

# Kruženje ugljika u pelagijalu

---

Šupraha, Luka

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2009**

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/um:nbn:hr:217:883908>

Rights / Prava: [In copyright/Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEU ILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATI KI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

KRUŽENJE UGLJIKA U PELAGIJALU

CARBON CYCLING IN THE PELAGIC ENVIRONMENT

Luka Šupraha

Preddiplomski studij biologije  
(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: prof. Damir Vili i

Zagreb 2009.

## SADRŽAJ

1. PRIMARNA PRODUKCIJA U PELAGIJALU .....	2 – 3
2. ORGANSKA TVAR U MORU .....	4 – 5
3. KRUŽENJE UGLJIKA U MORU .....	6
3.1. AGREGIRANJE I SEDIMENTACIJA .....	7
3.2. HRANIDBENA MREŽA .....	7 – 8
3.3. MIKROBNI KRUG .....	9
4. SAŽETAK .....	10
5. SUMMARY .....	10
6. LITERATURA .....	11

## 1. PRIMARNA PRODUKCIJA U PELAGIJALU

Pelagijal je životna zajednica slobodne vode oceana i obalnih mora. Čine ju taksonomski različite skupine organizama koje se prema pokretljivosti dijele na slabo pokretni plankton i pokretni nekton. Plankton se prema načinu prehrane dijeli na autotrofni i miksotrofni fitoplankton te heterotrofni zooplankton i bakterioplankton (Vilić i sur. 2003). Posebnu važnost za pelagički ekosustav ima područje ekipelagijala, tj. slobodne vode koja pripada fotičkoj zoni, do 150 m. dubine, a u kojoj se razvija fitoplankton.

U oceanima se događa gotovo polovica ukupne primarne produkcije biosfere, oko 46 %. Većina ugljika pritom asimilira fitoplankton, dok manji udio u asimilaciji imaju makroskopske alge i morske cvjetnice (Field 1998).

Primarna produkcija fitoplanktona omogućuje razvoj organizama na višim trofickim razinama. Neprobavljeni i propalni biomasi recikliraju heterotrofni i miksotrofni mikroorganizmi, čime hranjive soli postaju ponovno dostupne za novu fotosintezu. Doprinos fitoplanktona posebno je znatno u dubokim morima gdje nedostatak svjetlosti na dnu limitira razvoj morskih cvjetnica ili makroskopskih algi kao primarnih proizvođača. U takvim sustavima životne zajednice najveće imaju ovisu o primarnoj produkciji u ekipelagijalu i vertikalnom transportu organske tvari u dubinu. Iznimka su sustavi koji se temelje na kemoautotrofnoj produkciji u pridnenim staništima (npr. u hidrotermalnim izvorima). Najveći udio u krupnijem morskom fitoplanktonu (mikrofitoplankton, 20 – 200 µm) imaju jednostani ne-mikroalge dijatomeje te bri, aši dinoflagelati i kokolitoforidi. Sitniji fitoplankton (nanoplankton, 2 – 20 µm te pikoplankton, 0,2 - 2µm) čine cijanobakterije, pikoeukariotske alge, dinoflagelati, kokolitoforidi, jednostani ne-zelene i crvene alge te kriptofice (Vilić i sur. 2003, Vilić i sur. 2009).

Fitoplankton nije jednoliko raspoređen u moru. U nekim morima biomasa fitoplanktona a time i primarna produkcija su među najvećim u biosferi, dok su neka mora vrlo siromašna biomasom. Godišnji ciklusi biomase fitoplanktona i horizontalna distribucija fitoplanktona ovise o nizu biotičkih i abiotičkih imbenika, od kojih su najznačajniji svjetlost i hranjive tvari (nutrijenti), koje se dijele na anorganske soli i organske hranjive tvari. Ekipelagijal, odnosno fotička zona nije svugdje jednakog dubine. Ona može varirati i sa obzirom na troficku uvjetu, jer koliko i na esticu u moru tako će odrediti prođor svjetlosti. Manja je za oblačnog vremena i veća za sunčanog. Tako da, pri većoj brojnosti stanica svjetlost se može apsorbirati na površini i time limitirati razvoj fitoplanktona u dubljem sloju fotičke zone.

