnost	47
4.2.3 Redoks potencial	47
4.2.4 Celotni organski ogljik (TOC)	48
4.2.5 Celotni dušik (TN).....	48
4.2.6 Mikrofitobentos	49
4.2.7 Makrofauna (MAMBI indeks).....	52

4.2.8 Meiofavna	54
5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	59
5.1 SKLEPI.....	65
6 POVZETEK.....	66
6.1 SUMMARY	69
7 VIRI	73

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam prostoživečih rib v neposredni okolici kletke (Forte in sod., 2007).	6
Preglednica 2: Koordinate vseh vzorčevalnih točk.	24
Preglednica 3: Nutrienti v vodnem stolpcu pred in po hranjenju (PRED = pred hranjenjem, PO = 3 ure po hranjenju), globina = 5m.	34
Preglednica 4: Celotna suspendirana snov pred in po hranjenju, globina = 5 m.	35
Preglednica 5: Primerjava statistično značilnih razlik med krogi in med sezonami.	37
Preglednica 6: P - vrednosti po posameznih R, G, B kanalih in njihove srednje vrednosti pred in po hranjenju ter na referenčnih točkah (ANOVA z dvema faktorjema).	38
Preglednica 7: Organski ogljik in dušik v vodnem stolpu (suspendirana snov) pred in po hranjenju rib, globina = 5 m.	41
Preglednica 8: Razmerje C_{org}/TN pred in po hranjenju.	42
Preglednica 9: Statistično značilne so razlike PRED/PO, razen pri razmerju C_{org}/TN	43
Preglednica 10: Razlike med merilnimi točkami ob kletki in referenčnimi točkami (ANOVA z enim faktorjem).	44
Preglednica 11: Parametri, izmerjeni v prvih dveh centimetrih sedimenta.	45
Preglednica 12: Izračunani diverzitetni in biotski indeksi in stanje ekosistema, določitev stanja ekosistema.	52
Preglednica 13: Korelacijski koeficienti med biotskimi indeksi in ostalimi parametri.	53
Preglednica 14: Korelacijski koeficienti med biotskimi indeksi in ostalimi parametri, brez točke F0CC.	53
Preglednica 15: Abundanca glavnih skupin meiofavne.	54
Preglednica 16: Korelacijski koeficienti med indikatorji na in v sedimentu ter pomembnejšimi skupinami meiofavne. K1+CC: prvi krog, vključena je točka CC (center kletke), K1: prvi krog, točka CC je izključena, K2: drugi krog, R: referenčne točke (FES3, FOS3, FWN3).	55

Preglednica 17: Preglednica obravnavanih kazalcev v vodnem stolpcu in njihove ocene: 3 – zelo primerno, 2 – primerno, 1 – neprimerno.....	57
Preglednica 18: Preglednica obravnavanih kazalcev v sedimentnih pasteh in njihove ocene: 3 – zelo primerno, 2 – primerno, 1 – neprimerno.....	58
Preglednica 19: Preglednica obravnavanih kazalcev na in v sedimentu in njihove ocene: 3 – zelo primerno, 2 – primerno, 1 – neprimerno.....	58

KAZALO SLIK

Slika 1: Čvrst substrat predstavlja nov življenjski prostor za številne organizme. Foto: Borut Furlan.....	4
Slika 2: Shema vplivov gojenja rib v sidranih kletkah.....	5
Slika 3: Shema povezav med pristopom DPSIR, indikatorji in vmesnimi koraki. SMART je kratica za specifičen (Specific), merljiv (Measurable), Izvedljiv (Achievable) in časovno omejen (Time-bounded) vmesni korak za doseg cilja. PEST (analiza) je kratica za prevladujoče politične (Political), ekonomske (Economic), družbene (Social) in tehnološke (Technological) sile, ki delujejo v upravljanju z okoljem.	11
Slika 4: Barva površinskega sedimenta: levo – sediment pod kletko, desno – sediment na 100m oddaljeni točki (iz Grego, 2010).....	13
Slika 5 : Lokacija marikulture v Piranskem zalivu (Forte in sod., 2007).....	16
Slika 6: Zgoraj: Simulacija poti posameznih peletov po skozi vodni stolpec. Vsaka krivulja predstavlja svoj čas (uro). Datum: 21. 6. 2000. Spodaj: končni položaji peletov, vsaka pika predstavlja točko, na katero bi padali peleti, če bi bile ribe hranjene vsako uro. Datum: 21.6. 2000. (Forte, 2001)	17
Slika 7: Pot, katero je opravila vodna masa od točke 0 v treh urah po hranjenju rib. Datum: 18. 10. 2005, globina = 5m. Hranjenje se je začelo ob 12. uri (LST)	18
Slika 8: Lokacija marikulture: desno – ribje kletke, levo – školjčišče, v ozadju - Sečoveljske soline, desno zgoraj – izliv Dragonje	19
Slika 9: Ribogojnica Fonda. Foto: Borut Furlan	20
Slika 10: Brancin <i>Dicentrarchus labrax</i> (L.) v naravnem okolju. Foto: Tihomir Makovec	21
Slika 11: Brancini v kletki. Foto: Oskar Musić	21
Slika 12: Sistem za vzorčenje v vodnem stolpcu in s sedimentnimi pastmi.	23
Slika 13: Shema razporeditve vzorčevalnih točk na ribogojnici Ribič leta 2005.....	25
Slika 14: Transportna škatla za korerje in tulec za zamaške, v katerem se zamaški sami pomikajo proti odprtini na vrhu, ne morejo pa uiti iz cevi.	26
Slika 15: Detajl cevi za transport zamaškov.....	27

Slika 16: Shema razporeditve vzorčevalnih točk na ribogojnici Fonda leta 2006	28
Slika 17: Komora za merjenje redoks potenciala.	29
Slika 18 Primer obarvanosti filtrov z vzorčevalne točke 0ES2 pred hranjenjem (BF) in po (AF) hranjenju rib.	30
Slika 19: Filtri, ki jih želimo primerjati, morajo biti zloženi na istem listu. Na tem listu so štirje primerljivi pari (v vsakem paru je en filter pred (BF) in en filter po (AF) hranjenju.	31
Slika 20: Rezultat obdelave filtra 0WN2 s programom Corel Photopaint	31
Slika 21: Koeficienti povečanja ali zmanjšanja koncentracij parametrov vodnem stolpcu tri ure po hranjenju. $K = \text{konc}_{\text{po}}/\text{konc}_{\text{pred}}$	35
Slika 22: Število celic v litru vzorca, opazne so višje vrednosti v okolici kletke.	39
Slika 23: Vsota koncentracij produktov razgradnje klorofila <i>a</i>	40
Slika 24: Hitrost sedimentacije v neposredni okolici kletke ($\text{g m}^2 \text{ dan}^{-1}$). Past je bila na globini 5m.....	44
Slika 25: Profili redoks potenciala v sedimentu	47
Slika 26: Naraščanje obremenjenosti sedimenta s TOC od postavitve prvih gojitvenih kletk (Forte in sod., 2007)	48
Slika 27: Celotni organski ogljik (%) in celotni dušik (%) v prvih 2cm sedimenta.....	49
Slika 28: Koncentracije klorofila <i>a</i> aprila 2006.....	50
Slika 29: Koncentracije klorofila <i>a</i> julija 2006.	50
Slika 30: Koncentracije feopigmentov aprila 2006.	51
Slika 31: Koncentracije feopigmentov julija 2006.....	51

1 UVOD

Vedno večje potrebe človeštva po hrani in zmanjševanje ulova prostoživečih organizmov so pospešile razvoj akvakulture oz., v morskem ekosistemu, marikulture. Gojenje zajema različne skupine alg, rake, mehkužce in predvsem ribe. Najhitrejši razvoj poteka na področju ribogojstva, ki se je v začetku odvijalo predvsem v zaprtih sistemih na kopnem. Pri takšnem načinu so bile obremenitve z organskimi snovmi in kontrola efluentov dobro dokumentirane, medtem ko je bilo znanje o vplivih gojenja nesalmonidnih vrst rib v kletkah v tistem obdobju dokaj skromno (Handy & Poxton, 1993, cit. po Wu, 1995). Danes poznamo več sistemov za gojenje morskih rib: kletke, zasidrani sistemi v kanalih z velikimi hitrostmi toka (salmonidi v državah Severne Evrope) in zasidrane kletke v plitvejšem obalnem morju (orada, *Sparus auratus* L. 1758; brancin, *Dicentrarchus labrax* L. 1758 in tuna, *Thunnus thynnus*, L. 1758).

Poleg posledic, ki jih gojenje rib v kletkah povzroča v morskem okolju, postavljanje zasidranih marikulturnih objektov v ozkem obalnem pasu predstavlja konflikt z ostalimi uporabniki prostora. Zmanjšajo se površine za turistične dejavnosti (navtični turizem, športno potapljanje, plavanje), kletke predstavljajo ovire za tradicionalne oblike ribolova (zimski ulov cipljev v Piranskem zalivu), ovirane so plovne poti. Vse navedeno vodi do ugotovitve, da je potrebno s prostorom upravljati celovito, upoštevajoč vse dejavnike, vključno s socio-ekonomskimi.

Morje je kot naravna dobrina lastnina države, ki njegove ekosistemske dobrine in storitve izkorišča ter z njim tudi upravlja. Za trajnostno gospodarjenje oz. trajnostni razvoj je potrebno, skladno z definicijo trajnostnega razvoja¹, poskrbeti za to, da ga bodo lahko uporabljale tudi naslednje generacije, kar pomeni, da dejavnost ne sme obremeniti okolja preko njegove nosilne kapacitete. Upoštevajoč to dejstvo, je Republika Slovenija v svojih predpisih predvidela način upravljanja z morskimi živimi resursi v marikulturi in postopek prenosa upravljanja na druge pravne osebe. Ta postopek temelji na Ustavi RS, Zakonu o ohranjanju narave, Zakonu o varstvu okolja, Zakonu o vodah in več Uredbah ter se zaključí z izdajo koncesijskega akta oz. podpisom koncesijske pogodbe.

¹ Trajnostni razvoj zadovoljuje potrebe sedanje generacije, pri čemer ne ogroža zadovoljevanj potreb naslednjih.

Za pravilno upravljanje z marikulturo pa je, med ostalim, potrebno spremljanje njenega vpliva na okolje, kar dosežemo z meritvami fizikalnih, kemijskih in bioloških parametrov v vodnem stolpcu, na površini sedimenta in v njem. Pojem, ki povzema oz. združuje raznovrstne podatke in torej poenostavlja informacijo, imenujemo indikator.

V delu predstavljam nekatere vplive na fizikalne, kemijske ter biološke značilnosti okolja na območju ribogojnice v Piranskem zalivu ter indikatorje, ki opredeljujejo vpliv gojenja rib na to okolje, in so potencialni elementi za načrtovanje uravnoteženega, trajnostnega razvoja marikulture.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SPLOŠNO O MARIKULTURI

Izraz akvakultura pomeni gojenje različnih vrst organizmov v vodnem okolju (Forte, 2001). Gre za tisočletja staro dejavnost, ki je v svojih začetkih predvsem lajšala pridobivanje hrane. Ribe so Kitajci gojili že v 5. stoletju pred našim štetjem, medtem ko so Grki v tistih časih gojili ostrige (Štrukelj, 2008). Danes so največje proizvajalke gojenih morskih organizmov azijske države, vodilna pa je Kitajska.

Akvakultura je glede na vrsto vodnega okolja lahko sladkovodna, brakična ali morska. V zadnjem primeru govorimo o marikulturi.

V morskem okolju gojimo različne vrste organizmov: alge, rake, mehkužce (školjke, hobotnice) in ribe. Gojitveni sistemi so različni, odvisno od organizma: alge (najbolj znana je *Spirulina*) gojimo v zaprtih bazenih, rake v bazenih ali košarah, hobotnice v bazenih, školjke na morskem dnu, v košarah ali obešene v mrežicah, ribe v zasidranih mrežnih kletkah.

Za izbiro lokacije za postavitev gojitvenih kletk so odločilni naslednji dejavniki (Katavić, 2003):

- zaščita pred premočnimi valovi in vetrovi,
- primerna dinamika izmenjave vodnih mas, pri čemer je potrebno upoštevati, da bodo premočni tokovi stalno naprezali sidrni sistem, medtem ko bodo zaradi šibkih tokov omejujoči dejavnik metaboliti in raztopljeni kisik,
- primerna globina, da bodo ribe dovolj oddaljene od dna in da bo omogočen lateralni transport ter s tem zagotovljena kakovostna voda,
- ustrezen sediment in morsko dno sta deskriptorja z velikim integracijskim pomenom; tako peščeno kot prodnato morsko dno nakazujeta primeren lateralni transport in zračnost akvatorija, medtem ko je muljevito dno posledica močne sedimentacije na lokaciji.

V prid lokaciji štejemo še enostaven in neoviran pristop, minimalne probleme s plenilci, stabilno slanost, bližino in organiziranost trga ter oddaljenost od drugih ribogojnic (preventivno, zaradi bolezni). Nasprotno pa prisotnost podvodnih pragov (grebenov), ki preprečujejo pridneni transport in mešanje vode, pomeni neugoden dejavnik (Katavić, 2003).

Postavljanje ribogojnic v morski ekosistem povzroča več vrst motenj, od katerih vsaka na svoj način v njem povzroča spremembe.

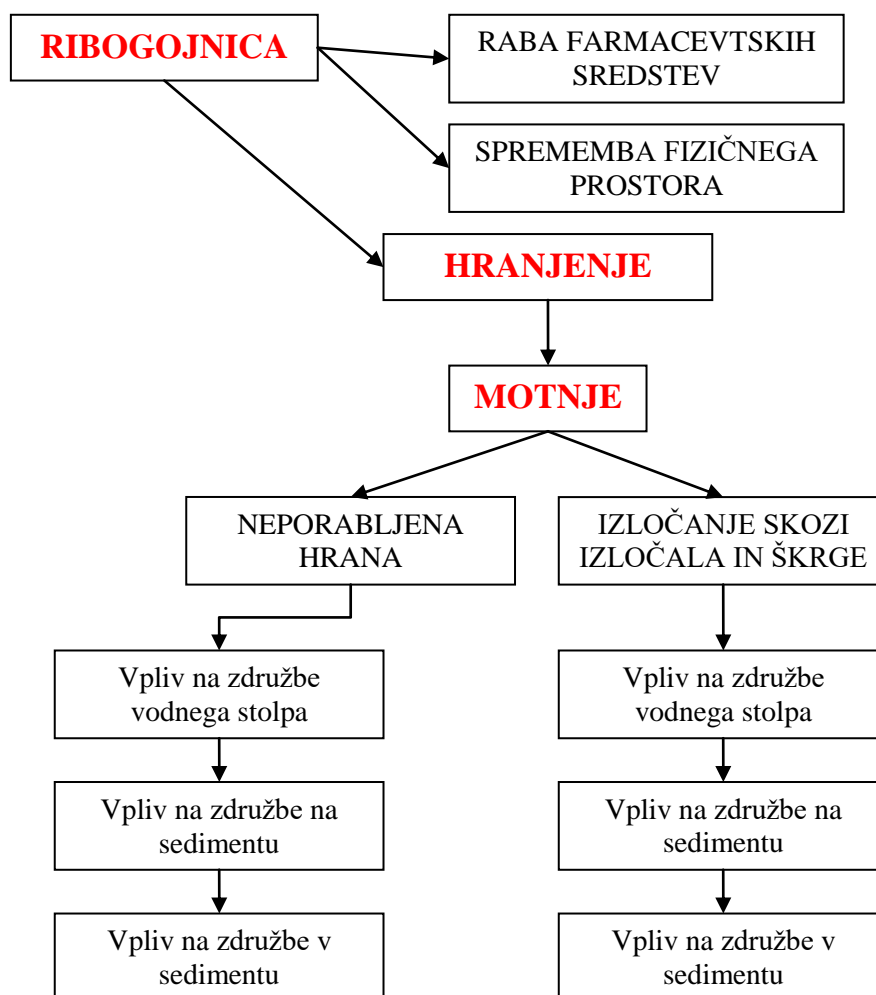
1. Mreže, sidrne vrvi, sidra in označevalne boje predstavljajo **substrat** za pritrnitev sesilnih, predvsem filtratorskih organizmov ali vsaj nekaterih razvojnih stadijev različnih skupin živali.



Slika 1: Čvrst substrat predstavlja nov življenjski prostor za številne organizme. Foto: Borut Furlan, 2013.

Figure 1: Hard substrate represents a new living space for numerous organisms. Photo: Borut Furlan, 2013.

2. V prvih dneh naselitve mladic ribogojci uporabljajo različna **farmacevtska sredstva**, da bi preprečili posledice stresa, ki pogosto sledi dolgotrajnemu transportu iz oddaljenih vzgajališč mladic.
3. Največjo motnjo, tako po prostorskem kot po časovnem obsegu, povzroča **hranjenje rib**. Pri tem se ni mogoče izogniti neporabljeni hrani v obliki peletov, ki padajo skozi mrežo kletke na sediment in veliki količini ribjega fecesa, ki se razširja na večje razdalje kot peleti in ga del tudi potone na morsko dno. K vsemu je potrebno prišteti še amoniak, ki ga ribe izločajo skozi ribje škrge (Slika 2).



Slika 2: Shema vplivov gojenja rib v sidranih kletkah.

Figure 2: Scheme of the impacts of growing the fish in the moored cages.

Posledice hranjenja rib so zaznavne v vodnem stolpcu, na sedimentu in v njem. Gre za spremembe fizikalno-kemijskih dejavnikov, kar se posledično odraža v spremenjeni vrstni sestavi, abundanci in biomasi bentoških združb in meiofavne, v vodnem stolpu pa predvsem v povečani bakterijski produkciji ogljika, neporabljena hrana pa privablja tudi vrste divjih populacij rib² (Preglednica 1).

Preglednica 1: Seznam prostoživečih rib v neposredni okolici kletke (Forte in sod., 2007).

Table 1: The list of the wild fish around the cage (Forte et al., 2007).

<i>Mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Liza aurata</i> (Risso, 1810)
<i>Liza saliens</i> (Risso, 1810)
<i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Sarpa salpa</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Belone belone</i> (Linnaeus, 1761)
<i>Dentex dentex</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Diplodus puntazzo</i> (Walbaum, 1792)
<i>Diplodus vulgaris</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)
<i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Dicentrarchus labrax</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Sparus auratus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Pagellus erythrinus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Lithognathus mormyrus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Lichia amia</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Spondyliosoma cantharus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Conger conger</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Symphodus tinca</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Lipophrys</i> sp.
<i>Trachurus trachurus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Balistes carolinensis</i> (Gmelin, 1789)
<i>Scorpaena porcus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Solea</i> sp.
<i>Umbrina cirrosa</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Mustelus mustelus</i> (Linnaeus, 1758)

² Zadrževanje populacij divjih rib v okolici ribogojnice je lahko eden od indikatorjev vpliva hranjenja gojenih rib.

V zadnjih letih ribiči občasno ujamejo tudi križance, ki pobegnejo iz italijanskih ribogojnic³ (osebni vir: Fonda, 2010, ribogojnica Fonda). Gre za sterilne ribe, ki imajo vseeno določen vpliv na okolje. Za njih je značilna hitra rast, kar zahteva veliko hrane, to pa pomeni neposredno kompeticijo avtohtonim vrstam.

Pri določanju velikosti in vrst sprememb v okolju je potrebno upoštevati še dejstvo, da se količina hrane spreminja v odvisnosti od letnih časov, saj so ribe pozimi hranjene največ enkrat dnevno ali celo niso hranjene, v poletnem času pa tudi do petkrat dnevno. Razporeditev viškov hrane, ki potone na dno, pa je odvisna tudi od razslojenosti vodnega stolpca, pri čemer ni nujno, da je razslojenost prisotna vsako leto. Sezonam prilagojen režim hranjenja je pomemben predvsem pri določanju sprememb v tistih združbah, ki se relativno hitro obnavljajo, kot n. pr. meiofavna, ki se obnovi prej kot v šestih mesecih (Mazzola, 2000), se pa spreminjajo tudi v odvisnosti od letnega časa (Grego, 2010). Neupoštevanje režima hranjenja lahko prikrije pravi vzrok sprememb v sestavi, abundanci in biomasi meiofavne.

Intenzivnost proizvodnje v morskih farmah narašča iz leto v leto. Vzrok je predvsem v prelovu divjih populacij rib, zaradi česar je prišlo do upadanja komercialnega ribolova, izpad hrane pa je bilo potrebno nadomestiti.

Tako kot se je v poslednjih desetletjih razvijalo morsko ribogojništvo⁴, predvsem gojenje brancina, *Dicentrarchus labrax* in orade, *Sparus auratus*, tako so temu razvoju sledile tudi raziskave vplivov dejavnosti na morsko okolje. Po letu 1995 je veliko nacionalnih, predvsem pa evropskih raziskovalnih projektov obravnavalo odnose med marikulturo in okoljem. Te raziskave so med ostalim vključevale vpliv gojenja rib na pelagial, bentos, morske travnike, ribištvo, socio-ekonomske dejavnike in modeliranje (Karakassis, 2013). Veliko študij je bilo opravljenih v Sredozemlju, Jadranskem morju, pa tudi v slovenskih vodah.

Sredozemsko morje je po svojih značilnostih glede na morja Severne Evrope (kjer se je razvoj marikulture začel zgodaj in zelo intenzivno), precej drugačno (Karakassis, 2001):

³ Poimenovali so jih s sestavljanjem italijanskih imen: orantice je sestavljena iz orata + dentice (orada + zobatec), pantice je pagar + zobatec in pagata je pagar + orada.

⁴ Danes gojimo približno 200 vrst, vendar se število še povečuje (Katavić, 2003).

- Visoke temperature (letni minimum 12 °C, poletni maksimum 25 °C) omogočajo visok metabolizem, ki vpliva tako na produkcijo gojenih rib kot na aktivnost mikrobnih združb.
- Šibko plimovanje (tipično za Sredozemsko morje je manj kot 50 cm) zmanjšuje redčenje in širjenje raztopljenih in partikulatnih snovi, še posebej v zaprtih zalivih, kjer so tokovi kot posledica vetra relativno šibki.
- Oligotrofnost: nizke koncentracije nutrientov, nizka primarna produkcija in nizka fitoplanktonska biomasa so tipični v večini sredozemskih ekosistemov, še posebej v vzhodnem bazenu. Nizka fitoplanktonska biomasa omogoča visoko prozornost in s tem prodiranje svetlobe v globlje sloje, kar dovoljuje fotosintezo tudi v večjih globinah.
- Primarno produkcijo, kot limitirajoč dejavnik, omejuje fosfor; v Atlantiku in v večini svetovnih oceanov je ta dejavnik dušik. V tem kontekstu lahko evtrofikacijo pričakujemo le, če se v okolju pojavlja fosfat v ustreznih količinah.
- Biološka komponenta ekosistema (flora in favna) je vrstno zelo pestra, še posebej v obalnem pasu in jo karakterizira tudi veliko endemičnih vrst. Nizke abundance in biomase so prvenstveno posledica oligotrofičnosti.
- Morfologija zalivov, kjer se odvija večina gojitvenih dejavnosti, je zelo različna od škotskih (loch) in norveških (fjord) ozkih, v kopno globoko zajedenih zalivov, ki nimajo stalnih pritokov sladke vode; prav tako ni na vhodih podvodnih grebenov, ki bi preprečevali izmenjavo vodne mase zaliva z okoliškim morjem (Karakassis, 2001).

