

Prirodoslovno-matemati ki fakultet

UTJECAJ RIJEKE PO NA RIBLJE POPULACIJE SJEVERNOG JADRANA
(EFFECTS OF PO RIVER OUTFLOW ON FISH POPULATIONS OF NORTH ADRIATIC
SEA)

Ime i prezime studentice: Ema Pasari ek

Studijski program: Znanosti o okolišu (Environmental Sciences)

Mentor: doc. dr. sc. Petar Kruži

Zagreb, 2014.

SADRŽAJ

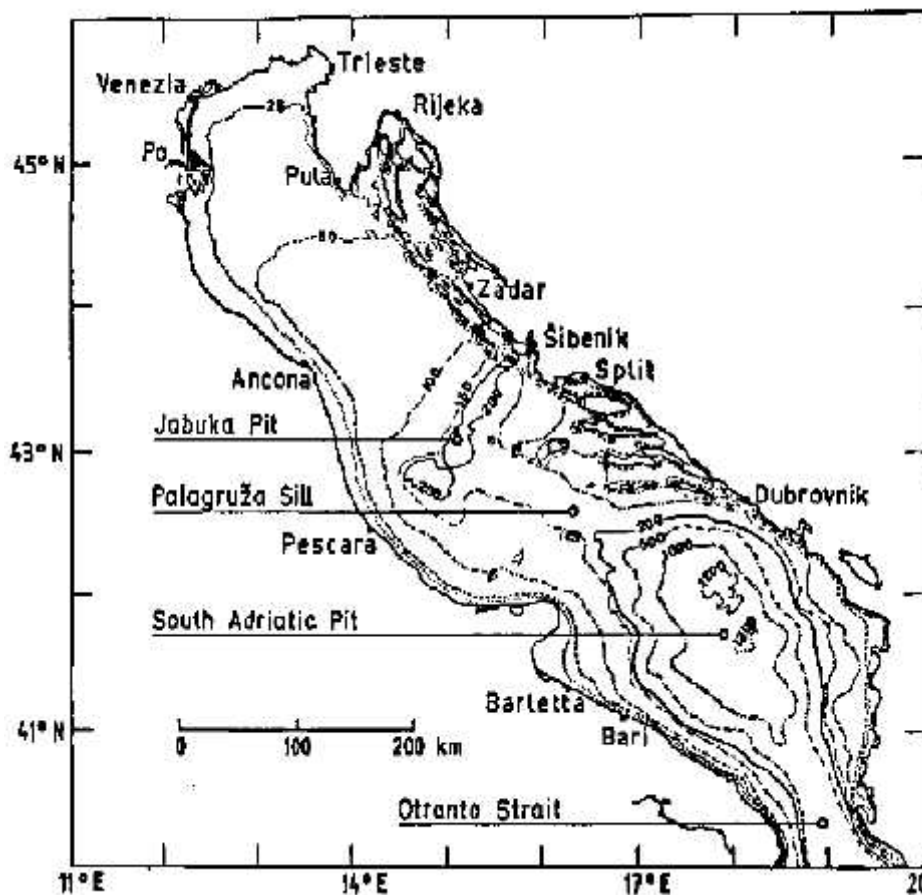
1. UVOD.....	1
2. JADRANSKO MORE.....	2
3. RIJEKA PO.....	5
3.1. UTJECAJ NA RIBLJE POPULACIJE.....	8
4. ZAKLJUČAK.....	9
5. LITERATURA.....	10
6. SAŽETAK.....	11
7. SUMMARY.....	12