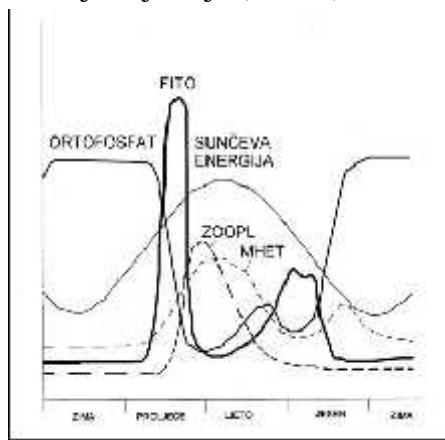
Hranjive tvari su važan limitirajući faktor. Dakle i pri dovoljnoj koncentraciji svjetlosti, nedostatak hranjivih tvari limitira razvoj fitoplanktona. Najvažnija hranjiva tvar u svjetskim morima je dušik, a njegov najzastupljeniji oblik je nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Neke cijanobakterije imaju sposobnost vezivanja atmosferskog dušika u organski oblik. U području Sredozemnog mora, pa tako i u Jadranskom moru ograničavaju ih imbenici fosfor i silicij. Ima koncentracija odredjujuće razvoj dijatomeja u fitoplanktonu. Hranjive tvari u more najčešće dospievaju riječama i ispiranjem

obala ali najveće zalihe trajno se nalaze u morskim ekosustavima i recikliraju se kroz hranidbene lanci.

Hranjive tvari su neravnomjerno raspoređene u vodenom stupcu. Veća količina hranjivih tvari nalazi se u dubljim slojevima mora ali je primarna produkcija u dubokom moru limitirana svjetlošću. U tom slučaju voden stupac je stratificiran, što znači da toplija i sječna površinska voda, siromašnija hranjivim tvarima pluta na gornjem i hladnijoj dubokoj vodi bogatoj hranjivim tvarima. Postoji nekoliko mehanizama kojima se voden stupac može izmiješati kako bi hranjive tvari došle na površinu. To se događa na višim geografskim širinama zimi, kada se površinski sloj ohladi i više ne može plutati na dubokoj vodi. Dolazi do miješanja i hranjive tvari se podižu u fotičnu zonu. Slični se procesi događaju u području „upwellinga“, na zapadnim obalama kontinenata sa slabo razvijenom kontinentskom podinom te u ekvatorijalnom području. Uzrokuju ih vjetrovi koji pomenu u površinski sloj mora pa dubinska voda dolazi na površinu. Unatoč razlištostima između svjetskih mora, postoje određene pravilnosti u ciklusima fitoplanktona s obzirom na geografsku širinu.

U morima tropskog pojasa sezonske varijacije temperature su male pa voden stupac ostaje stabilan tijekom godine, što onemogućuje prijenos nutrijenata u fotičnu zonu. Posljedica toga je stabilna ali mala primarna produkcija fitoplanktona.

Umjerena mora pokazuju najveće varijacije temperature mora kroz godinu. Miješanje vodenog stupca zimi donosi velike količine hranjivih tvari u fotični sloj, ali zbog nedostatka svjetlosti cvjetanje nastupa tek u proljetnim mjesecima. Biomasa fitoplanktona naglo se povećava, ali pritom se događaju promjene koje na nju štetno djeluju. Površinska voda se grije i sustav se stratificira pa prestaje dotok hranjivih tvari iz dubine i oni se naglo troše, a po injekciji i nagli rast biomase zooplanktona koji se hrani fitoplanktonom. Slijedeće miješanje stupca može se dogoditi u jesen ponovnim hlađenjem površine mora. Uz dovoljno svjetlosti, događaju se još jedno manje cvjetanje (slika 1).