Vsi ti dejavniki so bili slabo raziskani, prvi rezultati raziskav, ki so zajele te različnosti, so bili objavljeni po letu 1995. Tako Karakassis, 2001, omenja študije vpliva gojenja rib na kemizem vodnega stolpca (Papoutsoglou in sod., 1996), vpliva na nutrienite in plankton (Pitta in sod., 1999), vpliva na morske travnike (Delgado in sod., 1999), vpliva na hitrost akumuliranja sedimenta pod ribjimi kletkami (Karakassis in sod., 1998). Opravljena so bila prva opazovanja procesov obnavljanja bentosa po prekinitvi delovanja ribogojnic (Karakassis in sod., 1999) in raziskava vpliva na geokemijo ter združbe bentoških organizmov (MacDougal in Black, 1999; Karakassis in sod., 2000; Mazzola in sod., 2000).

V novejšem času se intenzivnost raziskav nadaljuje, predmet študij so vplivi na kemijske (nutrienti, POC in PON) in mikrobiološke parametre (Karakassis in sod., 2005, Tsapakis in sod., 2006, Pitta in sod., 2006, 2009), fitoplankton (Flander Putrle, 2011), suspendirano organsko snov (Modica in sod., 2006), na spremembe na morskem dnu (Karakassis in sod., 2000, 2002; Kovač in sod., 2001; Najdek in sod., 2007), na morske cvetnice (Apostolaki in sod., 2007), na akumulacijo in disperzijo sedimentirane snovi pod kletkami (Malačič in sod., 2003; Forte, 2001; Rapp in sod., 2007). Nadaljujejo se opazovanja procesov regeneracije meiofavne po prenehanju delovanja farme (Mazzola in sod., 2000). Predmet proučevanja je tudi bilanca dušika in fosforja ter njun vpliv na ekosistem (Shahidul, 2005), izmerjeni so fluksi dušika, fosforja in silikata med sedimentom in vodo (Belias, 2007). Opazen je vedno kompleksnejši pristop k obravnavanju vplivov ribogojstva na morski ekosistem (Matijević in sod., 2009), opazna je potreba po postavitvi indikatorjev (Mirto, 2012) in poleg klasičnih indeksov (Shannon Wiener, Pielou, Margaleff, Simpson) za oceno stanja ekosistema se razvijajo kompleksnejši indeksi, npr. AMBI, MAMBI, ITI (Muxica in sod., 2005; Borja in sod., 2009). Le-ti omogočajo spremljanje sprememb v ekosistemu tako v prostorskem kot časovnem merilu. Istočasno poteka tudi razvoj modeliranja (Cromey in sod., 2002, 2005); postavljenih je bilo veliko modelov v pomoč upravljavcem pri planiranju rabe prostora in spremljanju sprememb, ki so posledica človekovih aktivnosti v okolju.

V okviru Mediteranske regije so bili pomembnejši projekti **MERAMED** (Razvoj navodil za monitoring okolja in orodij za modeliranje okoljskih vplivov akvakulture v Mediteranu), katerega rezultat je specifičen model (MERAMOD) za preučevanje vpliva na bentos. V okviru projekta **MedVeg** so bili v Španiji, Italiji, Grčiji in na Cipru proučevani vplivi akvakulture na morske travnike, predvsem na vrsto *Posidonia oceanica* (L.). Projekt **AQCESS** (Akvakultura in obalna ekonomska in socialna trajnost) je obravnaval konfliktne rabe obalnega prostora, mobilnost delovne sile kot tudi vplive delovanja akvakulture v širšem merilu. **BIOFAQs** je ovrednotil vlogo umetnih plavajočih struktur (substrata), ki bi lahko potencialno omilile vplive na vodni stolpec, del teh raziskav pa je bil opravljen tudi v Sloveniji. **SAMI** (Sinteza akvakulture in interakcij z morskim ekosistemom) je zagotovil združitev rezultatov prejšnjih projektov, vključeval pa je še pomen pomanjkanja rib in ribjega olja kot hrane. Ocenjene so bile tudi potencialne nevarnosti za ekosistem, ki izhajajo iz ribogojništva. Projekt **ECASA** (Ekosistemski pristop k trajnostni akvakulturi) je

vključeval skupno 13 držav EU, od tega je bilo 8 držav iz mediteranske regije. Rezultat je bila dolga lista kazalcev, s katerimi opišemo stanje morskega okolja v bližini ribjih kletk. V zadnjem času se iztekata še dva projekta, **SPICOSA** in **PREVENT ESCAPE**, od katerih zadnji obravnava problem pobegov gojenih rib iz kletk in njihov vpliv na morsko okolje (Karakassis, 2013). Posledica kompleksnih raziskav je veliko število objavljenih znanstvenih del, pri čemer prevladujejo tista s področja gojenja rib, približno četrtnina pa jih obravnava vpliv nasadov školjk. Več kot 80 del zajema vpliv ribogojnic na geokemijske procese in organizme na sedimentu ter v njem. Okoli 30 objavljenih prispevkov se ukvarja z nutrienti in/ali planktonom, več kot 25 člankov je v zvezi s pozejdonko in 19 jih obravnava interakcije z naravnimi populacijami rib. Podatki veljajo do leta 2013 in so povzeti po prispevku Ioannisa Karakassisa (Karakassis, 2013).

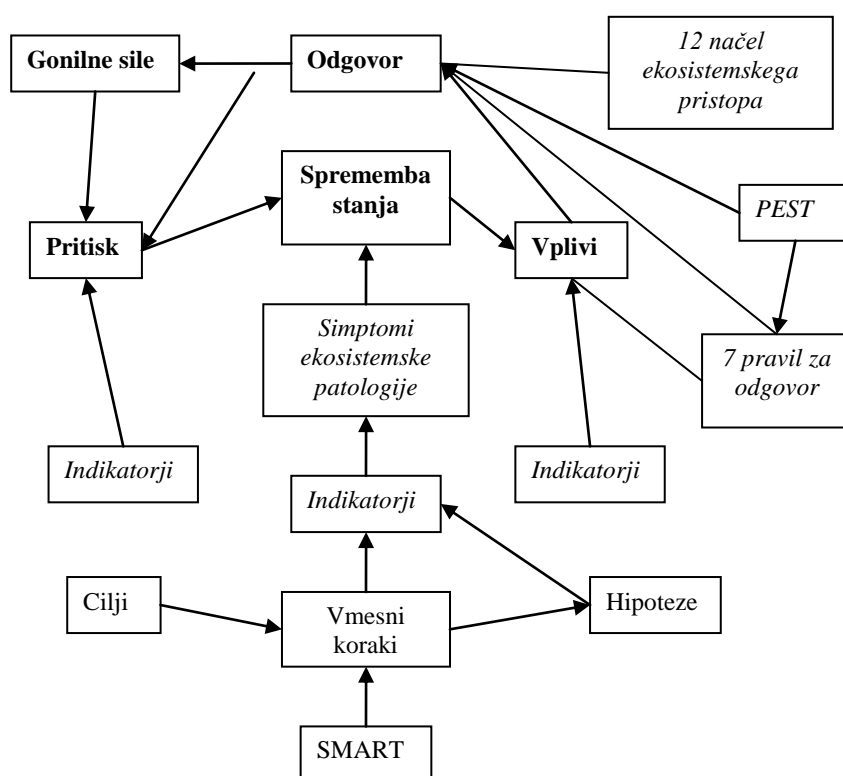
V Sloveniji so bile prve meritve vpliva morske ribogojnice na okolje opravljene leta 2000 v okviru **IAEA** (Research Contract NO: 11103/UN Environment Programme UNEP). Raziskave so potekale v Piranskem zalivu v ribogojnici tedanjega podjetja Mariva. Rezultati so pokazali lokalni vpliv ribogojnice na bentoške združbe in na geokemijsko sestavo sedimenta (Forte, 2001). V okviru projekta **BIOFAQs** iz Petega okvirnega programa EU so bile raziskane možnosti zmanjševanja vpliva efluentov iz ribjih kletk na vodni stolpec. Uporabljeni so bili mrežasti valji, na katere so se, v skladu z zakonitostmi naravnih sukcesij, naseljevali filtratorski organizmi, ki so iz vodnega okolja filtrirali tako raztopljene snovi kot tudi rastlinski in živalski plankton ter suspendirano snov.

Sledil je projekt EU iz Šestega okvirnega programa EU, **ECASA** (Ecosystem Approach for Sustainable Aquaculture).

Pristop, ki povezuje človekovo vlogo v ekosistemu s spremembami v njem ter nato človekov odgovor na te spremembe, s kratico imenujemo **DPSIR** (**D**river – **P**ressure – **S**tate change – **I**mpact – **R**esponse) in je bil sprejet s strani Evropske okoljske agencije (European Environment Agency). Socialni in gospodarski razvoj kot gonilni sili (**D**iving forces) in vse večja potreba po hrani in ostalih dobrinah v morju, ustvarjajo pritisk (**P**ressure) na okolje (izlivanje efluentov, dredžanje). Posledično se stanje okolja (**S**tate) spremeni, n. pr. v vodnem stolpcu ali bentosu. Zaradi teh sprememb pride do vpliva (**I**mpact), ki se odraža v degradiranih habitatih, zdravstvenih problemih človeške družbe,

takšen vpliv lahko prepreči migracije rib, kar zopet prizadene vir hrane. Na takšne posledice človek odgovori (**R**esponse) z različnimi ukrepi (predpisi, administrativno kontrolo), ki povratno vplivajo na gonilno silo, stanje ali vplive na okolje s prilagoditvami ali »zdravljenjem« (Gray, 2009, cit. po EEA 1999, Elliot, 2002; McLusky and Elliot 2004).

Elementi pristopa DPSIR, ki opisujejo pritisk, spremembo stanja in vpliv so v največji meri odvisni od indikatorjev. Povezavo med DPSIR in indikatorji ter cilji prikazuje Slika 3.



Slika 3: Shema povezav med pristopom DPSIR, indikatorji in vmesnimi koraki. SMART je kratica za specifičen (**S**pecific), merljiv (**M**easurable), izvedljiv (**A**chievable) in časovno omejen (**T**ime–bounded) vmesni korak za doseg cilja. PEST (analiza) je kratica za prevladujoče politične (**P**olitical), ekonomske (**E**conomic), družbene (**S**ocial) in tehnološke (**T**echnological) sile, ki delujejo v upravljanju z okoljem⁵.

Figure 3: Scheme of DPSIR approach and connections to indicators. SMART stands for **S**pecific, **M**easurable, **A**chievable and **T**ime-bounded.

⁵ Sedem pravil zahteva, da so človekovi odgovori okoljsko sprejemljivi, ekonomsko vzdržni, tehnološko izvedljivi, družbeno zaželjeni ali vsaj znosni, administrativno izvedljivi, zakonsko dovoljeni in politično primerni.

Dvanajst načel ekostemskega pristopa je definiranih v Konvenciji Združenih narodov o biološki diverziteti, Convention on Biological Diversity (prirejeno po Gray, 2009, cit. po Elliot in sod., 2006).

2.2 INDIKATORJI

Indikator = kazalec je pojem, ki povzema oz. združuje raznovrstne podatke in torej poenostavlja informacijo. Osnovan mora biti na znanstvenih spoznanjih ali statističnih izračunih ter mora upravljalcem prostora in širši javnosti zagotavljati jasno sporočilo.

Funkcije okoljskih kazalcev so štiri:

- poenostavljanje glede na siceršnjo zapletenost ekosistemov,
- kvantificiranje (lahko jih merimo),
- standardiziranje (uporabni so na več lokacijah in so medsebojno primerljivi),
- komuniciranje (morajo biti razumljivi zainteresiranim skupinam).

Idealen indikator ustreza naslednjim zahtevam in je:

- znanstveno – raziskovalno utemeljen,
- lahko razumljiv,
- pokaže trende v času,
- občutljiv na spremembe, ki naj bi jih merili,
- merljiv in ga je možno nadgrajevati,
- podatki so že na voljo,
- stroškovno ugoden.

Okoljski kazalec je mišljen kot meritev posamične lastnosti okolja, ki lahko samostojno ali v kombinaciji z več drugimi dejavniki poda znanstveno uporabno informacijo o stanju in trendih v kvaliteti okolja (Forte in sod., 2007).

Enostavni kazalci (glede na število parametrov) v vodnem stolpu so prosojnost vode (meritev s Secchi diskom), koncentracije nutrientov, klorofila *a*, feopigmentov, nasičenost z raztopljenim kisikom, bakterijska abundanca in produkcija, suspendirani organski ogljik (organska komponenta suspendirane snovi⁶), celotna suspendirana snov. Za te kazalce je značilno, da so v precejšnji meri odvisni od hitrosti tokov. V bolj ali manj stagnantnih vodah (zaprti zalivi), kjer je tokovanje šibko, se v okolici kletke nutrienti zadržujejo dlje

⁶ Za skupno suspendirano snov je v rabi več izrazov oz. kratic: seston, TSS (Total Suspended Solids), TPM (Total Particulate Matter), TSM (Total Suspended Matter).

časa, kar posledično privede do povečane abundance in biomase fitoplanktona, le-ta prične toniti, s tem pa se zmanjša prozornost vodnega stolpca (»autoshading«) (Katavić, 2003), kar v globljih slojih povzroči odmiranje fitoplanktonskih celic, zmanjšano produkcijo kisika. Ko se prične še razgradnja organske snovi, se najprej pojavi hipoksija (konc. raztopljenega kisika < 2 ml/l), tej pa sledi anoksija, ko kisika praktično ni več.

Bolj kompleksni kazalci so indeksi, kjer je več parametrov združenih v skupen indeks. TRIx indeks upošteva koncentracijo klorofila *a*, anorganski dušik (N_{in}), totalni fosfor (P-tot) in absolutno vrednost raztopljenega kisika (ABS(DO)) (Vollenweider in sod., 1998). Formula je nastavljena tako, da se dobljene vrednosti gibljejo med 1 in 10, pri čemer višja vrednost pomeni višjo stopnjo trofičnosti.

$$TRIX = (\log(\text{Chl } a \times \text{ABS}(\%DO) \times N_{in} \times \text{P-tot}) - (-1,5))/1,2$$

Kazalci sprememb na morskem dnu so lahko enostavni ali bolj kompleksni (indeksi). Eden od bolj enostavnih je opazovanje barve sedimenta; površina z organsko snovjo obremenjenega sedimenta je črna.



Slika 4: Barva površinskega sedimenta: levo – sediment pod kletko, desno – sediment na 100 m oddaljeni točki (iz Grego, 2010).

Figure 4: The colour of the surface sediment: left – just under the cage, right – sediment 100 m from the cage. (from Grego, 2010).

V anoksičnih sedimentih so na površini opazne bele prevleke, ki jih formira bakterija *Beggiatoa*. Takšne prevleke preprečijo prehod kisika v sediment (Katavić, 2003). V površinskem sloju sedimenta (od 0-2 cm globine) so pogosto uporabljeni naslednji kazalci:

celotni fosfor, celotni organski ogljik, celotni dušik, redoks potencial, mikrofitobentos (klorofil *a*, feopigmenti), nitrifikacijske bakterije.

Večkrat uporabljen kazalec je tudi merjenje hitrosti sedimentacije, ker suspendirana snov iz ribjih kletk prispeva k višjim vrednostim izmerjenih hitrosti (ECASA TOOLBOX). Večina teh kazalcev je primernih, če njihove vrednosti primerjamo z referenčnimi točkami.

Zgoraj omenjeni procesi povzročajo spremembe tudi v življenjskih združbah. Razvitih je bilo kar nekaj indeksov, ki opisujejo spremembe v bentoških združbah makrofavne: AMBI (Azti Marine Biotic Index), BFI (Biomass Fractionation Index), ITI (Infaunal Trophic Index), PRESENCE (Macrofauna presence).

Vplive na spremembe v strukturi in abundanci meiofavne pokaže več kazalcev, ki so v osnovi diverzitetni indeksi (Shannon-Wiener, Simpson ...). Razlike se kažejo tako na nivoju skupin kot znotraj skupine ceponožcev (Grego, 2010).

2.3 ZAKONODAJA

Marikultura je dejavnost, ki posega v naravno okolje in v njem sproža motnje. Morje je naravna dobrina in kot takšna lastnina države. Le-ta z njim upravlja z izdajanjem predpisov. Končni akt, s katerim podeli pravico rabe morskoga prostora ribogojnici, je koncesijska pogodba. Zakonske osnove najdemo že v Ustavi RS, v poglavju III. Gospodarska in socialna razmerja. 67. člen govori o lastnini, ki mora biti rabljena na način, da je ohranjena njena ekološka funkcija; podrobneje je ta člen razdelan v 16. členu Zakona o varstvu okolja (Ur.l. RS št.39/2006). 70. člen tega zakona pa omogoča podeljevanje posebne pravice uporabe javnega dobrega. Zakon v IX. poglavju (členi 164,165 in 166) tudi natančneje obravnava koncesije na naravnih dobrinah.

Zakon o vodah (Ur.l. RS 67/2002) predvideva dve obliki pridobitve vodne pravice: vodno dovoljenje in koncesijo. Za proizvodnjo vodnih organizmov za trg je potrebna koncesija (136. člen). Podrobneje ureja vprašanja koncesije v členih 137, 138, 139 in od 142. do 149. člena. Ta Zakon ureja tudi inšpekcijski nadzor (175. čl).

Zakon o ohranjanju narave (Ur. l. RS 96/2004) neposredno ne ureja podeljevanja koncesij za marikulturo, vsebuje pa nekatere člene, ki posredno posegajo tudi na področje gojenja morskih organizmov (21.,43., 44., 66., 105., 160. in 172. člen).

Vlada R Slovenije je v zvezi z marikulturo izdala več uredb, ki predstavljajo koncesijski akt. Večina ureja področje školjkarstva, Uredba o koncesijah za rabo vode za vzrejo avtohtonih morskih rib na območju Piranskega zaliva⁷ pa gojenje rib. Trenutno je sklenjena ena koncesijska pogodba.

⁷ Angleški prevod te uredbe ima v naslovu hudo strokovno napako ... »salmonid aquaculture« ... se nanaša na vzgojo salmonidnih vrst (predvsem gre za lososa). Teh vrst v Jadranskem morju ne gojimo; če bi jih, pa ne bi bile avtohtone.

3 METODE

3.1 OPIS LOKACIJE

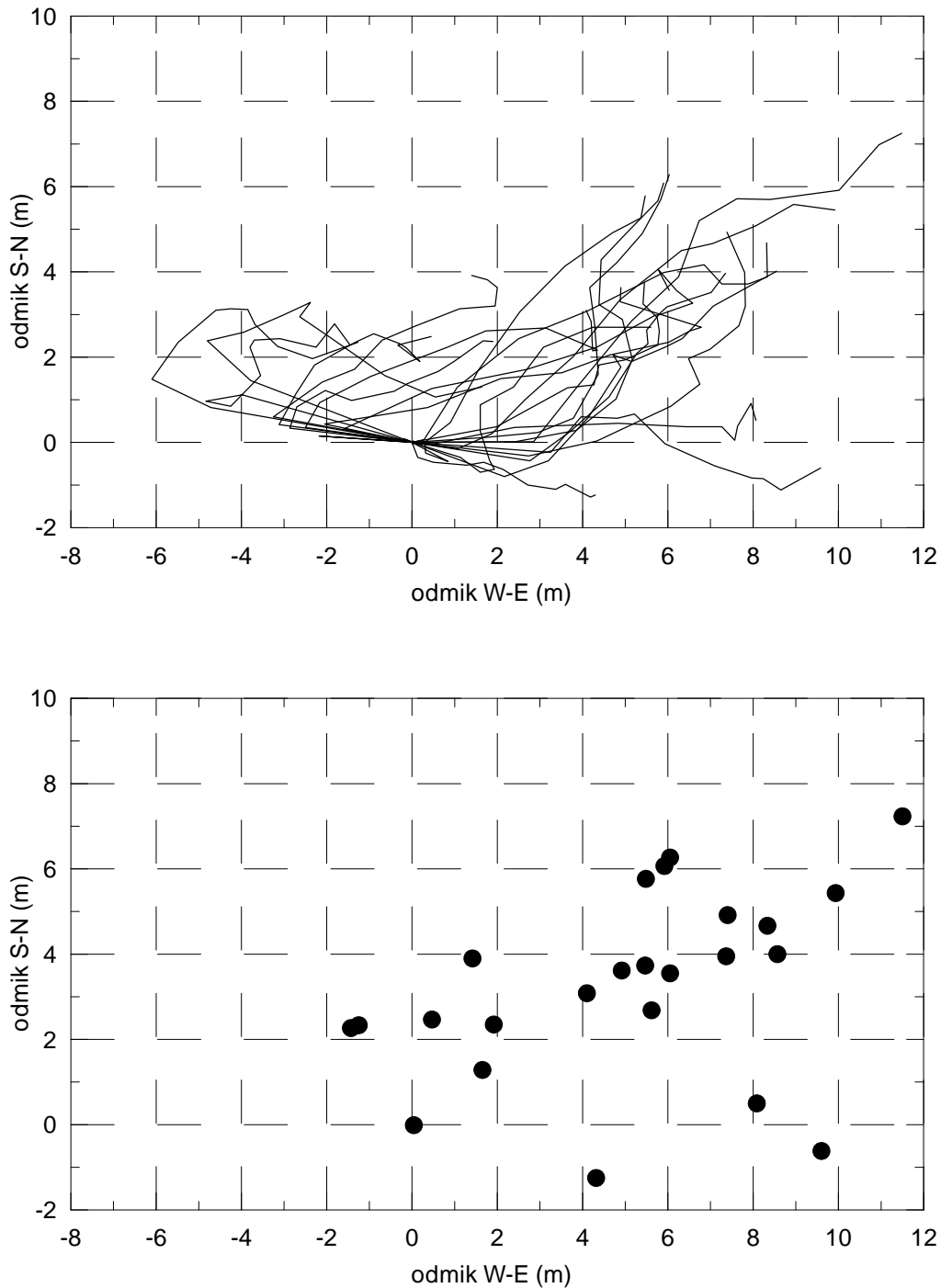
Ribogojnici sta bili locirani v notranjosti Piranskega zaliva (Slika 5).



Slika 5 : Lokacija marikulture v Piranskem zalivu (Forte in sod., 2007, prirejeno po navtični karti).