1. UVOD

Utjecaj raznih imbenika na okoliš važna je sastavnica funkcioniranja svakog „živog“ sustava u okolišu iji je on neizostavan dio. Sustav je dinamičan, zatvoren krug sa tijesnom povezanošću imbenika i prilagodbom „života“ na njihove promjene. Dovoljne su male oscilacije jednog imbenika da pokrenu lavinu velikih promjena drugih imbenika. Antropogeni utjecaj je, danas, neizbježan element ovog sustava, ali, također, i jedan od onih koji mogu uvelike pridonijeti, bilo pozitivno ili negativno, njegovoj transformaciji. Globalno gledajući, razumijevanje ekosustava, njegova interpretacija, edukacija i djelovanje za njegovu zaštitu važni su u raznim aspektima ljudskog života. Problem unosa štetnih tvari i nutrijenata u Sjeverni Jadran, putem rijeke Po, znatno utječe na riblje populacije i cijeli ekosustav. Promjena okolišnih uvjeta, koja nastaje kao rezultat unosa tih tvari, pokreće stvaranje nove ravnoteže koja se ostiže i kroz smanjenje ili povećanje određenih ribljih populacija; migracije ribljih populacija; naseljavanja od strane nekarakterističnih, egzotičnih vrsta prilagođenih uvjetima novostvorene ravnoteže ekosustava. Svjetlo je dio većeg sustava, ali i, samom svojom rasprostranjenošću, upleten u sve manje „žive“ sustave. Otpadne vode, ribolov, turizam samo su neki od primjera antropogenog utjecaja na morski okoliš. Često se nereguliranom ili neprimjerenom djelatnošću uvijek remeti već spomenuta, prirodna ravnoteža. Postupanjem na takav način može doći do izumiranja određenih vrsta riba, drastičnog smanjenja ribljih populacija za ekonomsko iskorištavanje i stvaranja neravnoteže u hranidbenom lancu ekosustava. S druge strane, znanstvena istraživanja u svrhu razumijevanja antropogenog utjecaja u ovom, zatvorenom krugu dovode do nove razine svjesnosti. Svjesnost, pak, donosi zakone i reguliranje upravljanjem ribljim populacijama, gospodarenjem morem, industrijskim otpadom, otpadnim vodama i sličnim. Biogeokemijske karakteristike Jadranskog mora ili uže, Sjevernog Jadrana te rijeke Po; cirkuliranje mora; promatranje ribljih populacija pomoći će u interpretaciji stanja Sjevernog Jadrana.