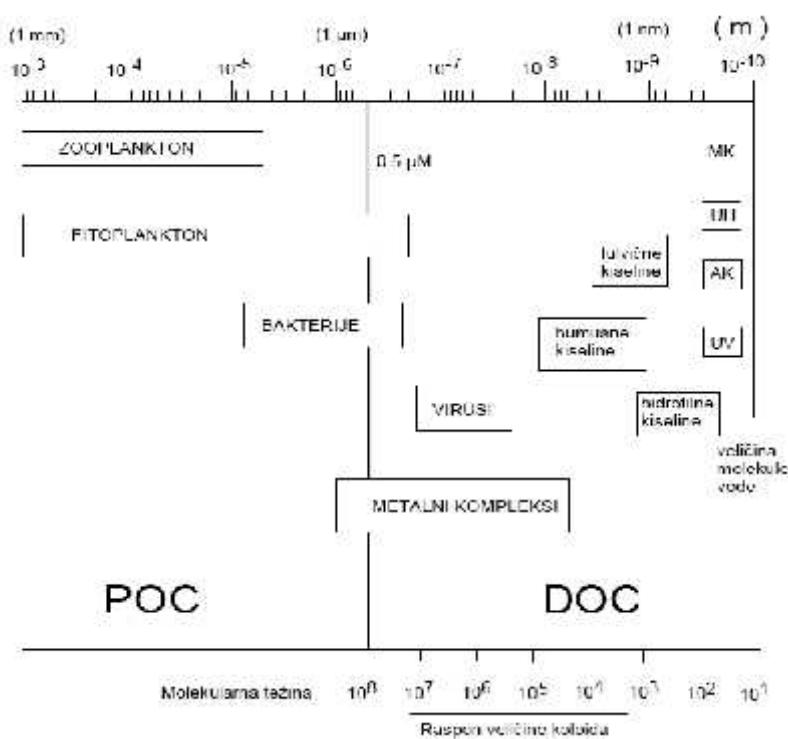


Slika 1. Sezonske promene ekoloških imbenika i planktona u morima umjerenoj klime. FITO – fitoplankton, ZOOPL – zooplankton, MHET – mikroheterotrofi (Vilić i 2003).

Polarna mora bogata su hranjivim tvarima, ali limitirana svjetlošću. U hladnijoj polovici godine biomasa fitoplanktona je mala, a u ljetnim mjesecima dolazi do cvjetanja. Takva mora su obično izrazito produktivna, upravo zbog velike količine hranjivih tvari (Castro, Huber 2005).

## 2. ORGANSKA TVAR U MORU

Organska tvar u moru prema porijeklu može biti alohtona tj. ona koja u more ulazi ispiranjem kopna ili autohtona, koju proizvode primarni proizvođači. U moru dominira autohtona organska tvar. Elementi koji su asimilirani od strane fitoplanktona ulaze u biogeokemijske cikluse i izmjenjuju se između organizama i njihova okoliša. Najzastupljeniji element u organskoj tvari je ugljik, a upravo je fitoplankton ključan za njegovo kruženje u oceanima. Asimiliran iz  $\text{CO}_2$ , ugrađuje se prvo u šeere a zatim u složenije organske spojeve (polisaharide, organske kiseline itd.). Respiracijom se vraća u  $\text{CO}_2$ . Dušik je ključan element za sintezu aminokiselina, a njihovom razgradnjom nastaju amonijak, nitrat i nitrit. Sulfati i fosfati takođe nastaju razgradnjom organske tvari. Organska tvar pokazuje veliki veličinski raspon estica, od otopljenih molekula do velikih makroagregata organske tvari (slika 2.).



Slika 2. Spektar veličine estica: POC – suspendirani organski ugljik, DOC – otopljeni organski ugljik, MK – masne kiseline, UH – ugljikogidrati, AK – aminokiseline, UV – ugljikovodici. Modificirano prema Thurmanu (1984) te Stummu i Morganu (1996).