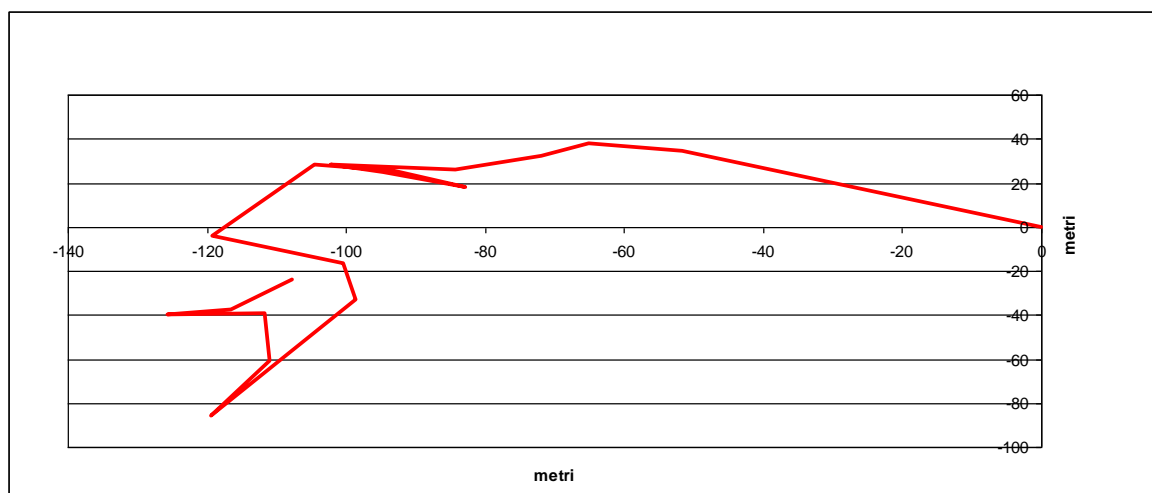
Figure 5: Location of mariculture in Piran Bay (Forte et al., 2007, adapted from a nautical map).

Volumen zaliva je $1,06 \cdot 10^8 \text{ m}^3$, čas izmenjave vodne mase (flushing time) je $1,5 \pm 0,2$ dneva (Malačič in sod., 2014). Vodna masa lahko opiše zelo različne poti in delci dosežejo različne oddaljenosti od kletk (Slika 6, Slika 7).



Slika 6: Zgoraj: Simulacija poti posameznih peletov skozi vodni stolpec. Vsaka krivulja predstavlja svoj čas (uro). Datum: 21. 6. 2000. Spodaj: končni položaji peletov, vsaka pika predstavlja točko, na katero bi padali peleti, če bi bile ribe hranjene vsako uro. Datum: 21. 6. 2000. (Forte, 2001).

Figure 6: Above: Trajectories of fish food driven by currents for selected 24-hour measurements. Each curve represents one hour. Date 21th June, 2000. Below: Final position of faecal pellets on the sea bed. (Forte, 2001).



Slika 7: Pot, ki jo je opravila vodna masa od točke 0 v treh urah po hranjenju rib. Datum: 18. 10. 2005, globina = 5 m. Hranjenje se je začelo ob 12. uri (LST).

Figure 7: Trajectory of the fish food 3 hours from the feeding. Date: 18th October, 2005, depth = 5 m. Feeding started at 12.00 (LST).

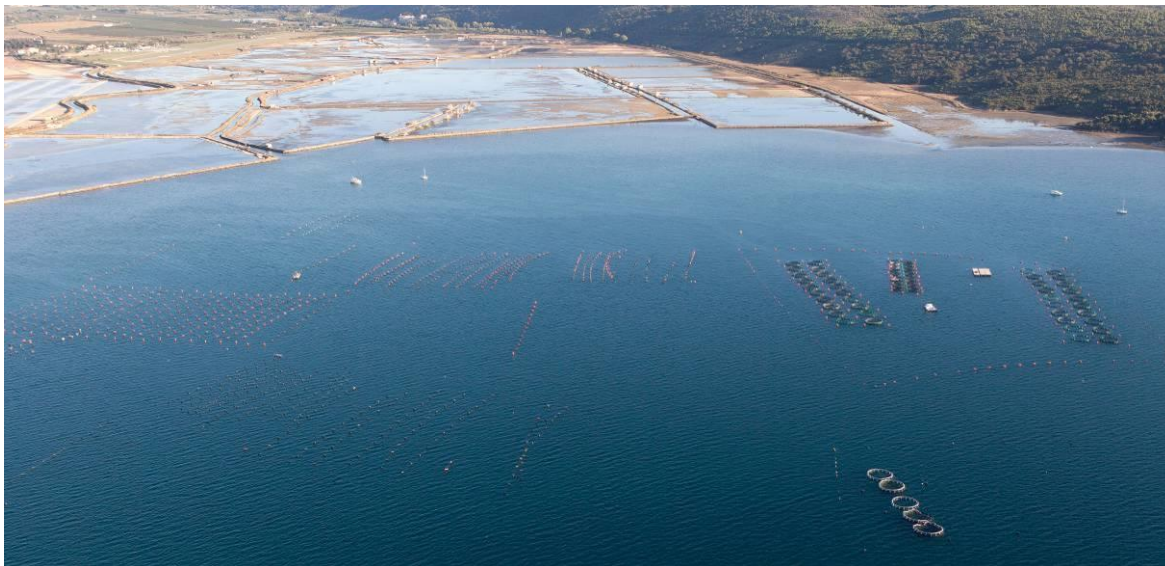
Kletke so od ustja reke Dragonje oddaljene približno 1,5 km. Dragonja je hudourniškega značaja, zato občasno njen vpliv, predvsem na površini, seže do farme. V neposredni bližini je gojišče školjk klapavic (*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)). Globina vode je cca 13 m, sediment sestavlja 30 % peskov, 55 % melja in 15 % gline (Ogorelec in sod., 1991). Temperatura letno niha med 6 in 26 °C, slanost se giblje od 36 – 38 PSU. Prezračenost vodnega stolpca je zaradi cirkulacije vodnih mas zagotovljena. TRIX indeks⁸ kaže vrednosti med 6 in 4,8, kar pomeni mezotrofno do oligotrofno stanje. Občasno prihaja do cvetenja toksičnih vrst fitoplanktona, predvsem vrst iz rodov *Dinophysis* in *Alexandrium*.

Za to območje je značilna združba mehkega dna z naslednjo sestavo: Polychaeta 67,1 %, Mollusca 19,2 %, Crustacea 2,2 %, Echinodermata 10,1 %, ostalih organizmov je 1,4 %.

Občasno se v okolici kletk pojavljajo velike pliskavke, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), viški hrane pa privabijo tudi veliko vrst rib.

V bližini kletk na dnu ni cvetnic in makrofitskih alg.

⁸ TRIX indeks je bil izračunan na osnovi več deset tisoč podatkov pridobljenih ob obalah Emilie-Romagne v Italiji. Njegova uporaba je v naših razmerah nekoliko nezanesljiva.



Slika 8: Lokacija marikulture: desno – ribje kletke, levo – školjčišče, v ozadju - Sečoveljske soline, desno zgoraj – izliv Dragonje. Foto: Jaka Jeraša, 2013.

Figure 8: Location of the mariculture: right – finfish cages, left – mussel culture, behind – Sečovlje salt pans, right above – Dragonja river estuary. Photo: Jaka Jeraša, 2013.

S ciljem ugotoviti, kateri kazalci so primerni za opisovanje vpliva hranjenja rib na okolico ribogojnice, smo opravili tri terenska vzorčenja:

1. 18. oktobra, leta 2005, na ribogojnici Ribič⁹
2. 12. aprila, leta 2006, na ribogojnici Fonda¹⁰
3. 18. julija, leta 2006, na ribogojnici Fonda

3.2 OPIS RIBOGOJNICE

V Piranskem zalivu je bilo vzpostavljenih več ribogojnic, ki so imele različne lastnike, upravljanje pa je bilo dokaj nesistematično. Gojili so brancine, *Dicentrarchus labrax* in orade, *Sparus auratus*. V času izvajanja projekta je ribogojnica Ribič propadla, zato je bilo drugo leto terenskega dela opravljeno na ribogojnici Fonda, ki je od prve oddaljena približno 400 m. Za gojenje izključno brancina (Slika 10, Slika 11) uporablja ribogojnica plavajoče kletke okrogle oblike, večina ima premer 12 m (20), nekaj pa 8 m. Postavljene so v treh vrstah, razdalja med kletkami je 4-8 m. Med vrstami je razdalja 50 m (Slika 9).

⁹ V prvem letu smo iskali kazalce, ki bi pokazali razlike v izmerjenih vrednostih parametrov v vodnem stolpu pred in po hranjenju rib. Neposrednih primerjav med letoma 2005 in 2006 ni.

¹⁰ Dejansko je bilo v letu 2006 izvedenih več vzorčenj na več lokacijah, vendar to delo teh podatkov ne obravnava.



Slika 9: Ribogojnica Fonda. Foto: Borut Furlan, 2013.

Figure 9: Finfish farm Fonda. Photo: Borut Furlan, 2013.

Skupno ribogojnica pokriva površino 40.000 m². Začetna teža vseljenih rib je 5-8 g, prodajna teža je 500-1000 g (po 4 letih). Hrano sestavljajo maščobe 18-22 %, beljakovine 43-47 %, ogljikovi hidrati 16-17 % in minerali 7,3-7,5 %. Hitrost tonjenja hrane je po podatkih ribogojcev 5-15 cm s⁻¹, hitrost tonjenja fecesa pa 0,6 cm s⁻¹. Razmerje hrana/prirast (FCR) je 2-2,4. V času raziskav je bila proizvodnja okoli 120 ton brancinov na leto.



Slika 10: Brancin *Dicentrarchus labrax* v naravnem okolju. Foto: Tihomir Makovec, 2013.

Figure 10: Sea bass *Dicentrarchus labrax* in the natural environment. Photo: Tihomir Makovec, 2013.



Slika 11: Brancini v kletki. Foto: Oskar Musić, 2013.

Figure 11: Sea bass in the cage. Photo: Oskar Musić, 2013.

3.3 VZORČENJE

3.3.1 Vzorčenje v vodnem stolpcu

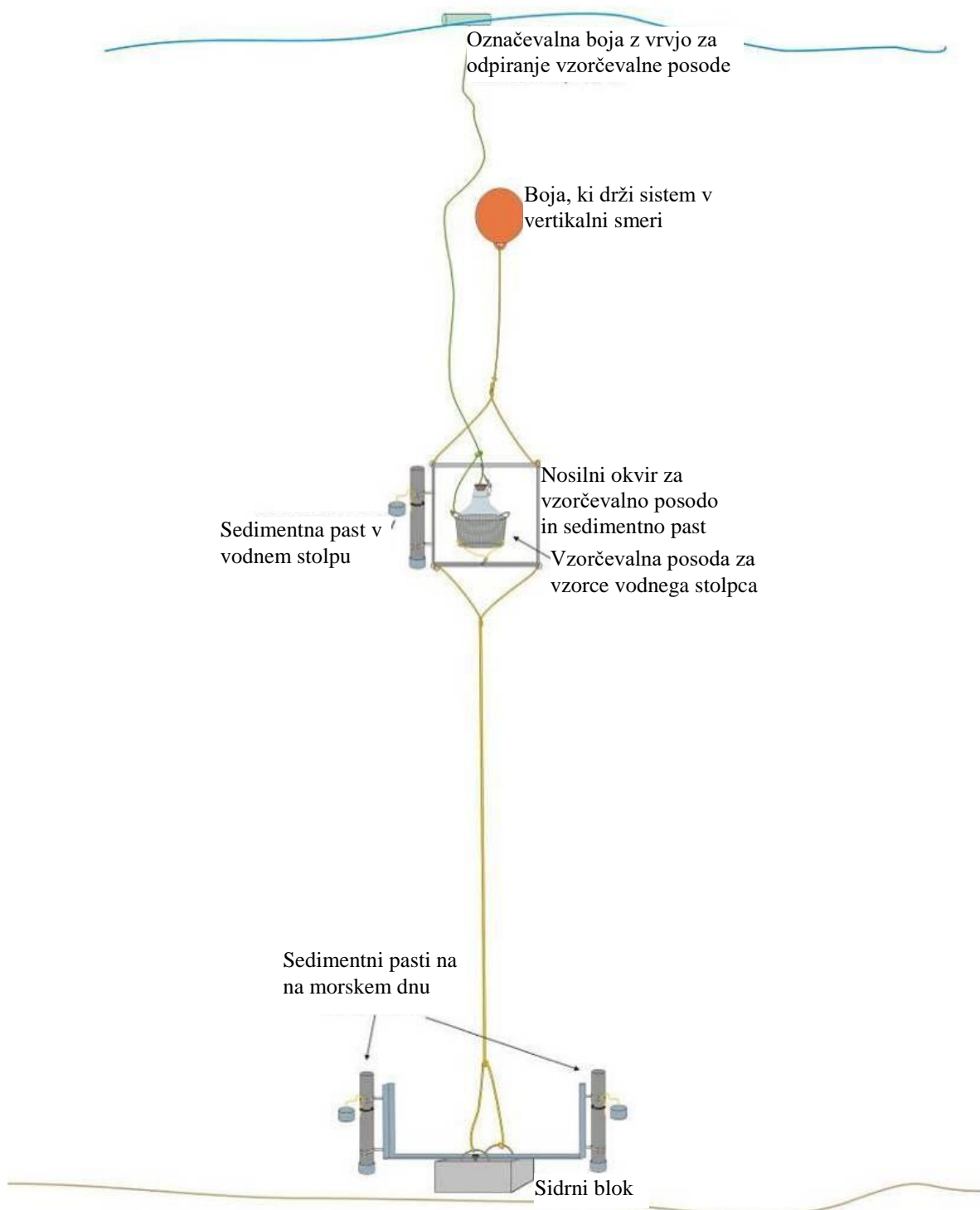
3.3.1.1 Vzorčenje vode s steklenimi posodami

Med prvim vzorčenjem smo vzpostavili mrežo vzorčevalnih točk v vodnem stolpcu okoli kletke in razvili metodo istočasnega vzorčenja. Ena od točk je bila v centru kletke, pod obodom (približno 8 m od centra) je bilo enakomerno razporejenih 6 točk, začetna je bila v smeri severa, nato so si sledile na vsakih 60°. Na oddaljenosti 20 m od centra kletke je bilo razporejenih še šest merilnih mest. Sistem za istočasno vzorčenje na več različnih lokacijah je bil sestavljen iz sidrnega bloka, na katerem je bil nosilec sedimentnih pasti. Na sidro je bila pritrjena nerjaveča jeklena pletenica, ki jo je držala boja. Le-ta je bila pod površino vode, približno 1 m globoko. S takšno postavitvijo je bilo preprečeno premikanje sistema zaradi valov. Pet metrov pod površino je bil na pletenico pritrjen okvir, v katerega je bila vpeta petlitrška steklenica za zajemanje vzorca vode. Zaprta je bila z zamaškom, ki je bil povezan s plovcem na površini. Na istem sistemu so bile pritrjene tudi sedimentne pasti, in sicer na 5 m globine in na dnu (Slika 12). Ob zvočnem znaku so prostovoljci (plavalci, potapljači) istočasno odprli vseh 13 steklenic. Tako zajete vzorce so nato potapljači dvignili na površino.

Vzorčili smo tiste parametre, za katere smo predpostavili, da se bodo njihove vrednosti razlikovale od vrednosti na referenčnih točkah, ali da se bodo vrednosti spremenile zaradi izločanja metabolitov v času 3 ur po hranjenju in da so se vrednosti nekaterih parametrov (celotni organski ogljik) v času od nastanka ribogojnice spremenile. Vzorčili smo fizikalne, kemijske in biološke parametre.

Kazalcev, ki pokažejo vplive na vodni stolpec je veliko, osredotočili smo se na naslednje:

1. količino celotne suspendirane snovi (TSM),
2. abundanco bakterij in bakterijsko produkcijo organskega ogljika,
3. koncentracijo nutrientov in
4. pigmente v fitoplanktonu.



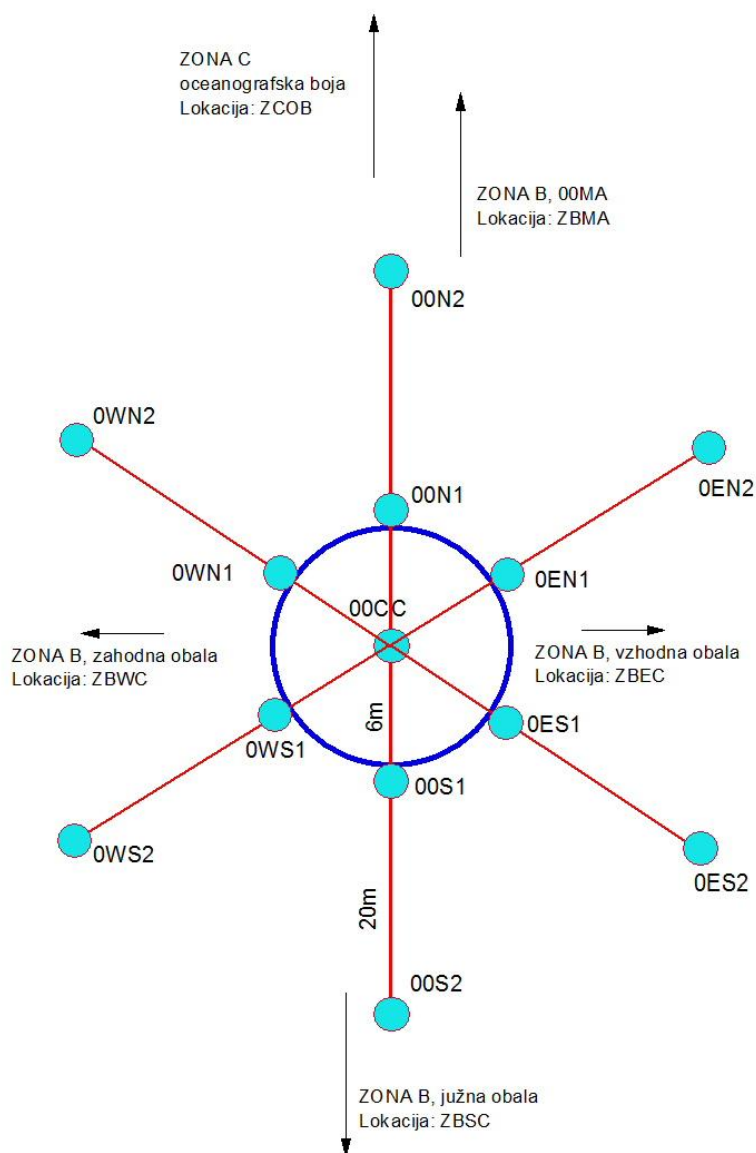
Slika 12: Sistem za vzorčenje v vodnem stolpcu na 5 m in s sedimentnimi pastmi na 5 m in na dnu.

Figure 12: System for sampling in the water column at 5 m and sediment traps at 5 m and on the bottom.

Okoli kletke je bilo postavljenih 12 sistemov. Vzorec iz centra kletke je vzel potapljač. (Slika 13). Koordinate vseh merilnih točk so podane v preglednici (Preglednica 2).

Preglednica 2: Koordinate vseh vzorčevalnih točk.
 Table 2: Sampling locations coordinates.

	Točka vzorčenja	Zemljepisna dolžina	Zemljepisna širina
Ribogojnica Ribič, oktober 2005	00CC	13° 34,724'	45° 29,417'
	00N1	13° 34,724'	45° 29,420'
	00N2	13° 34,724'	45° 29,428'
	0EN1	13° 34,728'	45° 29,418'
	0EN2	13° 34,737'	45° 29,422'
	0ES1	13° 34,728'	45° 29,415'
	0ES2	13° 34,737'	45° 29,412'
	00S1	13° 34,724'	45° 29,414'
	00S2	13° 34,724'	45° 29,406'
	0WS1	13° 34,720'	45° 29,415'
	0WS2	13° 34,711'	45° 29,411'
	0WN1	13° 34,720'	45° 29,418'
	0WN2	13° 34,710'	45° 29,422'
	ZBMA	13° 34,200'	45° 30,200'
	ZCOB	13° 33,032'	45° 32,928'
	ZBWC	13° 34,150'	45° 29,225'
	ZBSC	13° 35,050'	45° 28,967'
ZBEC	13° 34,900'	45° 29,633'	
Ribogojnica Fonda, april, julij 2006	F0CC	13° 34,838'	45° 29,200'
	F0N1	13° 34,838'	45° 29,203'
	F0N2	13° 34,838'	45° 29,211'
	FEN1	13° 34,842'	45° 29,202'
	FEN2	13° 34,851'	45° 29,206'
	FEN3	13° 34,964'	45° 29,287'
	FES1	13° 34,842'	45° 29,198'
	FES2	13° 34,851'	45° 29,195'
	F0S1	13° 34,838'	45° 29,197'
	F0S2	13° 34,838'	45° 29,189'
	F0S3	13° 34,950'	45° 29,161'
	FWS1	13° 34,834'	45° 29,198'
	FWS2	13° 34,825'	45° 29,194'
	FWN1	13° 34,834'	45° 29,202'
	FWN2	13° 34,825'	45° 29,205'
FWN3	13° 34,664'	45° 29,178'	



Slika 13: Shema razporeditve vzorčevalnih točk v ribogojnici Ribič leta 2005.

Figure 13: Scheme of the sampling locations at the finfish farm Ribič, 2005.

Ta način vzorčenja je bil v vodnem stolpcu v neposredni okolici kletke izveden 18. oktobra 2005, in sicer neposredno pred hranjenjem in 3 ure po hranjenju rib.

3.3.1.2 Vzorčenje s sedimentnimi pastmi

Sistem za vzorčenje v vodnem stolpcu je vključeval tudi sedimentne pasti. En par spodaj zaprtih cevi je bil pritrjen na kovinski okvir 5 m pod površino, in sicer pri vseh vzorčevalnih sistemih okoli kletke. Poleg sistemov okoli kletke smo postavili še sisteme na oddaljenih merilnih točkah (ZBMA, ZBEC, ZBSC, ZBWC, ZCOB), kjer pa so bile pasti

pritrjene na sidrni blok na dnu, kjer so bile postavljene tudi pasti na točkah 00N1, 00N2, 00S1, 00S2. S tem smo naredili transekt v smeri 00S2 -> 00S1 -> 00N1 -> 00N2 -> ZBMA -> ZCOB, od zunanjega roba predvidenega vpliva do točke ZCOB, ki leži izven zaliva. Tudi na točkah, kjer smo merili hitrost sedimentacije na dnu, sta bili postavljeni po dve pasti. Ustji spodnjih pasti sta bili 80 cm nad dnom. Vse cevi so merile v dolžino 50 cm, njihov premer pa 7 cm. Pasti so bile sedimentaciji izpostavljene 24 ur.

3.3.2 Vzorčenje površine sedimenta

Vzorčenja površine sedimenta so opravili potapljači. Uporabljali so jedrnike (vzorčevalne cevi) s premerom 36 mm in s površino 10 cm². Za transport velikega števila korerjev so bile izdelane posebne škatle (Slika 14), narejen je bil tudi tulec, ki je omogočal manipulacijo večjega števila zamaškov za korerje tudi v razmerah ničelne vidljivosti (Slika 15). Za kasnejšo analizo klorofila *a* in feopigmentov smo vzeli zgornjih 5 mm sedimenta.



Slika 14: Transportna škatla za korerje in tulec za zamaške, v katerem se zamaški sami pomikajo proti odprtini na vrhu, ne morejo pa uiti iz cevi¹¹.

Figure 14: Transportation box for corers and the tube for the rubber or cork stoppers; the stoppers move up by themselves but they can't escape from the tube. Developed for the work in the case of no visibility.

¹¹ Kadar mora potapljač vzeti veliko vzorcev z jedrniki, zamaške pa ima v vrečki, jih v pogojih ničelne vidljivosti (zaradi dvigovanja mulja) veliko izgubi. Z novim sistemom lahko dela tudi na otip.