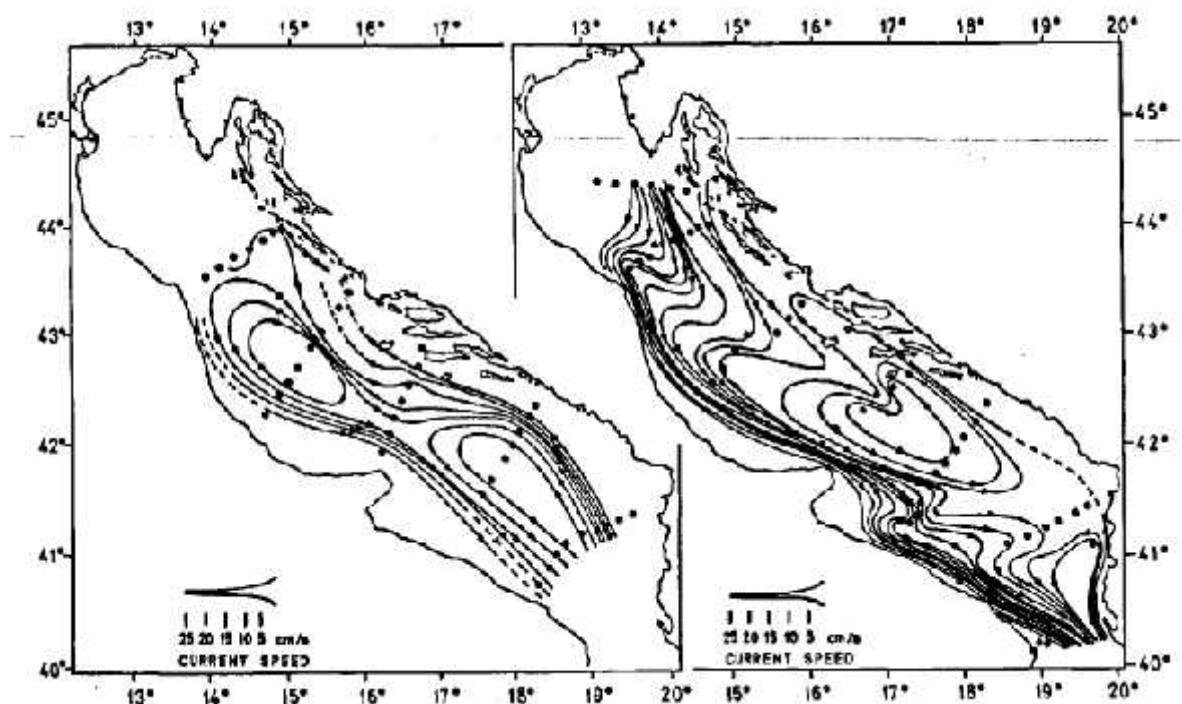
2. JADRANSKO MORE

Izduženo Jadransko more može se podijeliti na tri dijela. Prvi dio, koji uključuje Venecijanski zaljev, plitak je s jednolikim nagibom do 100 m dubine te naglim povećanjem dubine do 200 m južno od Ancone. Najdublja točka drugog dijela je Jabuka kotlina s dubinom od, otprilike, 280 m. Drugi dio Jadranskog mora, nastavlja se od Jabuka kotline do kraja Palagruškog praga. Treći dio, također, ima najdublju točku - Južnojadransku kotlinu, dubine, približno, 1200 m. Dubina se smanjuje od Južnojadranske kotline do Otrantskih vrata gdje se Jadransko more „otvara“ u Jonsko more. Površina koju prekriva Jadransko more je, oko, 800x200 km, dok je volumen, blizu, $3,6 \times 10^4 \text{ km}^3$. Zapadna obala Jadranskog mora je pravilna s izobatama paralelnim pružanju obale te jednolikim povećanjem dubine prema otvorenom moru. Isto na obala, s druge strane, vrlo je razvedena te se sastoji od brojnih otoka i rtova (Sl. 1.)



Slika 1. Položaj i topografija Jadranskog mora (Orlić i sur., The currents and circulation of the Adriatic Sea, Oceanologica Acta, 1992, vol. 15, no.2.).

Atmosferski poremećaji se, obično, kreću od zapada prema istoku budući da je Jadransko more smješteno između suprotropske zone visokog tlaka i umjerenog ili zapadnog pojasa. Tijekom godine se ove zone premještaju te uzrokuju oštre sezonske promjene. Većinu godine, prevladavaju tropske ciklone i anticiklone kao posljedica utjecaja zapadnog pojasa dok ljeti nestaju pod utjecajem suprotropskog visokog tlaka. Važni su, također, utjecaji Islandskog minimuma i Euroazijskog maksimuma zimi te Azorskog maksimuma i Karachi minimuma ljeti. Dominantni vjetrovi, tijekom zime, su bura (sjeveroistočni vjetar) i široko (jugoistočni vjetar) dok su to ljeti etezijski vjetrovi (sjeverozapadni vjetrovi) i to, najviše, u Južnom Jadranu. Uzduž obale je formiranje vjetrova karakteristično za topli dio godine. Globalna radijacija koju prima Jadransko more se kreće između 400-500 J/cm²/dan u prosincu i 2200-2600 J/cm²/dan u srpnju. Temperature zraka su najviše u srpnju, a najniže u siječnju. Ljetne temperature variraju između 22 i 26°C, a zimske između 10°C na jugu i do 2°C na sjeveru te je isto na obala toplija od zapadne, otprilike 2°C. Najniža relativna vlažnost je ljeti, a najviša u jesen, no bura ju može smanjiti i do 70%. U kasnu jesen dolazi do najveće precipitacije, a najmanje u jesen s time da je precipitacija veća u unutrašnjosti (oko 1000 mm/god) nego na obalnim postajama (400 mm/god). Najveći dotok slatke vode u Jadransko more dolazi putem rijeke Po sa srednjim godišnjim otjecanjem od 1700 m³/s dok rijeke sjeverne i zapadne obale pridonose sa 350 m³/s, a one istočne obale sa 700 m³/s. Također, uzduž istočne obale postoje brojne vrulje koje donose slatku vodu iz litoralnog, krškog područja no nisu od velike važnosti. Jadransko more je izvor najgušće vode na području Istočnog Mediterana. Stvaranje guste vode povoljno je zimi kada hladni i suhi periodi prevladaju nad morem zbog bure. Stvaraju se tri tipa gustih voda: sjevernojadranska voda (11°C, 38,5‰), srednojadranska voda (12°C, 38,2‰) i južnojadranska voda (13°C, 38,6‰). Uz spomenute, postoji i intermedijarna vodena masa-modificirana levantinska intermedijarna voda (14°C, 38,7‰). Površinska cirkulacija Jadranskog mora može se opisati kao ciklonički meandar sa sjevernim tokom uz istočnu obalu i južnim spuštanjem uz zapadnu obalu. Zimi je izraženija istočna struja dok je ljeti izraženija zapadna struja. Brzine struja su, obično, ispod 10 cm/s (Sl. 2.).