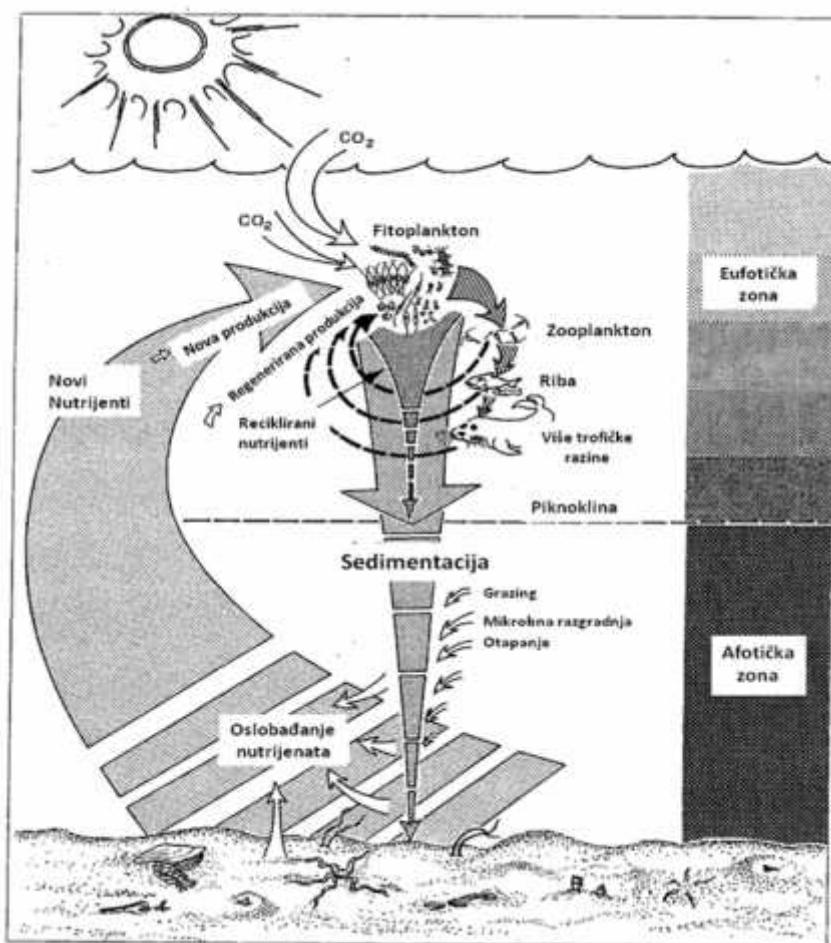
Najveći udio u organskoj tvari u moru ima otopljeni organski tvar (eng. dissolved organic matter, DOM) kojoj pripadaju estice manje od  $0.5 \mu\text{m}$ . U moru je imao 10 puta više od suspendirane organske tvari. Ona se može podijeliti na veličinske frakcije. Razlikujemo koloidne estice (veličina 1 nm –  $0.5 \mu\text{m}$ ) te stvarno otopljenе estice, molekule i ione (do 1 nm). Kemijска struktura otopljenih organskih tvari u moru je raznolika. Pripadaju joj brojni visokomolekularni i niskomolekularni organski spojevi: organske kiseline, ugljikohidrati, aminokiseline, proteini, lipidi, nukleinske kiseline te esteri fosforne kiseline i

derivati fenola (huminske tvari). Koloidne organske kiseline se brže talože ukoliko se agregiraju s drugim suspendiranim esticama.

estice veće od  $0.5\mu\text{m}$  pripadaju suspendiranoj organskoj tvari (eng. particulate organic matter, POM). U ovoj frakciji nalazimo brojne koloidne estice različitog kemijskog sastava, od živih koloida - agregata bakterija do neživih - fekalnih grudica zooplanktona i „morskog snijega“. Znajnu ulogu u suspendiranoj organskoj tvari (oko 34%) ima fitoplankton. Stanice fitoplanktona pridonose i otopljenoj i suspendiranoj organskoj tvari. Naime, veliinski pripadaju suspendiranoj organskoj tvari, sudjeluju u nastanku morskog snijega, a same izljuju brojne proekte – otopljenu organsku tvar. Proekti stanica fitoplanktona su raznoliki. Od ugljikohidrata, peptida, aminokiselina i masnih kiselina do različitih metabolički aktivnih spojeva (hormona, toksina i antibiotika). Brojne vrste dijatomeja izljuju polimere polisaharida koji služe pokretanju stanica (kod bentičkih vrsta) ili vezivanju stanica u kolonije kod kolonijalnih vrsta. Izljuvanje određenih kemijskih spojeva u pravilu je određeno uvjetima koji vladaju u okolišu.