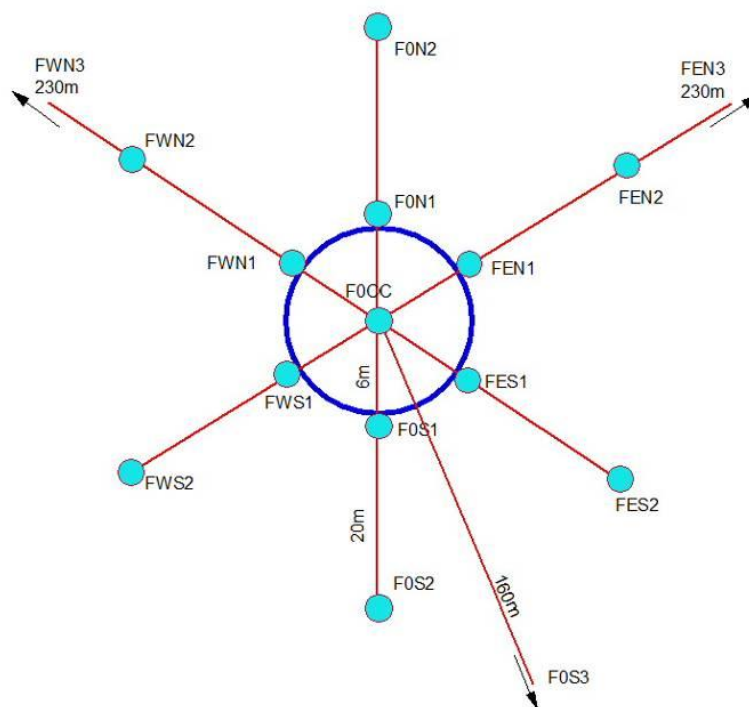


Slika 15: Detajl cevi za transport zamaškov.

Figure 15: Detail of the storage for the stoppers.

3.3.3 Vzorčenje v sedimentu

Vzorčenje parametrov v sedimentu so opravili potapljači. Jedrniki so se razlikovali med seboj v odvisnosti od parametrov: za kasnejše analize meiofavne so bili uporabljeni jedrniki premera 36 mm, iz katerih smo vzeli prvih 5 cm sedimenta. Porne vode smo vzorčili z jedrniki z notranjim premerom 46 mm. Ta sediment je bil v laboratoriju razrezan na sloje, debele 2 cm. Za analize makrofavne in meritve redoks potenciala smo vzorčili z jedrniki s premerom 100 mm. Vzorčenja so bila izvedena v oktobru 2005 v ribogojnici Ribič in v aprilu ter juliju leta 2006 v ribogojnici Fonda. Podatki so bili analizirani samo za leto 2006 (april in julij) (Slika 16).



Slika 16: Shema razporeditve vzorčevalnih točk v ribogojnici Fonda leta 2006.

Figure 16: The scheme of the sampling locations at the finfish farm Fonda in 2006.

3.3.4 Meritve tokov

Tokove smo merili s tokomerom Nortek NDP 500kHz, ki je bil postavljen na morsko dno približno 100 m od kletke. Meritve so v času vzorčenja potekale kontinuirano, za izračun smeri in jakosti toka smo upoštevali deset minutna povprečja in globino 5 m.

3.4 LABORATORIJSKE MERITVE

V laboratoriju smo za analizo vzorcev vodnega stolpca in sedimenta uporabljali standardne metode.

3.4.1 Protokol za mikrofitobentos

Z batom porinemo cca 5 mm vzorca iz korerja, ga odrežemo in shranimo v stekleničko na hladno. Potem dodamo 20 ml acetona in obdelujemo 1 minuto z ultrasonično palčko. Pustimo stati preko noči. Centrifugiramo 15 minut na 5000 rpm. Klorofil *a* izmerimo spektrofotometrično po standardni metodi na dveh valovnih dolžinah. Vzorec zakisamo in ponovimo meritev za feopigmente.

Poseben problem predstavlja meritev redoks potenciala, saj lahko elektroda, ki prodira skozi sediment v korerju, meritev kontaminira s kisikom. Zato smo razvili prenosno zložljivo komoro. Vanjo smo na dvižni podstavek postavili jedrnik z vzorcem, jo zaprli in nato zrak izpodrinili z dušikom. Elektrodo instrumenta (Mettler Toledo, tip SevenGo) smo vpeli v pokrov komore, korer pa s premičnim podstavkom premikali proti elektrodi. En obrat kolesca za pomik je povzročil dvig jedrnika za 0,3 mm, kar je omogočilo natančno profiliranje sedimenta (Slika 17).

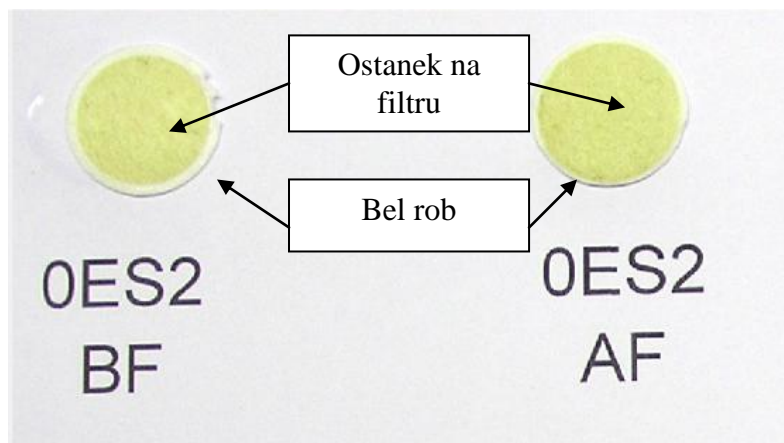


Slika 17: Komora za merjenje redoks potenciala. Foto: Tihomir Makovec, 2006.

Figure 17: Chamber for redox potential measurement, suitable for the transport. Photo: Tihomir Makovec, 2006.

3.4.2 Obdelava obarvanosti filtrov s pomočjo programa Corel Photo-Paint

Po zaključeni filtraciji 1 litra morske vode (za različne namene) ostanejo na filtru delci, ki so preveliki, da bi prešli skozi filter. Ti delci tvorijo okrogel odtis, ki je na mestu, kjer je bil filter s čašo pritrjen na filtrirni nastavek, obdan z belim krogom (Slika 18).

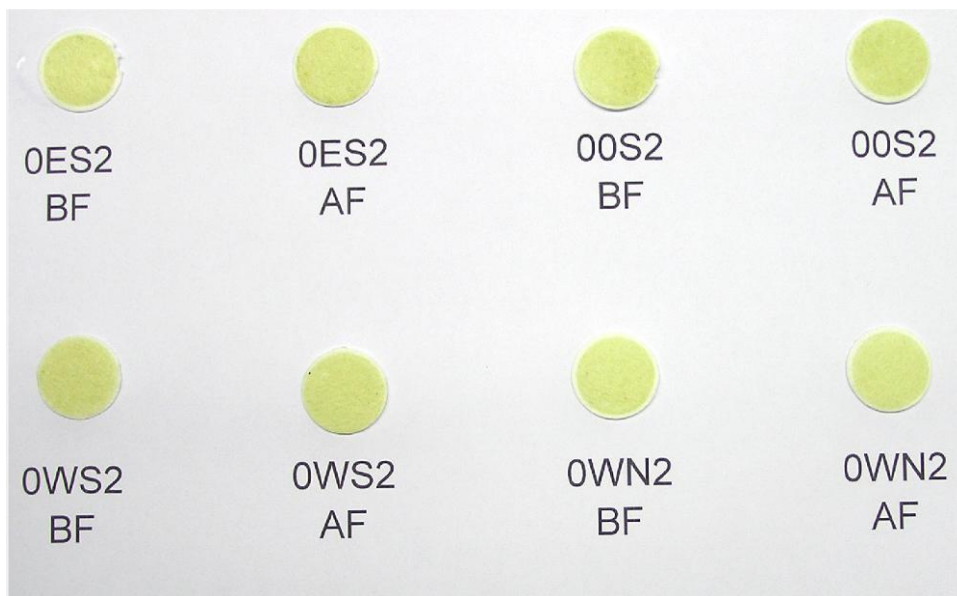


Slika 18: Primer obarvanosti filtrov z vzorčevalne točke 0ES2 pred hranjenjem (BF) in po (AF) hranjenju rib.

Figure 18: An example of filters; 0ES2 is location, BF stands for **B**efore **F**eeding and AF stands for **A**fter **F**eeding.

Ta »kolobar« omogoča izbiro površine, pokrite z delci, s pomočjo čarobne palčke (magic wand). To opcijo najdemo v vseh večjih grafičnih programih (Adobe Photoshop, Corel Photo-Paint). Ko program sam izbere površino znotraj belega roba, dobimo veliko število pikslov (slikovnih pik), ki so okarakterizirani s kanali RGB (Red, Green, Blue), vsak pa je zapisan z vrednostjo med 0 in 255. Število tako označenih pikslov presega 10.000, program pa sam izračuna srednjo vrednost in standardni odklon. Možna je tudi obdelava po posameznih kanalih.

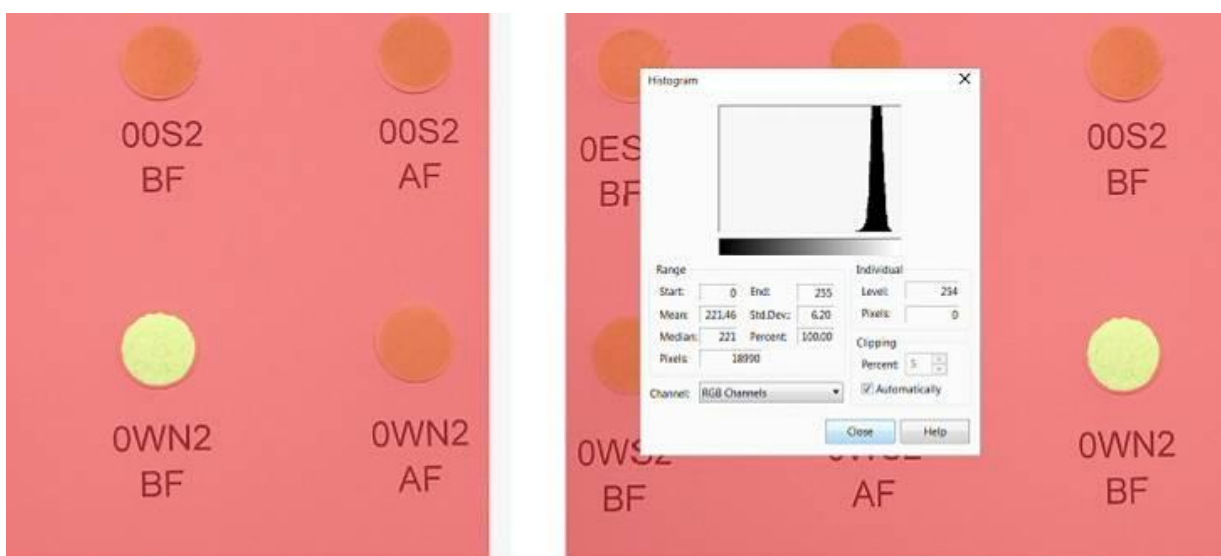
Za računalniško obdelavo barve filtrov smo vse filtre zložili na papir in jih fotografirali z digitalnim fotoaparatom (Slika 19).



Slika 19: Filtri, ki jih želimo primerjati, morajo biti zloženi na istem listu. Na tem listu so štiri primerljivi pari (v vsakem paru je en filter pred (BF) in en filter po (AF) hranjenju).

Figure 19: Filters, which will be compared, must be photographed on the same sheet of paper. On this sheet there are four pairs of filters.

Nato smo vsak filter obdelali s programom in zabeležili numerične rezultate za kasnejšo statistično obdelavo (Slika 20).



Slika 20: Rezultat obdelave filtra 0WN2 s programom Corel Photo-Paint.

Figure 20: The result after processing the picture of the filter from the location 0WN2 with Corel Photo-Paint.

To metodo smo uporabili za primerjavo barve filtrov v vzorcih, ki so bili vzeti pred in po hranjenju rib.

Razlikovanje barve filtrov smo izvedli tudi z vizualnim opazovanjem. Devetintridesetim osebam smo razdelili fotografije filtrov, ki so bili organizirani po parih (pred in po hranjenju), pet filtrov pa je bilo razvrščenih po transektu od zunanje točke (ZCOB) proti notranjosti. Opazovalci, ki niso poznali razporeditve, so s kljukico označili temnejše filtre; po vrsti, od temnejše barve proti svetlejši pa so razporedili tudi filtre s transekta.

3.4.3 Analize

Koncentracije nitrita NO_2^- , nitrata NO_3^- , amonija (NH_4^+), ortofosfata (PO_4^{3-}), silikata (SiO_4^{4-}), smo določili s standardnimi kolorimetričnimi metodami (Grasshoff, 1983).

Bakterijska abundanca je bila določena po barvanju z DAPI s štetjem celic pod epifluorescentnim mikroskopom Olympus BX51 (Tinta, 2011).

Bakterijska produkcija ogljika je bila izmerjena po metodi, opisani v doktorski disertaciji (Tinta, 2011).

Celotna suspendirana snov (TSM) je bila izmerjena po filtraciji skozi Whatman GF/F stekleni filter, ki je bil predhodno žgan 3 ure pri 480 °C. Ostanek na filtru je bil večkrat spran z destilirano vodo, liofiliziran in stehtan.

4 REZULTATI

Vzorčenje oktobra 2005

Pri prvem vzorčenju je bil eden od ciljev ugotoviti, ali je v vodnem stolpcu opazna razlika med vrednostmi parametrov pred hranjenjem in tistimi po hranjenju rib. Poleg tega smo želeli ugotoviti, ali obstaja gradient vrednosti od centra kletke proti zunanemu krogu merilnih točk.

4.1 VODNI STOLPEC

4.1.1 Nutrienti in celotna suspendirana snov

Izmerjene so bile koncentracije ortofosfata, celotnega fosforja, amonija, nitrata in celotnega dušika pred hranjenjem in tri ure po njem (Preglednica 3). Izmerili smo tudi skupno suspendirano snov.

Preglednica 3: Nutrienti v vodnem stolpcu pred in po hranjenju (PRED = pred hranjenjem, PO = 3 ure po hranjenju), globina = 5m.

Table 3: Nutrients in the water column before and after feeding (PRED = before, PO = 3 hours after feeding), depth = 5 m.

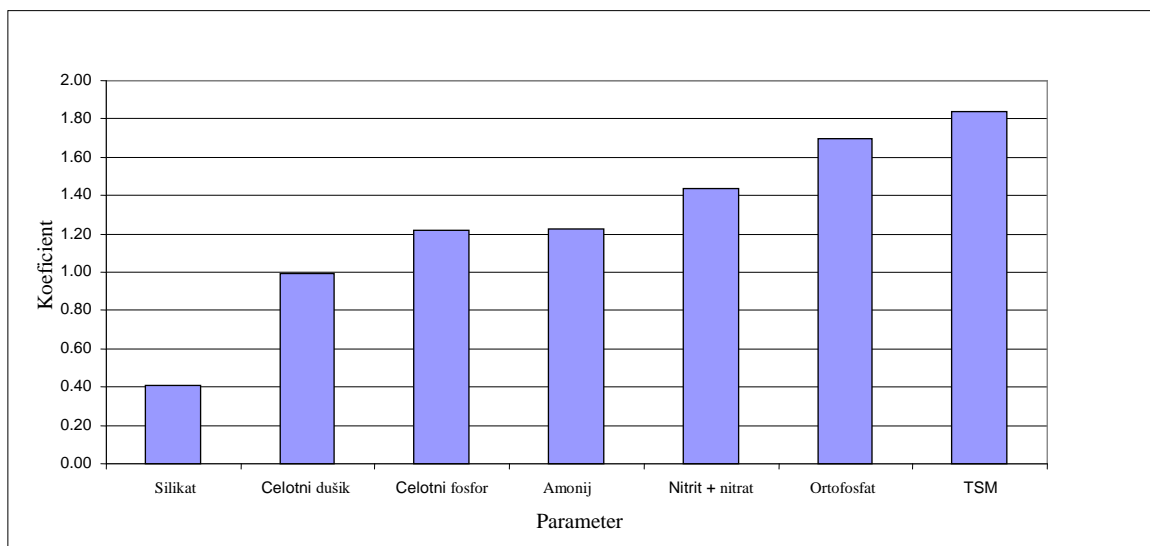
Lokacija	PRED/PO	PO ₄ ³⁻	Ptot	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ntot
		μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L
00CC	PRED	0,08	0,27	1,39	0,63	27,37
00N1	PRED	0,07	0,29	0,43	0,68	28,83
00N2	PRED	0,07	0,28	0,44	0,6	28,65
0EN1	PRED	0,08	0,28	0,34	0,51	28,3
0EN2	PRED	0,07	0,31	0,5	0,58	25,33
0ES1	PRED	0,08	0,28	0,32	0,49	33,33
0ES2	PRED	0,07	0,24	0,37	0,58	32,54
0OS1	PRED	0,07	0,27	0,26	0,45	36,17
0OS2	PRED	0,12	0,28	0,21	0,6	34,82
0WS1	PRED	0,06	0,29	0,26	0,72	34,85
0WS2	PRED	0,07	0,36	0,23	0,58	33,67
0WN1	PRED	0,07	0,33	0,37	0,68	41,3
0WN2	PRED	0,17	0,31	0,29	0,49	35,28
00CC	PO	0,16	0,38	0,5	0,72	34,89
00N1	PO	0,11	0,35	0,44	0,92	34,44
00N2	PO	0,12	0,34	0,47	0,62	32,58
0EN1	PO	0,11	0,34	0,16	0,66	34,07
0EN2	PO	0,11	0,34	0,48	0,63	30,57
0ES1	PO	0,14	0,36	1,29	0,69	35,27
0ES2	PO	0,12	0,35	0,29	0,55	43,39
0OS1	PO	0,17	0,37	0,11	0,58	33,52
0OS2	PO	0,16	0,36	0,32	0,63	28,71
0WS1	PO	0,18	0,37	0,88	0,76	27,56
0WS2	PO	0,1	0,35	0,71	0,6	25,02
0WN1	PO	0,13	0,35	1,75	1,04	29,95
0WN2	PO	0,22	0,34	0,74	0,92	26,72

Preglednica 4: Celotna suspendirana snov pred in po hranjenju, globina = 5 m.

Table 4: Total Suspended Solids before and 3 hours after feeding, depth = 5 m.

LOKACIJA	PRED HRANJENJEM	PO HRANJENJU
	TSM (mg/L)	TSM (mg/l)
00CC	1,82	2,98
00N1	2,87	3,48
00N2	1,76	2,78
0EN1	1,70	2,08
0EN2	1,68	2,40
0ES1	1,30	2,64
0ES2	1,44	2,14
0OS1	2,34	2,14
0OS2	6,10	8,15
0WS1	2,44	4,70
0WS2	2,64	5,00
0WN1	2,06	14,02
0WN2	1,65	2,30

Srednja vrednost (vse točke) celotne suspendirane snovi pred hranjenjem je bila 2,29 mg/L, po hranjenju pa 4,22 mg/L. Razlike so statistično značilne, $P = 0,01$; pokažejo se tudi med krogi, kjer je $P = 0,02$.



Slika 21: Koefficienti povečanja ali zmanjšanja koncentracij parametrov v vodnem stolpu tri ure po hranjenju.
 $K = \text{konc}_{\text{po}} / \text{konc}_{\text{pred}}$

Figure 21: Coefficients of increased or decreased concentrations of parameters in the water column 3 hours after feeding. $K = \text{conc}_{\text{po}} / \text{conc}_{\text{pred}}$.

Za statistično obdelavo smo podatke združevali po krogih, pri čemer smo lokacijo 00CC (center kletke) ločili od 1. in 2. kroga. Prvi krog zajema lokacije 00N1, 0EN1, 0ES1, 0OS1, 0WS1 in 0WN1, drugi krog pa 00N2, 0EN2, 0ES2, 0OS2, 0WS2 in 0WN2. Točke prvega kroga so pod obodom kletke.

Rezultati so pokazali, da se količina skupne suspendirane snovi po hranjenju poveča za faktor 1,84, s statistično značilno vrednostjo ($P = 0,01$), veliko povečanje kažejo še ortofosfat (faktor 1,69), celotni fosfor (faktor 1,22) in amonij (faktor 1,23). Zelo veliko zmanjšanje pa pokaže silikat (faktor 1,41), P-vrednosti statistične značilnosti so podane v preglednici (Preglednica 5). Razlike med krogi niso bile statistično značilne.

Preglednica 5: Primerjava statistično značilnih razlik med krogi in med sezonami.

Table 5: Comparison of statistically distinctive differences between the circles around the cages and the differences between the seasons.

Parameter		Df	P
Ortofosfat	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,62
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,00
Celotni fosfor	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,98
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,00
Nitrit	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,46
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,33
Nitrat	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,30
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,25
Nitrit + nitrat	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,26
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,20
Amonij	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,44
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,01
Silikat	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,92
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,00
TSM	Primerjava notranjega kroga vzorčevalnih točk z zunanjim	2	0,02
	Primerjava vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	1	0,01

4.1.2 Obarvanost filtrov

Analiza variance je pokazala, da ni statistično značilnih razlik med vzorci, vzetimi pred hranjenjem in tistimi po hranjenju, je pa zelo velika razlika med referenčnimi točkami in točkami v bližini kletke. Statistično značilna pa je tudi razlika med zunanjim in notranjim krogom vzorčevalnih točk okoli kletke (Preglednica 6).

Preglednica 6: P - vrednosti po posameznih R, G, B kanalih in njihove srednje vrednosti pred in po hranjenju ter na referenčnih točkah (ANOVA z dvema faktorjema).

Table 6: P-values, representing differences between the reference sampling points and before and after feeding for R, G, B channels and mean values of three channels (Two way ANOVA).

Primerjave		Kanal			
		RED	GREEN	BLUE	MEAN
Vrednosti na referenčnih točkah z vrednostmi ob kletki	Df	1	1	1	1
	P	0,00	0,00	0,00	0,00
Vrednosti pred hranjenjem z vrednostmi po hranjenju	Df	1	1	1	1
	P	0,13	0,13	0,37	0,16
Vrednosti 1. kroga z vrednostmi 2. kroga	Df	1	1	1	1
	P	0,04	0,02	0,07	0,03

Med posameznimi parametri (celotni dušik, celotni fosfor, TSM, ortofosfat, silikat, amonij, oksidirani anorganski dušik, razgradni produkti klorofila *a* in klorofil *a*) in obarvanostjo filtrov nismo našli povezave; še najbližja je bila zveza med razgradnimi produkti klorofila *a* in srednjo vrednostjo vseh kanalov (MEAN) RGB po hranjenju ($R = 0,53$).

Opazovanja so pokazala, da so opazovalci s prostim očesom zelo zanesljivo razlikovali filtre v bližini kletke. Vsi so enako ocenili, da so filtri po hranjenju temnejši. Z oddaljenostjo od kletke, predvsem v smeri jug, jugovzhod pa odgovori niso bili tako homogeni, največje je bilo odstopanje v smeri jug, kjer je 10 opazovalcev (od 39) označilo filtre drugače od večine. Razporeditev filtrov po transektu pa je pokazala, da so vsi opazovalci označili točko ZCOB kot najsvetlejšo, pri naslednji točki (ZBMA) so štirje odstopali od večine, pri točkah ZBEC in ZBWC pa je bilo takšnih primerov pet.