Sl. 2. : Površinsko strujanje Jadranskog mora (Orli i sur., The currents and circulation of the Adriatic Sea, Oceanologica Acta, 1992, vol. 15, no.2.).

Plimne struje Jadranskog mora su miješanog tipa i mogu se opisati uz pomoć 7 sastavnih dijelova. Dnevne amplitude povećavaju se od jugoistoka prema sjeverozapadu dostižu i 18 cm do glavne, dnevne sastavnice na vrhu bazena. Poludnevne plimne sastavnice pokazuju amfidromnu točku na geografskoj širini Ancone s maksimalnom amplitudom sastavnice od 26 cm. Većina znanstvenika smatra da su plimne struje Jadranskog mora uzrokovane međusobnim oscilacijama s Jonskim plimama (Orli i sur. 1992).

3. RIJEKA PO

Rijeka Po ima velik utjecaj na zapadne, obalne vode Sjevernog Jadrana. Slatka voda stvara u površinskom sloju perjanicu koja je odijeljena od jadranskih voda frontalnim plohama. Tijekom zime je perjanica slatke vode ograničena na zapadnu obalu dok je ljeti usmjerena prema bazenskom području. Zimi se stvara i, uzduž zapadne obale, sloj „lagane“ vode, širine 10-20 km i dubine 10 m. Snažan horizontalni gradijent između tog sloja i otvorenog mora smatra se važnom pokretkom silom obalnog protoka (Orlić i sur. 1992). Većina godine obilježena je stratifikacijom u blizini delte rijeke Po. Struktura perjanice ovisi o stopi pražnjenja rijeke Po i stratifikaciji vodenog stupca što ima, za posljedicu, maksimalno proširenje vode s kopna pod velikim otjecanjem, pritiskom bure i ljetnom stratifikacijom. U razdobljima slabe stratifikacije te nedostatka pritiska od strane vjetrova, vrtlozi sprečavaju protok slatke vode prema jugu, uz talijanski šelf, dok je, u razdobljima jake stratifikacije, od proljeća do ljeta, perjanica proširena do istarske obale te stvara frontu koja odjeljuje sjeverni bazen. Procesi razrjeđivanja su glavni elementi koji kontroliraju koncentracije otopljenih tvari i estica organske tvari u zoni miješanja rijeke Po. Otopljene organske tvari čine najveću u frakciji rijeke njih organskih tvari, i to 60%. Lokalni izvori autohtonih, otopljenih organskih tvari mogu se promatrati u regijama pod utjecajem slatke vode, no estuariji su, obično, karakterizirani velikom stopom miješanja voda što onemogućava razlikovanje između raznih izvora otopljenih organskih tvari. Budući da su kromoforne otopljene organske tvari važne jer upijaju sunčevu svjetlost, posebno UV spektar i plavi spektar, njihova optička svojstva daju informacije o njima samima kao cjelini i frakcijama otopljenih organskih tvari koje su bitne u istraživanjima organskih tvari i ciklusu ugljika u vodenim ekosustavima. Dio kromatofornih otopljenih organskih tvari se sastoji od alifatskih i aromatskih tvari koje nastaju degradacijom kopnenog i vodenog bilja te omogućavaju nastanak otopljenih organskih tvari koje upijaju svjetlost, najviše u dijelom UV spektra, i sprečavaju prolazak svjetlosti u površinski sloj što zaštićuje fitoplankton i druge vodene životinje, ali, istodobno, ograničava dubinsku produkciju. Tijekom 2004. god., zabilježeno je četverostruko povećanje klorofila *a* u odnosu na 2003. god., a uzrokom se smatra „cvjetanje“ fitoplanktona *Cerataulina pelagica* (Hendey, 1937.) zbog unosa nutrijenata rijekom Po. Koncentracija otopljenog, anorganskog dušika je bila veća 2004. god., no povećana koncentracija NH_4^+ iona je zabilježena 2003. god. zbog jače bakterijske razgradnje, potaknute višim zimskim temperaturama. Negativna korelacija između otopljenog, anorganskog dušika i saliniteta dokazuje da je većina nutrijenata dospjela u more putem slatke vode. Glavna frakcija organskog ugljika bio je