### 3. KRUŽENJE ORGANSKE TVARI U MORU

Autohtona organska tvar nastala asimilacijom atmosferskog ugljika u foti kom sloju ima funkciju održavanja svih morskih ekosustava. Mehanizmi kojima se organska tvar prenosi u afoti ke slojeve mora i oceana ili se reciklira i ostaje u foti kom sloju složeni su i ovise o nizu bioloških procesa, kao i fizikalno-kemijskim procesima u moru (slika 3). Najvažniji procesi koji uključuju prijenos ili recikliranje organske tvari su hranidbene mreže te agregiranje i sedimentacija organske tvari. Intenzitet svakog od navedenih procesa i njihovo međudjelovanje određuju koliko će organske tvari biti dostupno ekosustavima u dubokom moru a koliko će ostati u foti kom sloju.



Slika 3. Primarna produkcija, vertikalni prijenos i regeneracija nutrijenata u morskom ekosustavu (Keck, Wassman 1998).

### **3.1. AGREGIRANJE I SEDIMENTACIJA**

Agregiranje organske tvari uzrokuje njeni ubrzano tonjenje i taloženje na morskom dnu. U moru se ono događa u obliku „morskog snijega“, kontinuiranog tonjenja organske tvari iz fizičke zone u dubinu. Agregiranje i „morski snijeg“ posebno dolaze do izražaja za vrijeme cvjetanja fitoplanktona. „Morski snijeg“ inačice agregati veće i od 0.5 μm, a nastaje kao posljedica cvjetanja pelagičnih ili bentoskih dijatomeja koje luči ekstracelularne polimere – ljepljive polisaharide. Ljepljivost polisaharida ovisi i o vrsti dijatomeje koja ih izlučuje (Wassman 1998). Polisaharidi imaju svojstvo nakupljanja u koloidne estice - polimere velike do 0.7 μm. Estice su u formi gela, a na njih agregiraju različite organske i anorganske tvari. Tonjenjem prema dnu estice postaju sve veće te se stvara mreža ljepljivih polimera. U sljedećoj fazi nastaju transparentni egzopolimeri (eng. transparent exopolimer particles, TEP) velike do 100 μm. Konačni produkt procesa agregiranja organske tvari su makroagregati veliki i do 1 m u kojima su uklopljeni najrazličitiji oblici organske i anorganske tvari, od polisaharida i masnih kiselina do metala i stanica fitoplanktona i drugih organizama (Vilić i dr. 2003). Zooplankton je obično prisutan u manjoj abundanciji u početnim fazama cvjetanja fitoplanktona, pa ne može regulirati stvaranje velikih agregata. Formiranju agregata mogu doprinjeti bakterije nakupljanjem na estice organske tvari. One takođe luči ljepljive polisaharide kojima se pri vrućuju na estice pa potiču stvaranje većih agregata. Bakterijska kolonizacija agregata može imati i suprotan učinak. Uslijed bakterijske razgradnje organske tvari agregati se mogu raspadati na manje estice, što smanjuje sedimentaciju (Vilić i dr. 2003).