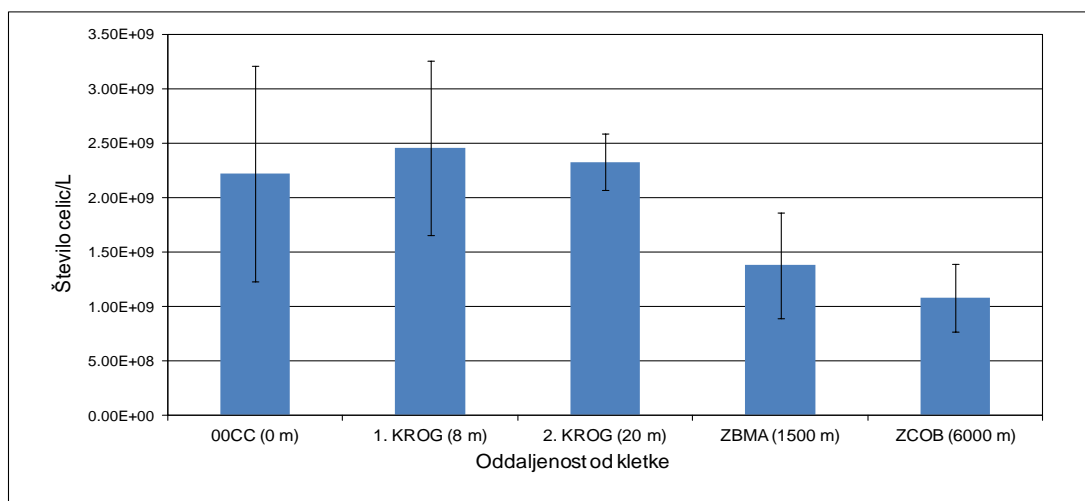
4.1.3 Bakterijska abundanca in produkcija

4.1.3.1 Časovni vidik

Bakterijska abundanca (število celic/L) je tri ure po hranjenju na nekaterih vzorčevalnih točkah pokazala višje vrednosti, na drugih pa nižje, tako da tega parametra ni mogoče obravnavati kot kazalca akutnega vpliva na mikrobno združbo. Izrazito pa je narasla bakterijska produkcija ogljika v bližini kletk, pri čemer je najvišje vrednosti dosegla v centru kletke (100 %) in njenem obrobju (150 %).

4.1.3.2 Prostorski vidik

V bližini kletke je bila abundanca ($2,4-3,1 \times 10^9$ celic L^{-1}) v primerjavi s 1500 m oddaljeno točko ZBMA 2 x višja ($1,4 \times 10^9$ celic L^{-1}), v primerjavi z ZCOB ($1,1 \times 10^9$ celic L^{-1}), ki je od farme oddaljena 6000 m, pa 2,5 x višja (Slika 22).



Slika 22: Število celic v litru vzorca, opazne so višje vrednosti v okolici kletke (prvi trije stolpci).

Figure 22: Number of cells per L, note higher values in the vicinity of the cage (first three bars).

Zelo velike razlike se pokažejo pri bakterijski produkciji ogljika, saj je v bližini kletk ($7,0 - 10,8 \mu g L^{-1} dan^{-1}$) 7 x višja kot na točki ZBMA ($1,3 - 10,8 \mu g L^{-1} dan^{-1}$) in 3 x večja kot na točki ZCOB ($1,3 - 10,8 \mu g L^{-1} dan^{-1}$).

Razmerje bakterijska produkcija/biomasa (P/B) je bilo 4,5 x višje v bližini kletke kot na točki ZBMA in 1,5 x večje kot na ZCOB.

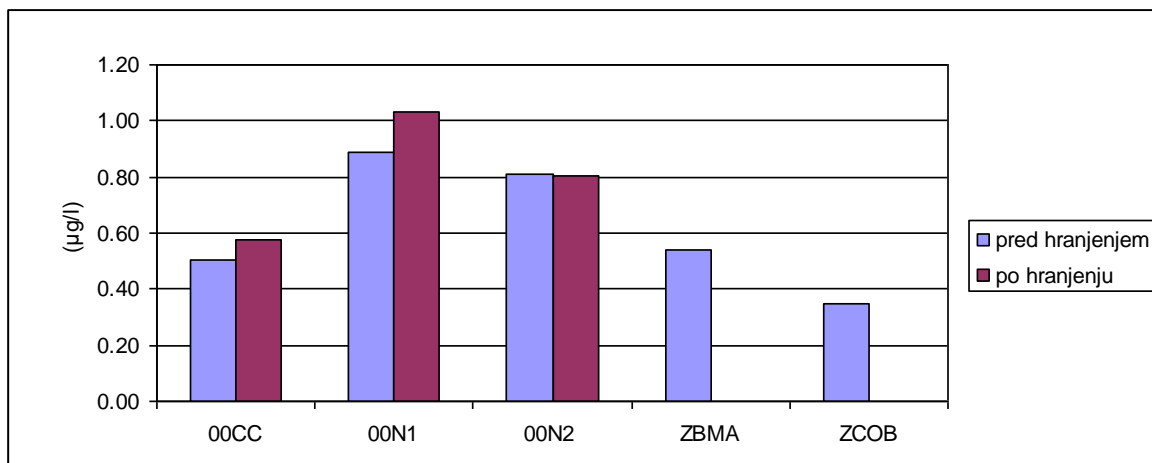
4.1.4 Pigmenti v fitoplanktonu

Fitoplanktonska biomasa (izražena kot koncentracija klorofila *a*) je bila v centru kletke pred hranjenjem nekoliko nižja v primerjavi s tisto po hranjenju. Hranjenje oz. posledično izločanje ni vplivalo na koncentracijo klorofila *a*, je pa analiza (ANOVA, 2 faktorja) podatkov pokazala, da je statistično značilna razlika med krogi ($P = 0,0$). Pred hranjenjem med krogi ni statistično značilnih razlik oz. so le-te majhne (ANOVA z enim faktorjem, $P = 0,08$), po hranjenju pa razlike postanejo statistično zelo značilne (ANOVA z enim faktorjem, $P = 0,00$).

Glavnino produktov degradacije klorofila *a* predstavljata klorofilid *a* in feoforbid_{a1}. Razlika med krogi je statistično značilna (ANOVA z dvema faktorjema, $P = 0,01$), ni pa

razlike pred in po hranjenju. ANOVA z enim faktorjem pa ne pokaže razlike med krogi pred hranjenjem, vidna pa je šibka razlika med krogi po hranjenju ($P = 0,06$).

Viden je padec koncentracij od roba kletke (6 m od centra) proti zunanjemu krogu merilnih točk in točkama ZBMA ter ZCOB (Slika 23).



Slika 23: Vsota koncentracij produktov razgradnje klorofila *a*.

Figure 23: The sum of the concentrations of degradation products of chlorophyll *a*.

4.1.5 Organski ogljik in dušik (suspendirana snov v globini 5m) pred in po hranjenju rib (Preglednica 7)

Preglednica 7: Organski ogljik in dušik v vodnem stolpu (suspendirana snov) pred in po hranjenju rib, globina = 5 m.

Table 7: Organic carbon and nitrogen in the water column before and after feeding the fish, depth = 5 m.

	Corg (%)		N (%)		Corg/N (Ut)		mg C/L		mg N/L	
	PRED	PO	PRED	PO	PRED	PO	PRED	PO	PRED	PO
00CC	14,15	9,49	2,31	0,59	6,12	16,00	0,26	0,28	0,04	0,02
00N1	8,54	8,14	1,20	1,74	7,09	4,68	0,24	0,28	0,03	0,06
00N2	18,25	11,52	2,50	2,07	7,31	5,57	0,32	0,32	0,04	0,06
0EN1	15,69	13,26	2,15	2,60	7,30	5,10	0,27	0,28	0,04	0,05
0EN2	15,96	10,34	2,29	2,00	6,97	5,18	0,27	0,25	0,04	0,05
0ES1	20,19	9,28	3,99	1,93	5,06	4,80	0,26	0,24	0,05	0,05
0ES2	15,92	11,67	2,94	1,90	5,41	6,14	0,23	0,25	0,04	0,04
00S1	11,45	13,39	2,31	2,73	4,96	4,91	0,27	0,29	0,05	0,06
00S2	5,41	3,64	0,88	0,50	6,17	7,33	0,33	0,30	0,05	0,04
0WS1	10,83	5,71	2,12	0,98	5,11	5,83	0,26	0,27	0,05	0,05
0WS2	10,09	4,93	1,10	0,82	9,14	6,04	0,27	0,25	0,03	0,04
0WN1	12,38	1,91	2,80	0,43	4,42	4,50	0,26	0,27	0,06	0,06
0WN2	15,81	NP	3,00	NP	5,27	NP	0,26	NP	0,05	NP
Sr_vr	13,44	8,61	2,28	1,52	6,18	6,34	0,27	0,27	0,05	0,05
St_odk	4,12	3,79	0,85	0,82	1,33	3,14	0,03	0,02	0,01	0,01
Max	20,19	13,39	3,99	2,73	9,14	16,00	0,33	0,32	0,06	0,06
Min	1,91	0,88	0,43	4,42	4,50	4,50	0,24	0,03	0,02	0,00
ZBMA	22,41		3,88		5,77		0,37		0,06	
ZBEC	18,15		3,21		5,65		0,32		0,06	
ZBSC	19,00		3,30		5,75		0,47		0,08	
ZBWC	20,66		3,28		6,29		0,42		0,07	
ZCOB	21,17		2,90		7,29		0,22		0,03	
Sr_vr	20,28		3,32		6,15		0,36		0,06	
St_odk	1,70		0,35		0,68		0,10		0,02	
Max	22,41		3,88		7,29		0,47		0,08	
Min	1,70		0,35		0,68		0,10		0,02	

Preglednica 8: Razmerje C_{org}/TN pred in po hranjenju.

Table 8: The ratio C_{org}/TN before and 3 hours after feeding.

LOKACIJA	C_{org}/TN (ut)		KOEFIICIENT
	PRED	PO	
00CC	6,12	16,00	0,38
00N1	7,09	4,68	1,52
00N2	7,31	5,57	1,31
0EN1	7,30	5,10	1,43
0EN2	6,97	5,18	1,34
0ES1	5,06	4,80	1,05
0ES2	5,41	6,14	0,88
0OS1	4,96	4,91	1,01
0OS2	6,17	7,33	0,84
0WS1	5,11	5,83	0,88
0WS2	9,14	6,04	1,51
0WN1	4,42	4,50	0,98
0WN2	5,27	NP	NP

Preglednica 9: Statistično značilne so razlike PRED/PO, razen pri razmerju C_{org}/TN .

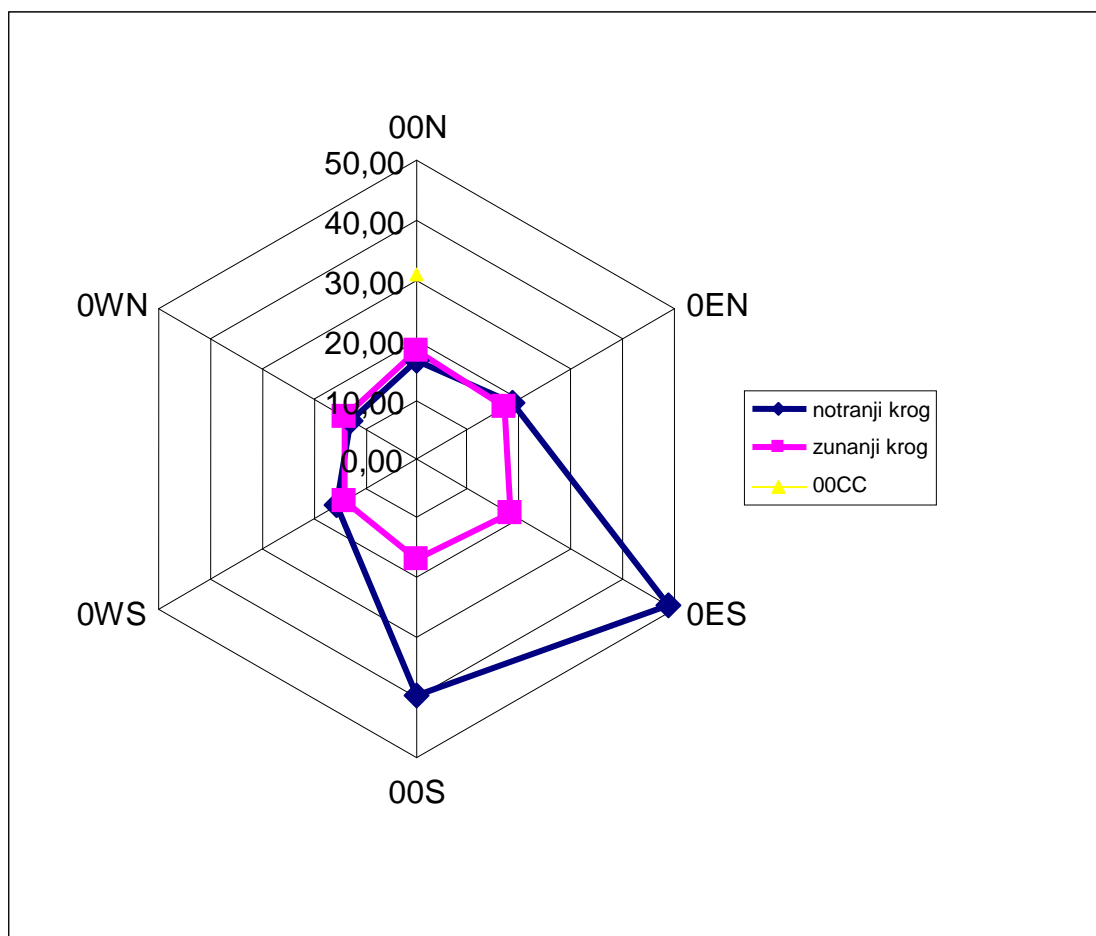
Table 9: Statistically significant differences between before and after feeding and between the circles except the ratio C_{org}/TN .

PARAMETER		Df	P
C_{org} (%)	RAZLIKE MED KROGI	2	0,95
	PRED – PO HRANJENJU	1	0,01
TN(%)	RAZLIKE MED KROGI	2	0,56
	PRED – PO HRANJENJU	1	0,05
C_{org}/TN (utežno razmerje)	RAZLIKE MED KROGI	2	0,00
	PRED – PO HRANJENJU	1	0,82

Odstotek organskega ogljika v suspendirani snovi se je 3 ure po hranjenju znižal, razen na lokaciji 00S1, kjer se je zvišal z 11,45 % na 13,39 %. Znižala se je tudi srednja vrednost vseh lokacij, in sicer s 13,44 % na 8,61 %. Podobno sliko pokaže odstotek organskega dušika, kjer je srednja vrednost padla z 2,28 % na 1,52 %. Utežno razmerje C_{org}/N_{org} se je po hranjenju nekoliko povečalo (od 6,18 na 6,34), povišale so se tako najvišje vrednosti kot tudi najnižje.

4.1.6 Hitrost sedimentacije, organski ogljik in dušik v sedimentnih pasteh

Na istih merilnih mestih smo postavili tudi sedimentne pasti, s katerimi smo izmerili hitrost sedimentacije do globine 5 m. Najvišja vrednost je bila zabeležena na lokaciji 00CC ($30,71 \text{ g m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$), najnižja pa na 0WN1 ($12,78 \text{ g m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$). Zunanji krog kaže dokaj enakomerno razporeditev vrednosti, notranji krog pa izrazito naraščanje v smeri proti jugovzhodu (0ES, 00S).



Slika 24: Hitrost sedimentacije v neposredni okolici kletke ($\text{g m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$). Past je bila na globini 5 m.
Figure 24: Sedimentation ratio in the vicinity of the cage ($\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). The trap was moored at 5 m.

Za primerjavo hitrosti sedimentacije v bližini kletke s hitrostmi na bolj oddaljenih lokacijah smo postavili sedimentne pasti na morsko dno na ZBMA, ZBEC, ZBWC, ZBSC, ZCOB (oddaljene točke) in na 00N1, 00N2, 00S1 in 00S2 (v bližini kletke). Velike razlike v hitrosti sedimentacije je pokazala analiza variance ($Df = 1$, $P = 0,00$), medtem ko se struktura sedimentirane snovi statistično ni značilno razlikovala, saj je bila vrednost P samo pri C_{org} blizu 0,05 (0,06) (Preglednica 10).

Preglednica 10: Razlike med merilnimi točkami ob kletki in referenčnimi točkami (ANOVA z enim faktorjem).

Table 10: Statistically significant differences between sampling locations around the cage and reference locations (One way ANOVA).

PARAMETER	Df	P
Sedimentacija ($\text{g m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$)	1	0,00
C_{org} (g L^{-1})	1	0,06
TN (g L^{-1})	1	0,11
C_{org}/TN (utežno razmerje)	1	0,87

4.2 SEDIMENT

V letu 2006 smo ugotavljali vpliv hranjenja rib na morsko dno. Pri tem smo se osredotočili predvsem na kazalce, ki opisujejo prostorske in sezonske različnosti.

Za analizo in kasnejšo oceno vpliva oddaljenosti in sezone na koncentracije nutrientov v porni vodi smo uporabili prva dva centimetra vzorca.

Preglednica 11: Parametri, izmerjeni v prvih dveh centimetrih sedimenta.

Table 11: Parameters, measured in the first 2 cm of the sediment.

MESEC	LOKACIJA	KROG	pH	ALKALNOST	PO ₄ ³⁻	SiO ₄ ⁴⁻	NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻
				(mmol/L)	(μmol/L)	(μmol/L)	(μmol/L)	(μmol/L)	(mmol/L)
APR	FEN3	R	7,57	3,22	1,18	36,19	2,19	48,00	24,46
APR	F0S3	R	7,69	3,07	0,91	57,89	4,61	48,03	27,14
APR	FWN3	R	7,49	3,38	2,35	58,73	3,54	62,86	18,56
APR	F0CC	CC	8,01	9,58	69,42	50,90	39,98	474,38	21,69
APR	F0N1	K1	7,44	4,71	37,26	49,26	4,37	388,13	19,49
APR	FEN1	K1	7,60	3,52	3,45	45,49	9,69	111,18	14,91
APR	FES1	K1	7,40	4,01	14,59	75,88	0,95	318,11	21,61
APR	F0S1	K1	7,19	4,14	6,23	41,67	0,83	400,58	18,42
APR	FWS1	K1	7,29	3,98	14,66	72,98	7,62	310,67	24,94
APR	FWN1	K1	7,15	4,66	6,98	95,94	1,84	376,91	19,58
APR	F0N2	K2	7,30	4,46	4,07	42,40	2,99	157,21	24,16
APR	FEN2	K2	7,46	3,37	2,74	74,58	2,28	185,28	25,05
APR	FES2	K2	7,50	3,35	0,79	48,10	4,68	79,14	20,44
APR	F0S2	K2	7,36	4,27	1,19	52,55	2,23	43,43	28,65
APR	FWS2	K2	6,92	3,68	4,34	54,05	7,02	451,32	20,35
APR	FWN2	K2	7,60	4,46	21,19	58,64	15,61	376,50	22,19
JUL	FEN3	R	7,42	4,94	1,03	127,95	2,47	291,61	25,47
JUL	F0S3	R	7,64	4,65	1,24	117,76	3,82	149,53	29,52
JUL	FWN3	R	7,55	4,17	0,75	86,33	0,89	198,19	23,05
JUL	F0CC	CC	7,84	10,06	62,51	206,99	3,55	544,13	20,96
JUL	F0N1	K1	7,53	9,35	39,78	125,11	0,21	331,74	21,20
JUL	FEN1	K1	7,43	5,16	3,67	80,34	2,52	176,87	24,69
JUL	FES1	K1	7,90	6,86	21,74	140,47	2,03	282,03	24,45
JUL	F0S1	K1	7,66	6,19	1,36	85,21	2,23	258,95	29,42
JUL	FWS1	K1	7,55	10,64	64,61	128,86	15,25	1032,08	22,07
JUL	FWN1	K1	7,70	4,70	12,67	110,07	3,37	105,43	NP
JUL	F0N2	K2	7,44	7,22	11,53	103,15	2,95	268,14	31,49
JUL	FEN2	K2	7,50	4,67	2,53	81,62	3,41	169,56	24,08
JUL	FES2	K2	7,64	3,43	4,22	83,55	3,59	81,93	31,53
JUL	F0S2	K2	7,28	6,35	5,28	135,85	1,77	1386,37	32,68
JUL	FWS2	K2	7,32	6,94	15,40	190,36	4,48	440,83	25,29
JUL	FWN2	K2	7,61	8,71	78,07	151,39	0,59	436,12	25,94

Legenda preglednice: R – referenčna točka, CC – center kletke, K1 – notranji krog vzorčevalnih točk (pod obodom kletke), K2 – zunanji krog vzorčevalnih točk, cca 20 m oddaljen od centra kletke.

4.2.1 Nutrienti

4.2.1.1 Ortofosfat (PO_4^{3-})

Koncentracije ortofosfata so aprila nihale od 0,79 $\mu\text{mol/L}$ na lokaciji FES2 do 69,42 $\mu\text{mol/L}$ na F0CC. Najnižja julijska vrednost je bila 0,75 $\mu\text{mol/L}$ na FWN3, najvišja, 70,87 $\mu\text{mol/L}$, pa na FWN2.

Razlike med krogi so statistično značilne (analiza variance pokaže, da je $P = 0,00$), medtem ko jih med pozno zimsko in poletno sezono ni ($P = 0,29$).

4.2.1.2 Silikat (SiO_4^{4-})

Koncentracije silikata so aprila nihale od 41,67 $\mu\text{mol/L}$ na FOS1 do 95,94 $\mu\text{mol/L}$ na FWN1. Najnižja julijska vrednost je bila 80,34 $\mu\text{mol/L}$ na FEN3, najvišja, 206,99 $\mu\text{mol/L}$, pa na F0CC.

Razlike med krogi so statistično šibko značilne (analiza variance pokaže, da je $P = 0,55$), medtem ko med pozno zimsko in poletno sezono zabeležimo statistično značilno razliko ($P = 0,00$).

4.2.1.3 Anorganski oksidirani dušik ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)

Koncentracije anorganskega oksidirane dušika so aprila nihale od 0,83 $\mu\text{mol/L}$ na FOS1 do 39,98 $\mu\text{mol/L}$ na F0CC. Najnižja julijska vrednost je bila 0,21 $\mu\text{mol/L}$ na F0N1, najvišja, 15,25 $\mu\text{mol/L}$ pa na FWS1.

Razlike med krogi so statistično neznačilne ($P = 0,22$), enako pa velja tudi za razlike med sezonama ($P = 0,11$).

4.2.1.4 Amonij (NH_4^+)

Koncentracije amonija so aprila nihale od 43,43 $\mu\text{mol/L}$ na FOS2 do 474,38 $\mu\text{mol/L}$ na F0CC. Najnižja julijska vrednost je bila 81,93 $\mu\text{mol/L}$ na FES2, najvišja, 1386,37 $\mu\text{mol/L}$, pa na FOS2.