otopljeni ugljik i 2003. i 2004. god. s nižim koncentracijama zimi i višim od prolje a do ljeta kada sezonska cirkulacija povezuje eutrofni, zapadni dio s oligotrofnim središnjim dijelom bazena. Zna ajno više koncentracije 2004. god. mogle bi biti uzrokovane unosom nutrijenata u rijeku Po ili „cvjetanjem“ fitoplanktona zbog dužeg zadržavanja slatke vode u Sjevernom Jadranu. Tako er, zabilježene su više vrijednosti kromofornih otopljenih organskih tvari u 2004. god., no one se ne akumuliraju sezonski u površinskim vodama, jer su vrlo labilne. Na temelju tih podataka, rije ni transport je, najvjerojatniji, mehanizam dospije a kromofornih otopljenih tvari u obalne vode Sjevernog Jadrana (Tablica 1.).

Table 1
Average values for salinity (S), freshwater (Fw), temperature, dissolved organic carbon (DOC), chlorophyll a (Chl a), nutrients and spectroscopic characteristics of CDOM in 2003 and 2004, highlighting the significant differences between the two years.

Parameter	Units	2003			2004			t test p-value
		n	Average	SD	n	Average	SD	
S		59	36.3	4.1	60	34.6	2.3	<0.001
Fw	%	59	4.9	4.6	60	10.1	6.0	<0.001
T	°C	59	10.3	3.0	60	10.8	4.9	ns
DOC	µM	59	114	36	60	155	31	<0.001
POC	µM	59	18.3	9.7	60	50.6	43.7	<0.001
Chl a	µg l ⁻¹	59	1.06	0.76	60	4.27	5.49	<0.001
P-PO ₄ ³⁻	µM	59	0.08	0.06	59	0.05	0.07	<0.05
Si-Si(OH) ₄	µM	59	3.80	2.53	60	6.65	5.25	<0.001
N-NH ₄ ⁺	µM	59	1.47	1.35	60	0.71	0.90	<0.001
N-NO ₂ ⁻	µM	59	0.41	0.23	60	0.76	0.37	<0.001
N-NO ₃ ⁻	µM	59	8.86	8.90	60	14.92	10.83	<0.001
DIN	µM	59	10.74	9.52	60	16.39	11.16	<0.001
aCDOM ₂₈₀	m ⁻¹	56	1.6	0.6	56	2.2	0.9	<0.001
aCDOM ₃₅₅	m ⁻¹	47	0.3	0.2	56	0.5	0.3	<0.05
a [*] CDOM ₂₈₀	m ⁻² gC ⁻¹	48	1.2	0.6	55	1.2	0.4	ns
a [*] CDOM ₃₅₅	m ⁻² gC ⁻¹	48	0.3	0.2	55	0.3	0.2	ns
S _{CDOM} × 10 ⁴	nm ⁻¹	31	20.4	5.9	34	20.7	5.2	ns

Tablica 1. Srednje vrijednosti saliniteta (S), slatke vode (Fw), temperature, otopljenog, organskog ugljika (DOC), klorofila a (Chl a), nutrijenata i spektroskopskih svojstava kromofornih otopljenih organskih tvari u 2003. i 2004. god. (Berto i sur., Winter to spring variations of chromophoric dissolved organic matter in a temperate estuary (Po River, northern Adriatic Sea), Marine Environmental Research 70, 2010, 73-81).