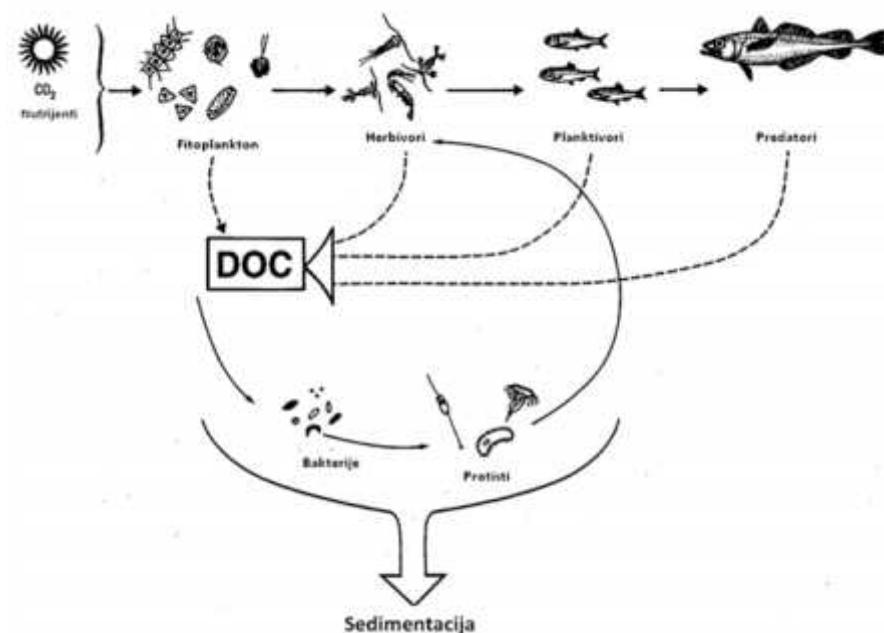
### **3.2. HRANIDBENE MREŽE**

U osnovi klasične pelagične hranične mreže nalazi se fitoplankton kao primarni proizvod, a sekundarni je proizvod a herbivorni zooplankton koji organsku tvar prenosi na više trofne razine (slika 4). Oblici prehrane u moru su složeni. Pored klasičnih oblika prehrane, autotrofije i heterotrofije, u moru nalazimo i organizme koji su mikrotrofni, što znači da uz fotosintezu, dio potreba za hranom zadovoljavaju i heterotrofnom prehranom. Mikrotrofni su najveći im pretežito zastupljeni u fitoplanktonu, pogotovo u bliskoj obali.

Kada su uvjeti za razvoj fitoplanktona optimalni, dolazi do naglog povećanja njegove biomase. Zooplankton prati promjene u biomasi fitoplanktona i povećava konzum svoje biomase. Nakon toga pritisak herbivornog zooplanktona na fitoplankton uzrokuje postupno smanjivanje biomase fitoplanktona, čime se ograničava i daljnji razvoj zooplanktona. Ciklusi fitoplanktona i zooplanktona diktiraju razvoj svih ostalih trofne razine u morskim ekosustavima. Najveći dio regulacije vertikalnog prijenosa događa se u površinskom sloju, do 100 m dubine (Wassman 1998). U tom sloju niz organizama kroz različite hranične mreže regulira recikliranje i tonjenje organske tvari.

Posebno zna ajan na in prijenosa organske tvari su fekalne grudice zooplanktona, koje sadrže neprobavljene stanice fitoplanktona (Vili i 1994). Brzina tonjenje fekalnih grudica razmjerno je velika, one tonu brzinom od desetak do tisu u metara dnevno. Njihov udio u vertikalnom prijenosu može se odrediti prema udjelu u sedimentu. On obično iznosi 5 - 10% ukupnog vertikalnog prijenosa, dok u slučaju evima razvoja veće biomase fitoplanktona i zooplanktona fekalne grudice mogu imati najveći udio u vertikalnom prijenosu organske tvari.

Udio fekalnih grudica u sedimentu ovisi i o dominantnoj skupini u zooplanktonu. Fekalne grudice planktonskih rakova i riba krhke su i lako se raspadaju na putu do dna. S druge strane, fekalne grudice plaštenjaka obavijene su mrežicom za hranjenje, koja im daje vrsto u pa lako dolaze do dna mora budući da tonu brzinom i do tisu u metara dnevno. Zooplankton može utjecati na sedimentaciju peleta i hranjenjem peletima. Neke vrste zooplanktona hrane se itavim fekalnim peletima (*koprofagija*),ime ih izravno uklanjuju iz suspendirane organske tvari. Postoje vrste koje jedu samo neke dijelove grudica,ime uzrokuju njihovo raspadanje. Kolonizacija fekalnih grudica bakterijama i heterotrofnim protistima također uzrokuje njihovo raspadanje. Isto mogu uzrokovati i bakterije i protisti koji se nalaze u grudicama a potje u iz probavnog sustava zooplanktonskih životinja.