Razlike med krogi so statistično značilne ($P = 0,03$), med sezonama pa je ta razlika precej manjša ($P = 0,07$).

4.2.1.5 Sulfat (SO_4^{2-})

Koncentracije sulfata so aprila nihale od 14,91 mmol/L na FEN1 do 28,65 mmol/L na F0S2. Najnižja julijska vrednost je bila 20,96 mmol/L na F0CC, najvišja, 32,68 mmol/L pa na F0S2.

Razlike med krogi so statistično značilne ($P = 0,05$), veliko večja pa je razlika med sezonama ($P = 0,00$).

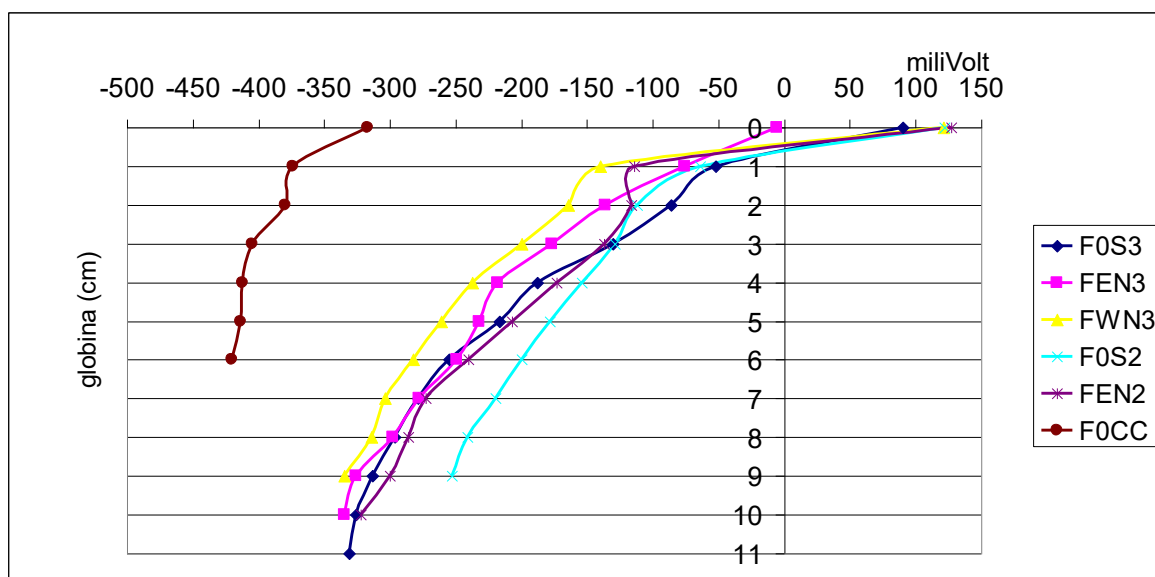
4.2.2 Alkalnost

Vrednosti alkalnosti se v aprilu gibljejo od 3,07 mmol/l na F0S3 do 9,58 mmol/L na F0CC. Julijska najnižja vrednost je 3,43 mmol/L na FES2, najvišja pa 10,64 mmol na FWS1.

Razlike med krogi statistično značilne ($P = 0,00$), statistično pa se ločita tudi sezoni ($P = 0,03$).

4.2.3 Redoks potencial

Pričakovano so bile najnižje vrednosti redoks potenciala pod centrom kletke, ostali profili so si podobni. Na površini sedimenta so bile vrednosti še pozitivne, že po prvem centimetru pa so padle pri štirih cm globine pod -200 mV. Pod centrom kletke so bile vrednosti na površini pod -300 mV in so do globine 6 cm padle pod -400 mV (Slika 25).



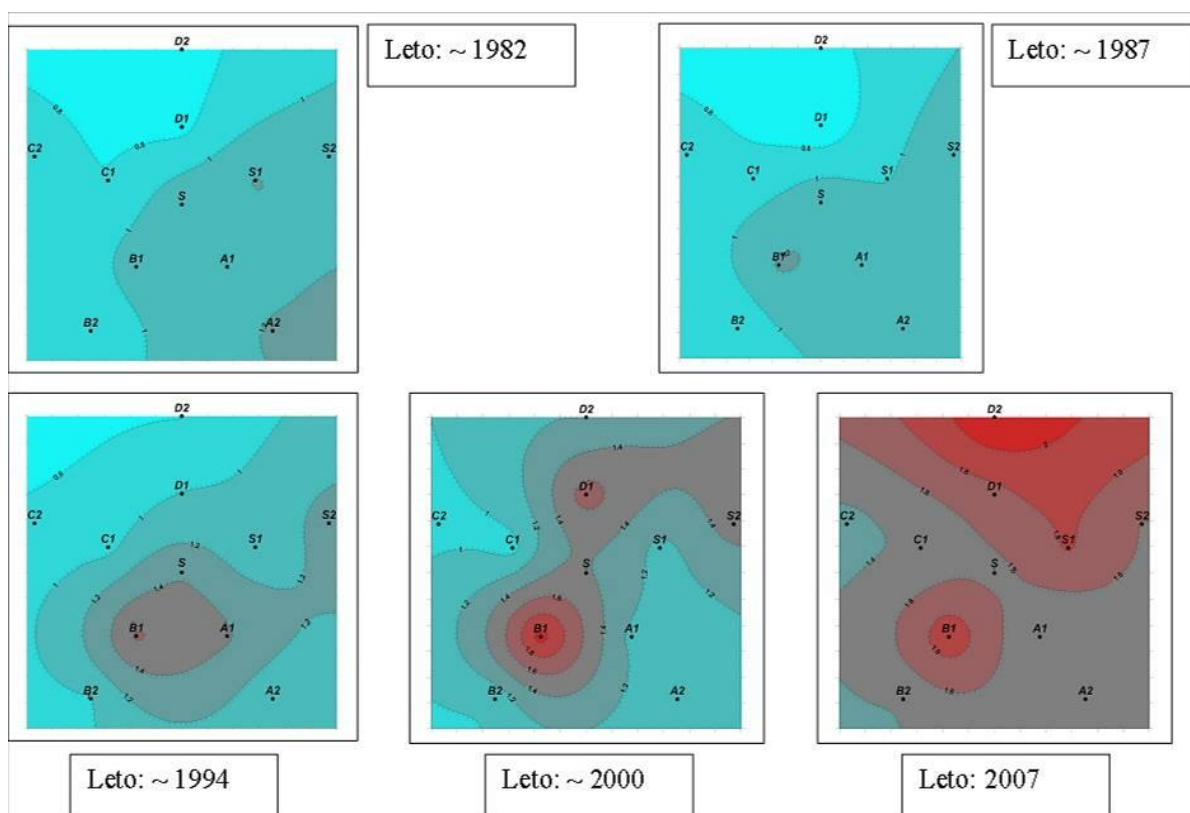
Slika 25: Profili redoks potenciala v sedimentu. Leva krivulja je posneta pod kletko.

Figure 25: Redox potential profiles. Note the left curve just below the cage.

4.2.4 Celotni organski ogljik (TOC)

Odstotki celotnega organskega ogljika v zgornjih 2 cm sedimenta pod kletkami variirajo od 1,08 % na FES2 do 2,44 % na FWS1, srednja vrednost pa je 1,44 %. Ta vrednost je večja od srednje vrednosti TOC v Piranskem zalivu, ki je 0,99 % (Forte in sod., 2007).

TOC je primeren indikator ne samo kot pokazatelj trenutne obremenitve sedimenta z organsko snovjo, ampak za analizo globljih slojev sedimenta (do 10 cm) in poznavanjem povprečne hitrosti sedimentacije, ki je za Piranski zaliv približno 2,5-3 mm/leto (Ogorelec in sod., 1991), lahko pokažemo prostorsko širjenje tega vpliva (Slika 26).



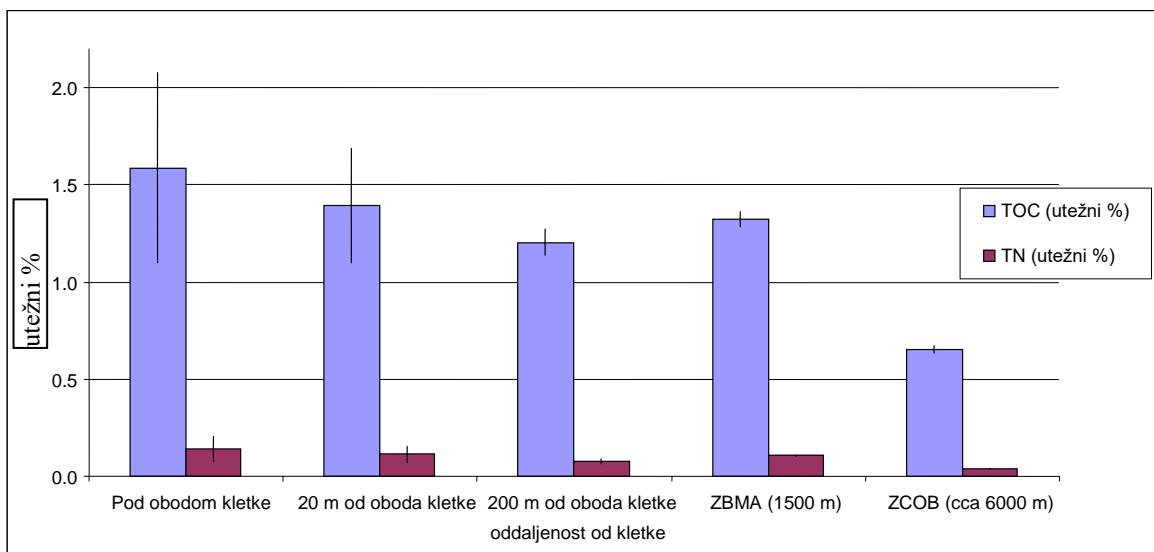
Slika 26: Naraščanje obremenjenosti sedimenta s TOC od postavitve prvih gojitvenih kletk (Forte in sod., 2007).

Figure 26: The amount of TOC from approximately 1988 to 2007 increased significantly at the studied area (Forte in sod., 2007).

4.2.5 Celotni dušik (TN)

Podobno kot za TOC velja tudi za celotni dušik (TN), kjer odstotki variirajo od 0,07 % na FEN3 do 0,25 % na FWS1. Tudi te vrednosti presegajo povprečni odstotek TN v Piranskem zalivu, ki je 0,12 %. (Forte in sod., 2007).

Za oba kazalca (TOC in TN) velja, da njune vrednosti od centra kletke proti odprtim vodam upadajo (Slika 27).



Slika 27: Celotni organski ogljik (%) in celotni dušik (%) v prvih 2 cm sedimenta. Sediment na ZBMA ima bolj fino strukturo kot sediment pod kletkami.

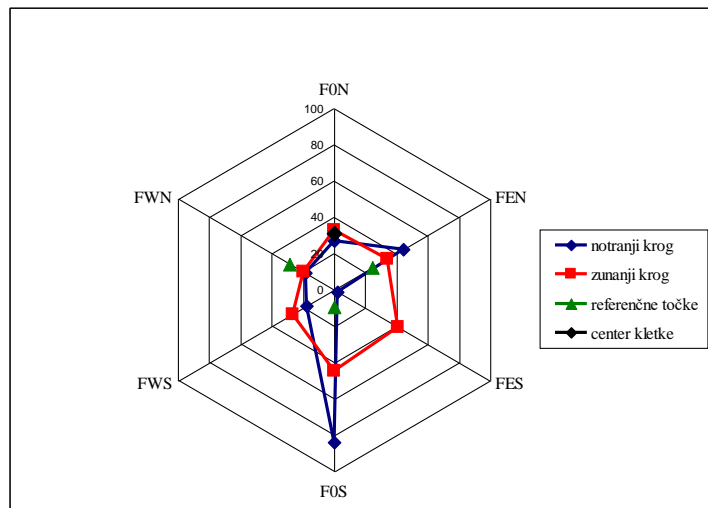
Figure 27: TOC (%) and TN (%) in first 2 cm of the sediment. The structure of the sediment on ZBMA is more fine as the sediment beneath the cages.

4.2.6 Mikrofitobentos

Mikrofitobentos smo opisali s koncentracijami klorofila *a* in koncentracijami produktov njegove razgradnje, feopigmentov. Oboji so julija pokazali dokaj enakomerno prostorsko razporeditev, aprila pa je izstopala točka FES1 s precej nižjimi vrednostmi.

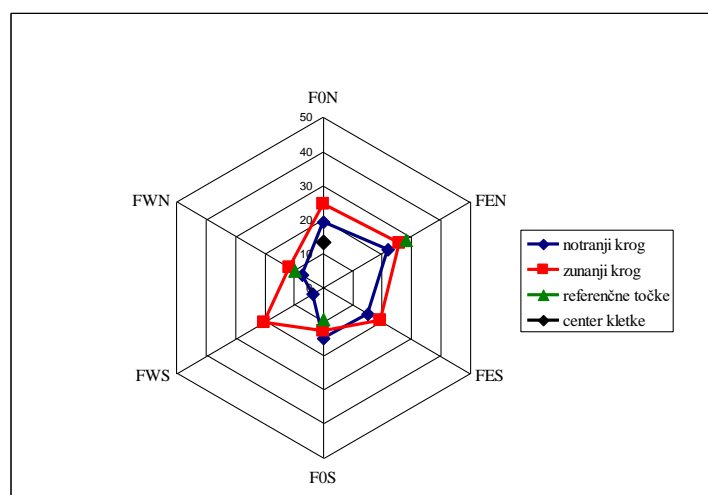
4.2.6.1 Klorofil *a*

Koncentracije klorofila *a* so v aprilu nihale od 2,22 mg/m² (FES2) do 84,21 mg/m² (FOS2). Julija je bila najmanjša vrednost 3,88 mg/m² (FWS1), največja pa 28,07 mg/m² (FWN3). Razlike med krogi statistično niso bile značilne ($P = 0,55$), zelo izrazite pa so bile med sezonama ($P = 0,00$). Prostorsko razporeditev klorofila *a* prikazujeta Slika 28 in Slika 29.



Slika 28: Koncentracije in razporeditev klorofila *a* aprila 2006.

Figure 28: Concentrations and distribution of chlorophyll *a* in April, 2006.

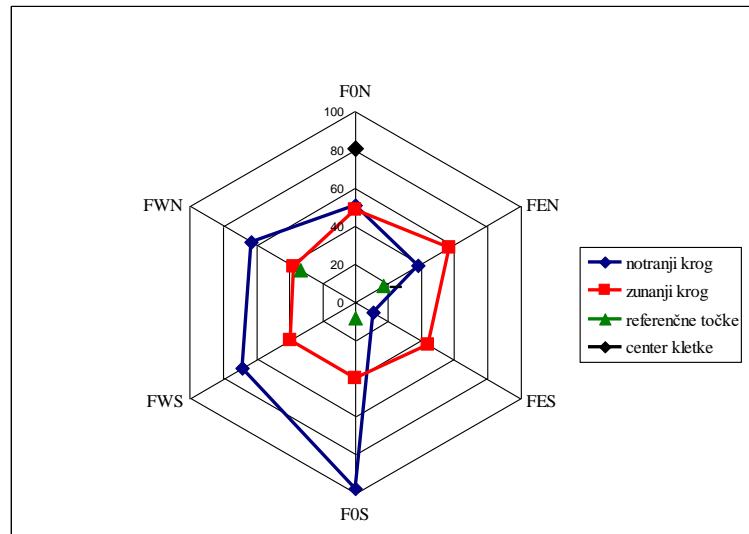


Slika 29: Koncentracije in razporeditev klorofila *a* julija 2006.

Figure 29: Concentrations and distribution of chlorophyll *a* in July, 2006.

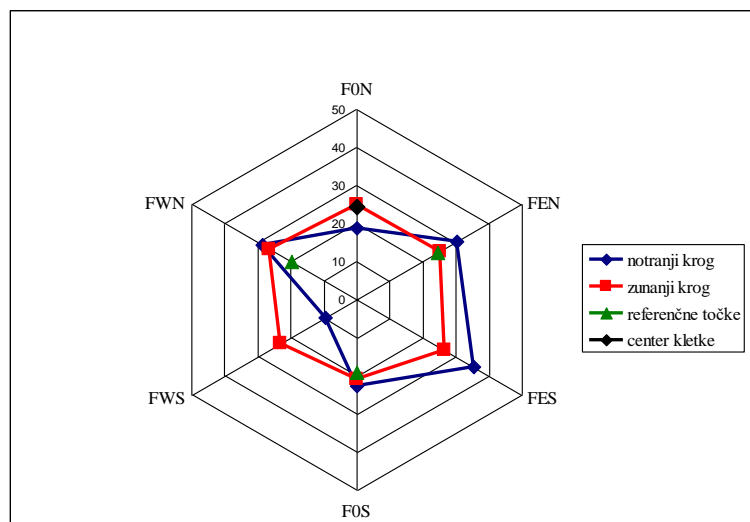
4.2.6.2 Feopigmenti

Koncentracije feopigmentov so v aprilu nihale od najnižje 8,10 mg/m² (FOS3) do 97,44 mg/m² (FOS1). Julija je bila najmanjša vrednost 9,43 mg/m² (FWS1), največja pa 35,24 mg/m² (FES1). Prostorska razporeditev feopigmentov kaže statistično značilne razlike tako med krogi kot med sezonama ($P = 0,00$). Prostorsko razporeditev feopigmentov prikazujeta Slika 28 in Slika 29.



Slika 30: Koncentracije in razporeditev feopigmentov aprila 2006.

Figure 30: Concentrations and distribution of the phaeopigments in April, 2006.



Slika 31: Koncentracije in razporeditev feopigmentov julija 2006.

Figure 31: Concentrations and distribution of the phaeopigments in July, 2006.

4.2.7 Makrofauna (indeks MAMBI)

Vzorčenje je bilo izpeljano samo v juliju leta 2006. Rezultati so podani v preglednici (Preglednica 12).

Preglednica 12: Izračunani diverzitetni in biotski indeksi in stanje ekosistema, določitev stanja ekosistema.

Table 12: Calculated diversity and biotic indexes and evaluation of the status of the ecosystem.

LOKACIJA	AMBI	H'	R	M-MAMBI	STANJE
FWN2	3,20	2,64	14	0,54	Zmerno
FWN3	2,42	4,49	38	0,93	Zelo dobro
F0N2	3,10	3,38	17	0,63	Dobro
F0S2	2,04	4,54	42	0,99	Zelo dobro
F0S3	2,13	3,65	27	0,81	Dobro
F0CC	4,23	2,79	13	0,46	Zmerno
FEN2	1,95	4,27	30	0,89	Zelo dobro
FEN3	2,37	4,52	40	0,94	Zelo dobro

Najslabše ekološko stanje je AMBI pokazal na lokaciji F0CC (4,23), podoben rezultat je dal izračun Shannon-Wienerjevega indeksa (2,79), pa tudi število vrst je bilo na tej lokaciji najnižje (13). Vse tri metrike (AMBI, R in H') so vključene v izračun indeksa M-AMBI.

Izračunali smo korelacije med indeksom AMBI, redoks potencialom, nutrienti ter klorofilom *a* in feopigmenti na površini sedimenta.

Preglednica 13: Korelacijski koeficienti med biotskimi indeksi in ostalimi parametri.

Table 13: Correlation coefficients between biotic indexes and some other parameters.

	Redoks	AMBI	H'	Alkalnost	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Klorofil a	Feopig.
Redoks	1								
AMBI	-0,97	1							
H'	0,83	0,82	1						
Alkalnost	-0,90	0,89	-0,78	1					
PO ₄ ³⁻	-0,95	0,96	-0,86	0,96	1				
NH ₄ ⁺	-0,02	0,02	0,13	0,40	0,15	1			
SO ₄ ²⁻	0,56	-0,63	0,41	-0,30	-0,52	0,58	1		
Klorofil a	0,03	0,20	0,33	-0,18	-0,19	-0,22	-0,21	1	
Feopig.	-0,49	0,36	-0,20	0,40	0,41	-0,09	-0,51	0,80	1

Visoke vrednosti korelacijskega koeficienta R med ortofosfatom in redoks potencialom, AMBIjem, H' ter alkalnostjo izhajajo iz visoke vrednosti ortofosfata na lokaciji F0CC (dno pod centrom kletke). Če to vrednost iz izračuna korelacije odstranimo, dobimo koeficiente, ki imajo nižje vrednosti, pri nekaterih parametrih pa se vrednosti zvišajo (Preglednica 14.).

Preglednica 14: Korelacijski koeficienti med biotskimi indeksi in ostalimi parametri, brez točke F0CC.

Table 14: Correlation coefficients between biotic indexes and some other parameters, sampling point F0CC is excluded.

	Redoks	AMBI	H'	Alkalnost	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Klorofil a	Feopig.
Redox	1,00								
AMBI	-0,52	1,00							
H'	-0,10	0,30	1,00						
Alkalnost,	0,06	-0,45	0,31	1,00					
PO ₄ ³⁻	0,43	-0,67	0,29	0,91	1,00				
NH ₄ ⁺	0,23	-0,33	0,43	0,95	0,91	1,00			
SO ₄ ²⁻	0,11	-0,45	-0,21	0,83	0,72	0,77	1,00		
Klorofil a	-0,55	-0,09	0,35	-0,02	-0,08	-0,21	-0,39	1,00	
Feopig.	-0,36	-0,24	0,37	0,04	0,06	-0,14	-0,36	0,98	1,00

4.2.8 Meiofavna

Rezultati taksonomske obdelave in abundanca glavnih skupin meiofavne so podani v preglednici (Preglednica 15).

Preglednica 15: Abundanca glavnih skupin meiofavne.

Table 15: List of main groups of meiofauna and their abundances.

SEZONA	TOČKA VZORČENJA	ACARINA	BIVALVIA	HARPACTICOIDA	KINORHYNCHA	NEMATODA	OSTRACODA	POLYCHAETA	TURBELLARIA
APRIL, 2006	F0CC	1		326		3064	2	276	289
	F0S1			126		1594	2	475	376
	F0S2		2	875	13	3161		321	90
	F0S3	1	1	696	65	2293	1	121	89
	FEN1	1	1	235		4077		531	267
	FEN2		1	269	1	3313	1	494	62
	FEN3	1	0	602	19	2261	2	100	62
	FWN1		1	359		2829	11	532	444
	FWN2			263	1	3911	9	404	278
	FWN3	0	1	1195	33	2619	3	127	29
JULIJ, 2006	F0CC	3	5	89	1	2554	2	19	12
	F0S1	3	13	137	1	3036	1	55	
	F0S2	2	15	741	28	2257	7	116	14
	F0S3	4	23	1215	141	3733	7	345	19
	FEN1	1	3	186	2	2007	2	31	7
	FEN2		13	647	3	3761	1	65	7
	FEN3		9	730	61	3458	3	127	39
	FWN1	3	6	198	4	2071	7	48	2
	FWN2	3	7	107	3	2281	1	55	3
	FWN3	3	7	1192	199	3465	13	442	16

Korelacijski koeficienti med skupinami meiofavne ter nekaj ostalimi parametri v intersticielni vodi v prvih dveh centimetrih sedimenta ločeno za april in julij ne pokažejo

visokih vrednosti R, razen v primeru vrtinčarjev in amonija, ko je korelacijski koeficient $R=0,8$.