U posljednjem desetlje u primije eno je smanjenje protoka rijeke Po i manjih rijeka sa zna ajnom promjenom u 2003. god. U tom periodu, dogodile su se duge suše, ja e nego one 1940-ih god. Posljedi no, od 2003.-2007. god. unos nutrijenata (dušika, fosfata i ortosilikata), procijenjen za razdoblje 1998.-2002. god., u Sjevernom Jadranu, smanjen je 50-

70%. Razdoblje 2003.-2007. god. okarakterizirano je duplim povećanjem dušika i duplim smanjenjem fosfatnih spojeva kao rezultat smanjenja polifosfata u deterdžentima. Difuzni izvori su važni za opterećenje dušikom zbog poljoprivrede u dolini rijeke Po. Otpadne vode iz razvodnica i uzduž obale pridonose 35% cjelokupnom dušiku i fosforu u Sjevernom Jadranu (Berto i sur. 2010)..

3.1. UTJECAJ NA RIBLJE POPULACIJE

Sjeverni Jadran je poznat po visokoj produkciji na više trofičkih razina-od fitoplanktona do riba. Regija visoke, ali i varirajuće biomase fitoplanktona je primijećena u blizini delte rijeke Po i povezana s širenjem njene perjanice (F. Umani 1996). Utjecanje rijeke Po utječe na produkciju morskog ekosustava te je uočena poveznica između produkcije u tom području i dolaska inulina (*Engraulis encrasicolus* L. 1758, europski inulin) na mriješnjice u Sjeverni Jadran (Coll i sur. 2009). Mriješnjice i preživljavanje planktonskih oblika europskog inulina je usko povezano sa intenzitetom produkcije i smjerom strujanja u Sjevernom Jadranu. Pretpostavlja se kako je preživljavanje larvalnih oblika veće u razdoblju visoke produkcije, jer je tada slaba intraspecijska kompeticija. Sredinom 1970-ih godina povisila se temperatura morske površine Jadranskog mora i vrijednost saliniteta dok se smanjila transparentnost morske vode i zasićenost kisikom u pridnenim slojevima kao posljedice povećanja primarne produkcije. U to vrijeme, došlo je do nekarakteristične distribucije određenih vrsta riba kao što je sardina (*Sardinella aurita*, Valenciennes). Proširila se cijelim Jadranom te je došla i do Tršćanskog zaljeva. Budući da se ova vrsta mrijesti ljeti, može biti kompeticija larvi inulina. Tijekom dugog razdoblja eutrofikacije u Jadranskom moru, uvjeti za razmnožavanje inulina znatno su se pogoršali što je uzrokovalo smanjenje populacije do skorog izumiranja u razdoblju od 1986.-1989. god. Kemijska svojstva morske vode bila su narušena intenzivnim „cvjetanjem“ mora. Kao tome, mukozne tvari nastale „cvjetanjem“ iritiraju odrasle ribe te služe kao zamke za larvu. Međutim, stokovi su se poeli povećavati sa smanjenjem „cvjetanja“ mora (Regner 1996). Eutrofikacija se može direktno povezati s gustoćom ljudske populacije i poboljšanjem životnih standarda što dovodi do povećanja populacije u obalnim zonama te do širenja industrije i poljoprivrede. Otpuštanjem nitratnih oksida iz fertiliziranog tla i deforestacijom dolazi do iznimno visokog unosa nutrijenata (najvećim dijelom fosfata i nitrata) u rijeke (kao što je rijeka Po). Eutrofikacija dovodi do hipoksije koja je velik problem budući da dovodi do smrti morskih organizama (A Steckbauer 2011).