Več korelacij je najti, ko iščemo povezave znotraj krogov. Poseben primer predstavlja točka pod centrom kletke: če je točka vključena v obdelavo podatkov 1. kroga, bodo rezultati korelacij drugačni kot, če točka ni vključena (Preglednica 16).

Preglednica 16: Korelacijski koeficienti med indikatorji na in v sedimentu ter pomembnejšimi skupinami meiofavne. K1+CC: prvi krog, vključena je točka CC (center kletke), K1: prvi krog, točka CC je izključena, K2: drugi krog, R: referenčne točke (FES3, F0S3, FWN3).

Table 16: Correlation coefficients between indicators in the sediment and on the sediments surface and main groups of meiofauna. K1 + CC stands for first circle of sampling points, center of the cage (CC) is included; K1 stands for the first circle, CC is excluded; K2 stands for second circle of sampling points and R stands for reference points (FES3, FEN3 and FWN3).

K1 + CC	HARP	KINO	NEMA	OSTR	POLY	TURB
ALKA	-0,09	-0,16	0,05	-0,22	-0,47	-0,27
PO₄³⁻	0,07	-0,23	0,08	-0,16	-0,24	-0,05
SiO₄⁴⁻	-0,40	0,25	-0,16	0,19	-0,57	-0,52
NO₂⁻ +NO₃⁻	0,52	-0,30	0,37	-0,23	0,10	0,24
NH₄⁺	-0,02	-0,58	-0,15	-0,01	0,05	0,29
CHLA	-0,16	-0,44	-0,28	-0,41	0,51	0,48
PHAE	0,36	-0,56	-0,26	0,07	0,64	0,81
K1	HARP	KINO	NEMA	OSTR	POLY	TURB
ALKA	-0,28	0,378	-0,20	0,04	-0,74	-0,61
PO₄³⁻	0,22	0,56	-0,44	0,67	-0,05	0,03
SiO₄⁴⁻	0,34	0,70	-0,18	0,71	-0,58	-0,45
NO₂⁻ +NO₃⁻	0,18	-0,14	0,80	-0,39	0,29	0,00
NH₄⁺	0,10	-0,61	-0,35	0,271	0,46	0,66
CHLA	-0,40	-0,54	-0,30	-0,51	0,45	0,45
PHAE	0,01	-0,59	-0,45	0,11	0,66	0,79
K2	HARP	KINO	NEMA	OSTR	POLY	TURB
ALKA	-0,31	0,22	-0,77	0,07	-0,75	-0,42
PO₄³⁻	-0,69	-0,28	-0,47	-0,01	-0,41	-0,12
SiO₄⁴⁻	-0,27	0,37	-0,86	0,07	-0,71	-0,62
NO₂⁻ +NO₃⁻	-0,26	-0,35	0,66	0,71	0,44	0,94

se nadaljuje

Nadaljevanje Preglednice 16: Korelacijski koeficienti med indikatorji na in v sedimentu

	HARP	KINO	NEMA	OSTR	POLY	TURB
NH₄⁺	0,15	0,79	-0,63	0,61	-0,38	-0,21
CHLA	0,44	-0,17	0,46	-0,56	0,58	0,12
PHAE	-0,27	-0,47	0,41	-0,26	0,91	0,35
R	HARP	KINO	NEMA	OSTR	POLY	TURB
ALKA	0,31	0,50	0,93	0,49	0,47	-0,66
PO₄³⁻	0,37	-0,49	-0,25	-0,30	-0,36	-0,22
SiO₄⁴⁻	0,32	0,49	0,91	0,37	0,42	-0,56
NO₂⁻						
+NO₃⁻	-0,09	-0,41	-0,32	-0,67	-0,45	0,48
NH₄⁺	0,13	0,45	0,82	0,45	0,37	-0,53
CHLA	-0,30	-0,74	-0,27	-0,47	-0,68	-0,00
PHAE	0,50	-0,15	0,26	0,13	-0,04	-0,66

Preglednica 18: Preglednica obravnavanih kazalcev v sedimentnih pasteh in njihove ocene: 3 – zelo primerno, 2 – primerno, 1 – neprimerno.

Table 18: List of indicators in the sediment traps and their evaluation. 3 – very appropriate, 2 – appropriate, 1 – unappropriate.

KAZALEC	ZNAČILNOSTI KAZALCEV IN NJIHOVE OCENE							
	Znanstveno – raziskovalna utemeljenost	Razumljivost	Kaže trende v času - ure	Kaže trende v času - meseci	Občutljivost na razlike v prostoru	Možnost nadgrajevanja	Podatki so že na voljo	Stroškovna primernost
Hitrost sedimentacije	3	3	1	1	3	2	3	2
C _{org}	3	2	1	1	2	1	3	2
Celotni dušik	3	2	1	1	1	1	3	2

Preglednica 19: Preglednica obravnavanih kazalcev na in v sedimentu in njihove ocene: 3 – zelo primerno, 2 – primerno, 1 – neprimerno.

Table 19: List of indicators in the sediment and on its surface and their evaluation. 3 – very appropriate, 2 – appropriate, 1 – unappropriate.

KAZALEC	ZNAČILNOSTI KAZALEC IN NJIHOVE OCENE							
	Znanstveno – raziskovalna utemeljenost	Razumljivost	Kaže trende v času - ure	Kaže trende v času - meseci	Občutljivost na razlike v prostoru	Možnost nadgrajevanja	Podatki so že na voljo	Stroškovna primernost
Ortofosfat	3	2	1	3	1	1	2	2
Anorganski oksidirani dušik	3	2	1	1	1	1	2	2
Amoniak	3	3	1	2	3	1	2	2
Silikat	3	2	1	3	2	1	2	2
Sulfat	3	3	1	3	3	1	2	2
C _{org} /TN	3	3	3	3	3	1	2	2
Alkalnost	3	2	1	3	3	1	2	2
Redoks potencial	3	3	1	3	3	2	2	3
Klorofil <i>a</i>	3	3	1	2	1	2	2	1
Feopigmenti	3	2	1	3	3	2	2	1
M-AMBI	3	2	1	3	3	2	2	1
Meiofavna - skupine	3	2	1	3	3	2	2	1

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Kazalci vpliva hranjenja rib na okolje so prisotni tako v vodnem stolpcu kot na in v sedimentu.

5.1.1 Vpliv na vodni stolp:

Dinamika nutrientov je vezana na spomladansko in jesensko deževje, zato so vrednosti v tem obdobju višje. V poletnem času so svetlobne in temperaturne razmere ugodne za razvoj fitoplanktona, zato pride do porabe nutrientov in do znižanja njihovih koncentracij. Ribogojnica s stalnim dovajanjem nutrientov v vodno okolje povzroča spremembo naravne dinamike, saj se metabolizem rib z višjo temperaturo dvigne, poveča se frekvenca hranjenja (Pitta in sod., 1999) do petkrat na dan in posledično naraste količina izločkov, katerih del so tudi nutrienti. Globalno gledano, ribogojnice, v primerjavi z ostalimi antropogenimi vnosi, ne prispevajo veliko k skupni obremenitvi okolja s hranilnimi snovmi; leta 1998 je to v Mediteranskem morju pomenilo 0,3-1 % dušika in 0,4-1,4 % fosforja od celotnega antropogenega vnosa (Karakassis, 2001). Drugačno sliko dobimo, če pogledamo lokalno situacijo, saj gre za točkovno obremenitev. Na osnovi meritev ključnih nutrientov, amonija kot preferenčnega za fitoplankton in ortofosfata, ki je za rast fitoplanktona običajno omejujoč, ugotavljamo, da se njuni koncentraciji nekaj ur po hranjenju v neposredni bližini kletk bistveno povečata. Povečala se je tudi koncentracija celotnega fosforja. Več avtorjev je iskalo neposredno povezavo med višjimi koncentracijami nutrientov in rastjo fitoplanktona. Karakassis (2001), ki povzema vir Beveridge (1996), poroča, da so odzive fitoplanktona našli samo v zaprtih zalivih s šibkim plimovanjem v vzhodnem Baltiku. Poskusi v mezokozmu so pokazali, da v takšnih razmerah fitoplankton doseže svoj vrh šele po 3-8 dneh, odvisno od sezone (Pitta, 1996). Tudi v našem primeru po hranjenju nismo našli statistično značilnih višjih vrednosti klorofila *a* in feopigmentov v primerjavi z razmerami pred hranjenjem, je pa opazen izrazit padec koncentracij proti oddaljenim kontrolnim točkam v sredini in zunaj zaliva (Flander-Putrlje, 2011). Koncentracije fitoplanktonskih pigmentov niso primeren kazalec, saj obstaja možnost, da je do razlik med lokacijami vzorčenja in pa razlik, ki so nastale po hranjenju, prišlo zaradi gručaste razporeditve fitoplanktona. Potrebno bi bilo razviti novo strategijo vzorčenja.

Višje koncentracije amonija niso pomembne samo kot vir dušika za fitoplankton; v zalivih s slabo pretočnostjo lahko amonij doseže koncentracije, ki postanejo omejujoče za rast rib (Lazzari in Baldiserotto, 2008). Poleg ortofosfata in amonija se je sprememba v koncentraciji pred in po hranjenju pokazala pri silikatu, vendar gre pri tem za padec koncentracije. Možna razlaga bi bila, da prihaja do vezave na delce, ki so tudi v ribjih izločkih in povzročajo v okolici kletke dvig vrednosti celotne suspendirane snovi (TSM).

Sprememba v obarvanosti filtrov po hranjenju ni bila dokazana, velike razlike v obarvanosti v primerjavi z referenčnimi točkami pa nakazujejo, da je metoda primerna, kadar želimo razlikovati med vodnimi masami. To metodo je potrebno še razvijati, predvsem bi bila uporabna, če bi v ribogojnici vzorčili v času večjih pretokov rek, saj bi z gostim vzorčenjem transeкта v smeri proti farmi približno določili do kod sega vpliv reke in šele nato uporabili druge, dražje in zamudnejše metode za merjenje indikatorjev.

V vodnem stolpcu smo izmerili še bakterijsko abundanco in produkcijo. Abundanca je s časovnega vidika (pred in po hranjenju) pokazala veliko variabilnost, zato ni primerna kot indikator vpliva v neposredni okolici. Narasla produkcija po hranjenju je povezana z višjimi vrednostmi TSM in nutrientov kot posledico izločanja; neporabljena hrana ne more biti vzrok zaradi dejstva, da je v treh urah po hranjenju potonila na dno in je bila zaradi tokov odmaknjena od kletke (Malačič in Forte, 2003). Podatki iz podobnih študij kažejo predvsem na odvisnost števila bakterij bolj od lokacije oz. trofičnosti kot od razdalje od kletk (Pitta in sod., 2006). V našem primeru pa se bakterijska abundanca in razmerje produkcija/biomasa izkažeta kot dobra indikatorja, če njune vrednosti primerjamo z vrednostmi na referenčnih točkah.

Celotna suspendirana snov je po hranjenju bistveno narasla, nekateri avtorji pa navajajo, da vpliva TSM na vodni stolpec niso opazili (Matijević in sod., 2009). Verjetna razlaga je, da gre na lokaciji v zalivu Maslinova za močnejše tokove, predvsem, ker so tudi vrednosti drugih parametrov (redoks potencial, granulometrična sestava, vsebnost organske snovi, karbonata, organskega ogljika in celotnega dušika v okviru tamkajšnjih naravnih vrednosti (Matijević in sod., 2009).

Razlike v koncentracijah suspendiranega organskega ogljika (%) in dušika (%) v vodnem stolpcu pred in po hranjenju so statistično zelo značilne, kar opozarja na dejstvo, da je potrebno pri vzorčenju upoštevati čas hranjenja.

Hitrost sedimentacije do globine pet metrov se med krogi razlikuje; notranji krog kaže enakomerno razporeditev vrednosti, kar verjetno lahko pripišemo fizičnemu vplivu kletke, ki ovira tokove. Zunanji krog pa je verjetno pod vplivom toka, ki prinaša suspendirano snov od kletke proti pasti v smeri proti jugovzhodu. Za potrditev predvidevanja bi bile potrebne vzporedne meritve tokov, saj se tokovi v različnih globinah gibljejo v različne smeri. Tudi hitrost sedimentacije je kot indikator najbolj primerna, če jo merimo na referenčnih točkah, ki so dovolj oddaljene od ribogojnice. Hitrost sedimentacije je hiter in relativno poceni kazalec vpliva hranjenja rib na okolje. Glede na kumulativen način zbiranja vzorca v 24 urah, pa je potrebno upoštevati frekvenco hranjenja.

5.1.2 Vpliv na sediment

Nutrienti so tudi v sedimentu eden od pomembnejših indikatorjev vpliva sedimentirane snovi na ekosistem. Njihove koncentracije je potrebno primerjati s koncentracijami na referenčnih točkah, ki pa morajo imeti enako sestavo sedimenta, lateralni transport mora biti približno enak, pa tudi globina in bentoška združba morata biti primerljivi. Rezultati študije, v kateri so primerjali tri komercialne ribogojnice, so pokazali, da so vplivi na bentos v Sredozemlju lahko zelo variabilni (Karakassis in sod., 2000). V isti študiji so ugotovili, da je redoks potencial negativen samo v muljevitem dnu. Na nobeni od teh lokacij sediment ni bil popolnoma brez organizmov, organski ogljik in dušik sta bila povišana za 1,5 – 5 krat, makrofavna pa je bila prizadeta do 25 m od roba kletk. Na lokaciji z grobim sedimentom sta abundanca in biomasa do razdalje 25 m narasli za več kot desetkrat, skupaj z vrstno biodiverzitetjo je to tudi področje ekotona (Karakassis in sod., 2000). Do podobnih ugotovitev so prišli tudi pri študiji vpliva ribogojnice na sedimente in makrofavno v povezavi s pozejdonko (*Posidonia oceanica*) (Apostolaki, 2007). Primerjava med različnimi lokacijami tako v Sredozemlju kot v Jadranskem morju je varljiva, saj so ribogojnice postavljene tako nad kamnitim, peščenim ali muljevitim dnom kot nad travniki pozejdonke.

Referenčni točki, ki sta bili izbrani daleč izven ribogojnice, predvsem ZBMA (1500 m) in ZCOB (6000 m) sta se izkazali kot neprimerni, saj vrednosti nekaterih parametrov na ZBMA presegajo tiste v ribogojnici, kar je verjetno posledica višjega odstotka finih delcev v sedimentu, na točki ZCOB pa je školjčno detritično dno, ki omogoča večjo prezračevost

sedimenta in drugačne biogeokemijske procese. Obe točki pa sta primerni za primerjavo parametrov v vodnem stolpcu in sta kot takšni uporabni pri modeliranju.

Tudi pri nekaterih nutrientih v prvih 2 cm sedimenta je potrebno upoštevati letni čas. Za ortofosfat je značilno, da kaže gradient upadanja od kletke proti zunanjim referenčnim točkam, medtem ko čas vzorčenja ne pokaže razlik; nasprotno je silikat dokaj enakomerno razporejen po krogih, kaže pa velike razlike med sezonama. Anorganski oksidiran dušik ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) je enakomerno razporejen, razlik ni niti med krogi niti med sezonami. Amonij kaže podobno sliko kot ortofosfat, med krogi so razlike, med sezonami pa je ta razlika manjša. Parameter, ki v vsakem primeru pokaže razlike v koncentracijah tako v krogih kot med sezonama, je sulfat; prevladujoč je vpliv sezone. Pri rabi zgoraj naštetih nutrientov je potrebno upoštevati še redoks potencial, ker se njihova dinamika spreminja v odvisnosti od razpoložljivega raztopljenega kisika (Belias in sod., 2007).

Zelo primeren dolgoročen indikator sprememb v sedimentu, predvsem z globljim profiliranjem (0-10 cm v globino sedimenta), je celotni organski ogljik. Kot indikator je uporaben tako prostorsko kot časovno. Z dvoletnim monitoringom lahko upravljalec usmerja premike kletk, kot omilitveni ukrep, ki zmanjšuje posledice delovanja ribogojnice.

Previsoke koncentracije celotnega organskega ogljika preko različnih biogeokemijskih procesov lahko napovedujejo velike spremembe v biodiverziteti. Raziskava (Hyland in sod., 2005) je pokazala, da vrednosti $\text{TOC} < 10 \text{ mg g}^{-1}$ ne pomenijo velike grožnje za združbe, vrednosti nad 35 mg g^{-1} pa zelo veliko.

Tako celotni organski ogljik kot celotni dušik sta v našem primeru pokazala, da referenčna točka ZBMA ni primerna, saj so njune vrednosti približno v rangu vrednosti v bližini kletk, vsekakor pa so višje od vrednosti točk, ki so od kletk oddaljene cca 200 m. Tudi to dejstvo je verjetno posledica bolj fine strukture sedimenta, predpostavimo pa lahko tudi, da se v centru zaliva, kjer je locirana ZBMA, odlagajo večje količine finega materiala kot posledica cirkulacije vodnih mas (to predpostavko bi bilo potrebno preveriti z meritvami tokov in z mrežo sedimentnih pasti); vizualna potapljaška opazovanja potrjujejo, da je sediment bolj rahel kot pod ribjimi kletkami.

Z novo metodo je bil prvič izmerjen redoks potencial; kljub temu, da je bila istočasno testirana metoda vzorčenja in merjenja, so rezultati pokazali zelo velike razlike med centralno točko F0CC in ostalimi. Redoks potencial (E_h) je zanesljiv indikator, primeren za

hitro oceno oksigeniranosti sedimenta in glede na dejstvo, da je mogoče sediment s pomočjo gravitacijskega korerja ali večjega grabila enostavno vzorčiti, tudi zelo primeren.

Mikrofitobentos smo izrazili s koncentracijami klorofila *a* in feopigmentov. Klorofil *a* kot indikator vpliva ni zanesljiv, ker se je pokazalo, da so razlike med posameznimi replikati zelo velike, kar je posledica gručaste razporeditve bentoških alg. Razlike med krogi niso značilne, referenčna točka ZBMA pa iz že navedenih razlogov ni primerna. V letu 2000 je bilo izpeljano podobno vzorčenje v ribogojnici Ribič, vendar samo julija in na transektu samo v eni smeri. Vrednosti so tedaj naraščale od centra proti obodu in 6 metrov izven oboda, (Forte, 2001), bile so pa tudi nižje od julijskih 2006. Že tedaj pa se je referenčna točka ZBMA pokazala kot nezanesljiva. Poleg tega klorofil *a* kaže velike sezonske razlike, kar v kombinaciji z gručasto porazdelitvijo ta indikator naredi neuporaben. Nekoliko drugačno sliko kažejo feopigmenti, opazen gradient upadanja od kletke je možno uporabiti kot indikator prostorskega vpliva. Tudi za feopigmente velja, da je ZBMA neprimerna kot referenčna točka (Forte, 2001).

Makrofavno smo vzorčili samo v juliju 2006. Kot indikator smo uporabili AMBI indeks, ki se je doslej izkazal kot indikator sprememb v združbah tako prostorsko kot časovno. Testiran je bil na več lokacijah (v te teste je bila vključena tudi ribogojnica Fonda) in primerjan z indeksom ITI (Infaunal Trophic Index) (Borja in sod., 2009). V piranskem primeru je bilo ujemanje popolno, zelo dobro pa je tudi ujemanje indeksa H' in števila taksonov. Kljub zanesljivosti ima AMBI (kadar so vključeni še ostali indeksi, govorimo o MAMBI indeksu) za naše razmere nekaj pomanjkljivosti: ker temelji na petih ekoloških skupinah¹², potrebuje široko bazo vnaprej definiranih vrst. Ta baza je sicer dosegljiva preko spleta, vendar jo je potrebno dopolnjevati in prilagajati lokalnim razmeram. Takšno delo zahteva pristop specialistov, zaradi česar je indeks cenovno dokaj neugoden.

Visoki koeficienti korelacij med AMBI indeksom in ostalimi parametri so prisotni, kadar je v obdelavo podatkov vključena točka F0CC. Ta točka predstavlja dno pod samim centrom kletke, zato so vrednosti vseh parametrov ekstremne, korelacije pa zavajajoče.

Spremembe v strukturi združbe meiofavne pod ribogojnico v Piranskem zalivu so bile prvič izmerjene julija leta 2000, vendar v ribogojnici Ribič. Pokazal se je jasen trend

¹² EG1 – na motnje občutljive vrste; EG2 - za motnje indiferentne vrste; EG3 - na motnje tolerantne vrste; EG4 – oportunistične vrste drugega reda; EG5 – oportunistične vrste prvega reda.

naraščanja števila skupin in števila vrst od kletke navzven, kljub temu, da je bil narejen samo en transekt in da je bila zunanja točka oddaljena samo 6 m od oboda kletke. Tudi tedaj pod samo kletko ni bilo opaženih skupin Gastropoda, Bivalvia, Kinorhyncha in Hydroidea.

Za metodo, ki je jasno pokazala vpliv ribogojnice na združbo meiofavne tako zgodaj spomladi kot tudi poleti in ta vpliv ločila od sezonskega, smo uporabili večstopenjsko lestvičenje – MDS, ki upošteva kot merilo Bray-Curtisovo podobnost med združbami. Primerjava združb samo med kontrolnimi točkami ni pokazala razlik med spomladansko in poletno sezono, zato lahko vpliv sezon na formiranje različnih združb izključimo (Grego, 2010). Vpliv gojitvenih kletk pa se ne odraža samo na nivoju skupin, podobno pravilo velja tudi znotraj ceponožcev: nekatere vrste v bližini kletke izginejo, dominantna vrsta je *Bulbamphiascus sp. 1*, vendar njegova abundanca pade že 6 m od roba kletke. Vrsta *Bulbamphiascus imus* pa je že bila predlagana kot indikatorska vrsta (Grego, 2010).

Podobne rezultate (zmanjšanje števila taksonov v neposredni bližini kletke in zmanjšanje gostote ceponožcev v primerjavi s kontrolnimi točkami) so zabeležili tudi v Linskem kanalu (Najdek in sod., 2007).

Meiofavna je kot indikator zanesljiva in uporabna tudi, ko gre za spremljanje obnavljanja bentosa po končanem obratovanju ribogojnice, vendar zahteva visoko specialistično znanje in je cenovno neugodna.

5.2 SKLEPI

Predpostavili smo, da ima hranjenje rib v plavajočih kletkah v plitvem zalivu omejen prostorski vpliv na okolico. Ta vpliv mora biti opazen tako v sedimentu kot v bentoških združbah in v pelagialu. V vodnem stolpcu smo s primerjavo koncentracij hranilnih soli, bakterijske produkcije, obarvanosti filtrov pred in po hranjenju dokazali, da 3 ure po hranjenju vrednosti narastejo. Za oceno trenutnih vplivov na stanje v vodnem stolpcu je torej potrebno upoštevati čas hranjenja rib; primeren čas vzorčenja je 3 do 4 ure po hranjenju.

Z meritvami različnih parametrov v sediment in na njem ter s statistično obdelavo tako pridobljenih podatkov smo dokazali, da se vplivi hranjenja rib odražajo v ekosistemu in da hranjenje v njem povzroča motnje, ki so v bentosu tudi dolgoročne (večletne). Kot indikatorje teh sprememb smo ocenili posamične parametre, nekatere indikatorje (predvsem biološke) pa smo uporabili kot indekse.

Ugotovili smo, da vsi indikatorji niso primerni za prenos v vsakdanjo rabo (Preglednica 17, Preglednica 18, Preglednica 19).

Obarvanost filtrov po filtraciji je enostaven kazalec, ki deluje, kadar gre za razlike med vodnimi masami. Ne pove pa nič o vzrokih za razlike; potrebne bi bile nadaljnje analize na večjih vzorcih in z več parametri.

V primerih, ko je ribogojnica postavljena v bližini rečnih izlivov, lahko prihaja do mešanja vplivov ribogojnice in rečnih vnosov. Vplivov, ki bi opozorili na prisotnost snovi iz reke Dragonje, nismo opazili. Iz nizkih pretokov v dnevih pred vzorčenjem in v času vzorčenja ($0,302 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) sklepamo, da do takšnega mešanja ni prišlo in bo potrebno v prihodnosti rabo kazalcev, ki opredeljujejo stanje v vodnem stolpcu v času velikih pretokov, dodatno raziskati.

6 POVZETEK

Potrebe človeštva po hrani naraščajo, istočasno pa naravni viri usihajo. V oceanih je že prišlo do prelova komercialnih vrst rib. Posledično je razvoj marikulture pri reševanju problema logičen korak naprej. V začetkih se je ta rešitev zdela neproblematična, vendar so se kmalu pokazale konfliktne situacije pri rabi prostora (turizem, ribolov v bližini ribogojnic, ovirane plovne poti), še bolj izrazit problem pa danes predstavlja vpliv gojenja organizmov na okolje.

Morje je kot naravna dobrina last države, ki upravljanje z njim ureja s pravno regulativo, hierarhično, od Ustave navzdol. Takšno upravljanje je možno samo na osnovi poznavanja ekosistema, njegovih funkcij in posledično dobrin ter storitev. Rezultat pravilnega upravljanja pa je, vsaj za področje narave, trajnostni razvoj.

Gojenje rib v zasidranih kletkah povzroča v okolju več motenj: fizično omejevanje prostora, vnos farmacevtskih sredstev lahko škodljivo vpliva na ostale organizme, zaradi čvrstega substrata prihaja do sprememb v pelagialu, neporabljena hrana in izločki vplivajo na razmere v vodnem stolpcu, predvsem pa njihovo kopičenje na dnu (preko različnih procesov) povzroča eutrofikacijo in slabšanje stanja ekosistema. Določen vpliv na divje populacije rib imajo pobegi gojenih križancev, ki lokalnim vrstam konkurirajo za hrano.

V Sloveniji so bile prve meritve opravljene v okviru IAEA Research Contract NO: 11103/UNEP, v okviru Petega in Šestega okvirnega program pa sta sledila dva večja projekta (BIOFQs in ECASA).

Pristop, ki povezuje človeka in ekosistem, je ekosistemski pristop. Odnosi človeka do ekosistema vključujejo DPSIR (Driver, Pressure, Status, Impact, Response) analizo. Eden od elementov, ki so nujni za racionalno obravnavanje vsebine DPSIR, so indikatorji.

Indikator ali kazalec je pojem, ki povzema ali združuje raznovrstne podatke s ciljem poenostavljanja informacije in jo s tem naredi uporabno za upravljalce prostora. Lahko je enostaven (en parameter), lahko je sestavljen (indeks).

V Sloveniji trenutno deluje ena ribogojnica, ki vzgaja brancine (*Dicentrarchus labrax*). Vzgoja poteka v sidranih kletkah, cikel traja 3-4 leta, letna proizvodnja je cca 120 ton. Fizikalno – kemijske razmere so ugodne, izmenjava zalivske vodne mase z odprtim morjem je 1,5 dneva.

Cilj raziskave je bil ugotoviti, kateri parametri so primerni kot kazalci vplivov hranjenja rib na okolje. Zato smo izvedli vzorčenje v vodnem stolpcu (oktober 2005, ribogojnica Ribič) in dve vzorčeni na in v sedimentu leta 2006 (ribogojnica Fonda). Leta 2005 smo za vzorčenje v vodnem stolpcu razvili metodo istočasnega vzorčenja na trinajstih točkah v neposredni okolici kletke, v vodnem stolpcu, na globini pet metrov. Vzorčili smo pred hranjenjem rib in tri ure po njem. Preizkusili smo tudi novo metodo določanja barve celotne suspendirane snovi, ki ostane na filtru. Za to smo uporabili programsko opremo Corel Photo Paint in pokazali, da je metoda za razlikovanje barv uporabna, saj so se točke okoli kletke statistično razlikovale od oddaljenih kontrolnih točk.

Poleg analize barve filtrov smo v vodnem stolpcu kot potencialna indikatorja analizirali abundanco in bakterijsko produkcijo pred hranjenjem in po njem. Ugotovili smo, da zaradi velike variabilnosti med vzorci abundanca kot indikator ni primerna, produkcija pa je uporabna tako časovno kot prostorsko. Primerni kazalci so še organski ogljik in dušik, amonij, ortofosfat, celotni fosfor in celotna suspendirana snov.

Hitrost sedimentacije smo merili s sedimentacijskimi pastmi. Gre za primeren kazalec, če podatke primerjamo z oddaljenimi referenčnimi postajami; pomembno je, da gre za kumulativen način zbiranja vzorca, zato je potrebno upoštevati frekvenco hranjenja rib.

V letu 2006 smo se osredotočili na morsko dno, kjer smo z jedrniki različnih premerov vzorčili tako zgornji sloj sedimenta (analiza bentoškega klorofila *a* in feopigmentov) kot porno vodo (za analitiko nutrientov in meiofavno) ter sediment sam za analizo trdne faze (C_{org} , TN). V jedrnikih premera 100 mm pa smo na nekaj točkah izmerili redoks potencial in analizirali makrofavno za kasnejši izračun indeksa MAMBI. Za meritve redoks potenciala v jedniku smo razvili prenosno zložljivo komoro, v katero smo dovajali dušik, z njim iztisnili zrak, potem pa s posebnim mehanizmom potiskali sondo instrumenta v sediment. Te meritve so pokazale, da je redoks potencial zelo dober indikator anoksičnosti sedimenta, kar nakazuje visoko stopnjo obremenitve z organsko snovjo. Nutrienti v porni vodi (predvsem amonij, fosfor in sulfat), posebno v prvih 2 cm, so eden pomembnejših indikatorjev, delujejo pa predvsem, če vrednosti primerjamo z vrednostmi referenčnih točk. Dolgoročno pa pokaže naraščanje obremenitev organski ogljik: s sledenjem koncentracij v globino sedimenta lahko ugotavljamo potek razvoja ribogojnice.

Kot indikator vpliva hranjenja na bentoško makrofavno smo uporabili indeks AMBI oz. MAMBI (slednji vključuje še druge diverzitetne indekse). Ugotovili smo, da indeks dobro opiše gradient vpliva od kletke navzven, da pa je dokaj zahteven, saj zahteva specialistična znanja taksonomov. Podobno je z meiofavno, za katero pa lahko rečemo, da predstavlja kazalec, ki je zaradi relativno hitrega odziva (gre le za združbo) na vplive primeren za spremljanje sprememb tako pri razvoju ribogojnice kot pri rekolonizaciji morskega dna po ukinitvi gojenja rib.

6.1 SUMMARY

The needs of humanity for food are rising, but in the same time the natural sources are diminishing. From the oceans we have already taken far too much fish and therefore the development of the aquaculture or in this context – mariculture, is the only logical step forward. In its beginnings this solution seemed without obstacles, but soon some conflict situations have emerged, especially considering the use of space (tourism, fishing in the proximity of fish farms, disturbed maritime traffic), but an even bigger problem today lays in the influence of growing organisms on the environment.

As a natural resource the sea is the property of a country, which manages it with legal regulations, stated hierarchically, from the Constitution down. This kind of management is possible only on the base of knowledge about the ecosystem, its functions and therefore its goods and services. The result of a correct management of an ecosystem is, at least in regard of nature – sustainable development.

The aquaculture can be, depending on its environment, fresh water, brackish or marine. Grown organisms are algae, crustaceans, molluscs and fish. For growing those organisms, there are several systems in place, but the anchor cages, that today are the most popular for growing fish have to meet certain demands, regarding the location (good exchange of water masses, shelter from rough weather conditions, appropriate depth, sea bed structure that enables an adequate oxygenation of the sediment).

Growing fish in the moored cages causes several disturbances in the environment: physical restriction of the space, input of the pharmaceuticals that can cause harm to other organisms, because of the hard substrate (net pens) there can occur changes in the pelagial, unused food and fish excretion can influence the conditions in the water column, even more, their accumulations on the sea bed (through different processes) causes eutrophication and deterioration of the ecosystem's status.

The quickest way the mariculture develops is in Asian countries, however, the development in the Northern Europe and in the Mediterranean is also very fast. This development is followed by different researches about the influences of the fisheries on the marine environment and there is an even bigger emphasis on the impacts of feeding on the ecosystem. Several large European projects connected research institutions with the aim to evaluate the influences and prepare the tools for their diminution or correct management of

the marine ecosystem (MERAMED, MedVeg, AQCESS, BIOFQs, SAMI, ECASA, SPICOSA, PREVENT ESCAPE).

In Slovenia the first measurements were made in the context of IAEA Research Contract NO: 11103/UNEP, in the frame of the Fifth and Sixth framework however there have been two larger projects (BIOFQs in ECASA).

The approach that connects human society and the ecosystem is the ecosystem approach. The relations of humans towards the ecosystem incorporate DPSIR (Driver, Pressure, Status, Impact, Response) analysis. One of the elements necessary for a rational evaluation of the content of DPSIR, are indicators.

An indicator or rating point is a concept that incorporates or summarizes various data with the aim to create useful information for the management team or decision makers of a given space. It can be simple (one parameter) one or more complex (index).

At the moment only one fish farm in Slovenia is operational, and this fishery raises sea basses (*Dicentrarchus labrax*). This process takes place in the moored cages and the cycle lasts from three to four years. Their annual production of the fishery is approximately 120 tons. Physical and chemical conditions of the surrounding water are good, the exchange of the bay water mass with the open sea lasts for 1.5 day.

The aim of the research is to establish which parameters can be used as indicators for influences of fish feeding on the environment. Therefore, we conducted sampling in the water column (October 2005, fishery Ribič) and two samplings of and on the sediment in the year 2006 (fishery Fonda). In 2005 we developed a new sampling method for contemporary sampling on 13 spots in the close surroundings of the cage, in the water column, on the depth of five meters. We took the samples before feeding the fish and three hours after. We also tested the new method of determining the colour of total suspended solids that remains on the filter. For this, we used Corel Photo Paint software and showed that the method is useful for distinguishing colours, because the spots around the cage became statistically different from distant control points.

Alongside the analysis of the colour of the filters in the water column we analyzed as potential indicators also the abundance and the bacterial production before and after feeding. We established that because of the huge variability among samples abundance as an indicator has no relevance, however the production does, both in time and space.

Suitable indicators are also: organic carbon and nitrogen, ammonia, orthophosphate, total phosphorus and total suspended solids.

We measured the sedimentation rate with the sediment traps. The sedimentation rate is a suitable indicator if we compare the data with distant reference stations. The important thing is to remind ourselves that this is a cumulative way to collect samples, therefore we must take in consideration the frequency of fish feeding.

In 2006, we decided to pay focus on the sea bed. With corers with different diameters we have taken samples both the upper layer of sediment (analysis of benthic chlorophyll *a* and phaeopigments) and the interstitial water (for analysis of the nutrients on the meiofauna) and the sediment itself for the hard phase analysis (C_{org} , TN). In the corers of the diameter of 100 mm we measured on some points the redox potential and analyzed the macrofauna for the following sum of the MAMBI index. For the measurements of the redox potentials in the corer, we developed a portable and flexible chamber in which we supplied nitrogen and by doing so forced the air out. With a special mechanism we pushed the instrument into the sediment. These measurements showed that the redox potential is a very good indicator of anoxic condition of the sediment, which proves a high level of the organic matter loading. The nutrients in the interstitial water (mostly ammonia, phosphorus and sulphate), especially in the first layer (2 cm) are one of the most important indicators, that work especially if we compare the values with those from the reference points. The long-term effect can show the increase in the strain because of the organic carbon: with following the concentrations into the depth of the sediment, we can determine the past development of the fishery.

As an indicator of the influence of the feeding on the macrofauna we used MAMBI index (it includes other diversity indexes). We discovered that the index describes the gradient of the influence from the cage outward well, however it is quite demanding because it requires some specific involvement from the taxonomists. The same regards the meiofauna for which we can say that presents the rating point which is, because of the very fast reaction on the influences, suitable for tracking changes about the development of the fishery as well as the recolonization after the fish farm stops operating.

7 VIRI

- Apostolaki, E.T., Tsagaraki, T., Tsapakis, M., Karakassis, I. 2007. Fish farming impact on sediments and macrofauna associated with seagrass meadows in the Mediterranean. *Euarine, Coastal and Shelf science*, 75: 408-416
- Bartley D.M., Rana, K., Immink, A.J. 2001. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10: 325-337
- Belias, C., Dassenakis, M., Scoullou, M. 2007. Study of the N, P and Si fluxes between fish farm sediment and seawater. Results of simulation experiments employing a benthic chamber under various redox conditions. *Marine chemistry*, 103: 266-275
- Borja, Á., Rodriguez, J. G., Black, K., Bodoy, A., Emblow, C., Fernandes, T., Forte, J., Karakassis, I., Muxika, I., Nickell, T. d., Papageorgiou, N., Pranovi, F., Sevastou, K., Tomassetti, P., Angel, D. 2009. Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe. *Aquaculture*, 293: 231-240
- Convention on Biological Diversity
<https://www.cbd.int/ecosystem/principles.shtml> (17. september 2014)
- Cromey, C. J., Black, K. D. 2005. Modelling the impacts of finfish aquaculture. V: Hargrave, B. T. (ed.). *Environmental Effects of Marine finfish Aquaculture*. Berlin, Springer: 129-156
- Cromey, C. J., Nickell, T. D., Black, K. D. 2002. DEPOMOD – modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214: 211 – 239
- Delgado, O., Ruiz J., Perez, M., Romero, J. and Ballestreros, E. 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after loading cessation. *Oceanologica Acta*, 22:109-117
- ECASA TOOLBOX
<http://www.ecasatoolbox.org.uk/> (17. september 2014)

- Flander Putrle, V. 2011. Phytoplankton composition in the fish farm area: Pigment analyses. V: Zooplankton and Phytoplankton. Kattel G. (ed.). Hauppauge, Nova Science Publishers, Inc.: 141-157
- Forte, J. 2001. Vpliv gojišča rib na ekološke razmere notranjega dela Piranskega zaliva. Diplomaska naloga, Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 50 str.
- Forte, J., Turk, V., Čermelj, B., Flander Putrle, V., Grego, M., Tinta, T., Mavrič, B., Malej, A. 2010. ECASA study site report: final report, Reports MBS - Marine biology station, 122. Piran, National Institute of Biology, Marine Biology Station Piran: 41 str.
- Gray, J. S. 2009. Ecology of Marine Sediments. 2nd ed., Oxford, University Press:174-178
- Grego, M. 2010. Impact of fish culture on meiofauna in the Bay of Piran. Doctoral Dissertation, Ljubljana, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty: 103 str.
- Hyland, J., Balthis, L., Karakassis, I., Magni, P., Petrov, A., Shine, J., Vestergaard, O., Warwick, R. 2005. Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. Marine Ecology Progress Series, 295: 91-103
<http://www.int-res.com/articles/meps2005/295/m295p091.pdf> (17. september 2014)
- Karakassis I. 2001. Ecological effects of fish farming in the Mediterranean. V: Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms. Uriarte A., Basurco B. (eds.). Zaragoza: CIHEAM: 15-22
- Karakassis, I. 2013. Environmental interactions and initiatives on site selection and carrying capacity estimation for fish farming in the Mediterranean. V: Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture. Expert Workshop, Stirling, 6–8 December 2010. Ross, L.G., Telfer, T.C., Falconer, L., Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J. (eds.). Rome, FAO: 161–170
- Karakassis, I., Hatziyanni, E., Tsapakis, M., Plaiti, W. 1999. Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. Marine Ecology Progress Series, 184: 205-218
- Karakassis, I., Pitta, P., Krom, M. D. 2005. Contribution of fish farming to the nutrient loading of the Mediterranean. Scientia Marina, 69, 2: 313-321

- Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Papadopoulou, K.-N., Plaiti, W. 2000. Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES Journal of Marine Sciences*, 57: 1462-1471
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Smith, C. J., Rumohr, H. 2002. Fish farming impacts in the Mediterranean studied through sediment profiling imagery. *Marine Ecology Progress Series*, 227: 125-133
- Katavić, I. 2003. Učinci kaveznih uzgajališta riba na morski okoliš. *Ribarstvo*, 61, 4: 175–194
- Kovač, N., Vrišer, B., Čermelj, B. 2001. Impact of net cage fish farm on sedimentary biogeochemical and meiofaunal properties of the Gulf of Trieste. *Annales, Series historia naturalis*, 11, 1: 65-74
- Lazzari, R., Baldisserotto, B. 2008. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34, 4: 591-600
- McDougall, N., Black, K.D. 1999. Determining sediment properties around a marine cage farm using acoustic ground discrimination: RoxAnnTM. *Aquaculture Research*, 30: 451-458
- Malačič, V., Martinčič, U., Mavrič, B., Bajt, O., Kovač, N. 2014. Vpliv cirkulacije v široko odprtih zalivih in pomorskega prometa na transport sedimenta. *Fazno poročilo 11. Poročila 151*. Piran, Nacionalni Inštitut za Biologijo - Morska biološka postaja: 69 str.
- Malačič, V., Forte, J. 2003. Distribution of the food surplus and faecal particles on the seabed below a fish farm in the Bay of Piran. *Annales, Series historia naturalis*, 13: 3-8
- Matijević, S., Kušpilić, G., Morović, M., Grbec, B., Bogner, D., Skejić, S., Veža, J. 2009. Physical and chemical properties of the water column and sediments at sea bass/sea bream farm in the middle Adriatic (Maslinova Bay). *Acta Adriatica*, 50, 1: 59 – 76
- Mazzola, A., Mirto, S., La Rosa, T., Fabiano, M., Danovaro, R. 2000. Fish-farming effects on benthic community structure in coastal sediments: analysis of meiofaunal recovery. *ICES Journal of Marine Sciences*, 57: 1454-1461
- Mirto, S., Gristina, M., Sinopoli, M., Maricchiolo, G., Genovese, L., Vizzini, S., Mazzola, A. 2012. Meiofauna as an indicator for assessing the impact of fish farming at an exposed marine site. *Ecological indicators*, 18: 468-476

- Modica, A., Scilipoti, D., La Torre, R., Manganaro, A., Sarà, G. 2006. The effect of mariculture facilities on biochemical feature of suspended organic matter (southern Tyrrhenian, Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 177-184
- Muxica, I., Borja, Á., Bonne, W. 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecological indicators* 5:19-31
- Najdek, M., Travizi, A., Bogner, D., Blazina, M. 2007. Low impact of marine fish farming on sediment and meiofauna in Limski channel (northern Adriatic, Croatia). *Fresenius Environmental Bulletin*, 16: 784-791
- Ogorelec, B., Mišič, M. and Faganeli, J. 1991. Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic). Sedimentological aspects. *Marine Geology*, 99: 79-92
- Papoutsoglou, S., Costello, M.J., Stamou, E, Tziha, G. 1996. Environmental conditions at sea-cages and ectoparasites on farmed European sea-bass, *Dicentrarchus labrax* (L.) and gilt-head sea-bream, *Sparus aurata* L., at two farms in Greece. *Aquaculture Research*, 27: 25-34
- Pitta, P. 1996. Dynamics of the plankton community in sea bream (*Sparus auratus*) rearing mesocosms. PhD Thesis, Heraklion, University of Crete: 229 str.
- Pitta, P., Apostolaki, E. T., Tsagaraki, T., Tsapakis, M., Karakassis, I. 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
- Pitta, P., Karakassis, I., Tsapakis, M. and Živanović, S. 1999. Natural vs. Mariculture induced variability in nutrients and plankton in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 391: 181-194
- Pitta, P., Tsapakis, M., Apostolaki, E. T., Tsagaraki, T., Holmer, M., Karakassis, I. 2009. »Ghost nutrients« from fish farms are transferred up the food web by phytoplankton grazers. *Marine Ecology Progress Series*, 374: 1-6
- Rapp, P., Ramirez, W. R., Rivera, J. A., Carlo, M., Luciano, R. 2007. Measurement of organic loading under an open-ocean aquaculture cage, using sediment traps on the bottom. *Journal of Applied Ichthyology*, 23: 661-667

- Shahidul, I. 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analyses towards model development. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 48-61
- Štrukelj, M. 2008. Vpliv marikulture na okolje. Diplomsko delo. Nova Gorica, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju: 54 str.
- Tinta, T. 2011. Bacterial community structure and function in the Gulf of Trieste with some application studies. Doctoral Dissertation, University of Nova Gorica, Biotechnical Faculty: 135 str.
- Tsapakis, M., Pitta, P., Karakassis, I. 2006. Nutrients and fine particulate matter released from sea bass (*Dicentrarchus labrax*) farming. *Aquatic Living Resources*, 19: 69-75
- Uredba o koncesijah za rabo vode za vzrejo avtohtonih morskih rib na območju Piranskega zaliva. Ur.l. RS, 124/06
- Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G, Rinaldi, A., 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environments*, 9, 3: 329-357
- Wu, R.S.S. 1995. The Environmental Impact of Marine Fish Culture: Towards a Sustainable Future. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 4-12:159-166
- Zakon o ohranjanju narave (Ur.l. RS 96/2004)
- Zakon o varstvu okolja (Ur.l. RS št.39/2006)
- Zakon o vodah (Ur.l. RS 67/2002)

ZAHVALA

Zahvaljujem se kolektivu Morske biološke postaje Nacionalnega inštituta za biologijo in vodji slovenskega dela projekta ECASA, prof. dr. Alenki Malej, ki je omogočila izvedbo tega dela. Še posebej pa sem hvaležen potapljačem, ki so svoje delo v težkih razmerah odlično opravili.

Posebno zahvalo dolgujem ribogojnici Fonda; žal že pokojnemu prijatelju Ugu, Leanu in Ireni, za dovoljenje, da smo lahko pri njih opravili vzorčenja in meritve ter za sodelovanje pri postavljanju orientacijske mreže vzorčevalnih točk na dnu pod njihovo ribogojnico.

Seveda pa so tu še starši, ki so me vzpodbujali na začetku podiplomskega študija, družina (Karmen, Mateja, Marko), ki so v zadnjem času zelo dobro prenašali mojo odsotnost iz družinskega življenja. In, Mateja, hvala za pomoč v pravem trenutku.

Seveda pa brez zahvale mojemu mentorju, prof. dr. Mihaelu J. Tomanu, ki je zmedo v moji glavi usmerjal s kratkimi in natančnimi navodili, tega poglavja ni mogoče zaključiti.

Še enkrat, hvala vsem.

Jani