4. ZAKLJUČAK

Mnogobrojnim istraživanjima utvrđena je povezanost unosa nutrijenata u rijeku Po i njihova utjecaja na riblje populacije Sjevernog Jadrana. Indirektno, preko niza elemenata i njihove promjene stvoreni su specifični uvjeti kojima su se ribe morale prilagoditi. Eutrofikacija je proces koji je uvelike prisutan u području rijeke Po i bitan imbenik promjene okolišnih uvjeta u ekosustavu. „Cvjetanjem“ mora povećava se biomasa fitoplanktona i primarna produkcija što pogoduje preživljavanju (prehrani) određenih vrsta riba kao što je europski inun, ali istovremeno može dovesti do pomora drugih vrsta neprilagodljivih uvjetima hipoksije koji u tom području obitavaju. Ljudskom aktivnošću dolazi do eutrofikacije zbog unosa nutrijenata u rijeku Po i njenim ulijevanjem u Sjeverni Jadran. Budući da su cirkulacija mora i njena prirodna ravnoteža, uz unos nutrijenata, bitni mehanizmi u ekosustavu nije jednostavno govoriti o samom unosu nutrijenata kao primarnom elementu koji utječe na, ve spomenuti, ekosustav Sjevernog Jadrana. Dinamika tog sustava puno je kompleksnija i zahtjeva pogled na veći broj varijabli koje stvaraju karakteristične uvjete s određenim posljedicama na riblje populacije.

5. LITERATURA

Berto D., Giani M., Savelli F., Centanni E., Ferrari C. R., Pavoni B., **2010**, *Winter to spring variations of chromophoric dissolved organic matter in a temperate estuary (Po River, northern Adriatic Sea)*, Marine Environmental Research, 73-81

Coll M., Santojanni A., Palomera I., Arneri E., **2009**, *Food-web changes in the Adriatic Sea over the last three decades*, Marine Ecology Programme Series, Vol. 381, 17-37

Orli M., Giani M., La Violette P.E., **1992**, *The currents and circulation of the Adriatic Sea*, Oceanologica Acta, Vol. 15, No. 2

Regner S., **1996**, *Effects of environmental changes on early stages and reproduction of anchovy in the Adriatic Sea*, Scientia Marina, 60 (Supl. 2), 167-177

Steckbauer A., Duarte C.M., Carstensten J., Vaquer-Sunyer R., Conley D. J., **2011**, *Ecosystem impacts of hypoxia: thresholds of hypoxia and pathways to recovery*, Environmental Research Letters (6)

Umani S., **1996**, *Pelagic production and biomass in the Adriatic Sea*, Scientia Marina, (Supl. 2), 65-77

6. SAŽETAK

Jadransko more ima karakterističnu cirkulaciju morskih struja prema sjeveru uz istočnu obalu te južno niz zapadnu obalu. Ovakva cirkulacija utječe na širenje perjanice rijeke Po. Rijekom Po se, pak, unose nutrijenti u Sjeverni Jadran. Unosom nutrijenata u more, dolazi do eutrofikacije. Eutrofikacija dovodi do povećane primarne produkcije, hipoksije i povećanja biomase fitoplanktona. Povećana primarna produkcija pogoduje prehrani europskog inćuna i njegovih larvalnih oblika, no, istovremeno, hipoksija ne pogoduje određenim vrstama riba. Ljudska aktivnost dovodi do dolaska ovih nutrijenata u Sjeverni Jadran putem rijeke Po, zbog industrije i poljoprivrede. Korelacija između unosa nutrijenata i ponašanja ribljih populacija postoji, u kompleksnom ekosustavu.

7. SUMMARY

Adriatic Sea has a characteristic sea current circulation which flows northward along the eastern coast and southward along the western coast. This circulation affects the river Po plume spreading. River Po is the main source of nutrient input into North Adriatic Sea. This input causes eutrofication. Moreover, eutrofication causes increase in primary production, hypoxia and increase in phytoplankton biomass. Also, increase in primary production favours nutrition of anchovies and its larval stages while, on the other hand, hypoxia is not favourable for specific fish species. Human activity brings these nutrients into North Adriatic Sea via river Po, especially because of industry and agriculture. Correlation between nutrient input and fish behaviour is evident, in a complex ecosystem.