Slika 4. Pelagička hranidbena mreža: hranidbeni lanac: fitoplankton – zooplankton – riba i mikrobijski krug: DOC – bakterije – cilijati – zooplankton. Oba procesa doprinose kruženju organske tvari u moru (Lalli, Passon 1993).

Ravnoteža izme u biomasa fitoplanktona i zooplanktona odre uje da li e prevladati recikliranje ili tonjenje organske tvari. Cvjetanje mora, kao porast biomase fitoplanktona, predstavlja neravnotežu u biomasi fitoplanktona i zooplanktona. U plitkim morima iznad kontinentske podine takvi se procesi doga aju u prolje e porastom temperature i koli ine svjetlosti u sustavima bogatim hranjivim tvarima. Uzrok neravnoteži je kra e generacijsko vrijeme zooplanktona i predacija mezozooplanktona nad mikrozooplanktonom,ime se smanjuje pritisak na fitoplankton. Takva neravnoteža dovodi do gomilanja biomase fitoplanktona i pove anog agregiranja te gubitka organske tvari iz foti kog sloja.

S druge strane, ravnoteža izme u biomasa fitoplanktona i zooplanktona poti e recikliranje organske tvari tj. njeno zadržavanje u foti kom sloju. Jedini mehanizam prijenosa organske tvari u dubinu u tom slu aju su fekalni peleti i detritus, a intenzitet prijenosa ovisi prije svega o strukturi zooplanktonske zajednice. Primjer ravnoteže fitoplanktona i zooplanktona su tropска mora, u kojima su biomase fitoplanktona i zooplanktona ujedna ene tijekom godine i nema ve ih cvjetanja mora. U takvima sustavima organska tvar se zadržava u foti kom sloju. Ravnoteža se može uspostaviti i zbog niskih temperatura. Tako u hladnijim morima fitoplankton cvjeta sporije što omogu uje zooplanktonu da regulira njegov razvoj.

U hladnijim morima samo ve e vrste zooplanktona mogu prezimljavati bez hibernacije i vršiti pritisak na fitoplankton u ranim fazama cvjetanja. U nekim slu ajevima je aktivnost zooplanktona u rano prolje e toliko jaka da izostane uobi ajeni proljetno pove anje biomase fitoplanktona. Time je smanjena mogu nost nastanka ve ih agregata organske tvari koji bi hrani mogli prenijeti u dubinu.

### **3.3 MIKROBNI KRUG**

Mikrobni krug je pelagi ka mikrobna hranidbena mreža kojom se otopljena organska tvar (DOM) vra a u suspendiranu organsku tvar (POM) ugra uju i se u stanice mikroorganizama te se metaboli ki razgra uje do hranjivih tvari, CO<sub>2</sub> i vode (Sherr, Sherr 1988). Ti produkti metabolizma omogu uju novu fotosintezu. Najvažniji organizmi u mikrobnom krugu su bakterije, flagelati i cilijski. Bakterije kao izvor hrane naj eš e koriste otopljenu organsku tvar koju lu e stanice fitoplanktona ili suspendiranu organsku tvar u obliku morskog snijega. Stvaranju DOM-a pridonose i virusne infekcije budu i da stanice mikroorganizama, kako planktonskih organizama tako i bakterija, pucaju uslijed virusnih infekcija i osloba aju otopljenu organsku tvar. Kada koloniziraju ve e estice organske tvari, bakterije prolaze kroz fazu intenzivnog rasta koja traje do pojave ve e biomase flagelata koji se hrane bakterijama. Cilijski se hrane flagelatima te tako organsku tvar ponovno vra aju na više trofi ke razine budu i da se njima hrani zooplankton. Mikrobni krug poti e recikliranje organske tvari. Regeneriraju se hranjive tvari i pomaže se razvoj i fitoplanktona i zooplanktona. Tako er, bakterijskom razgradnjom raspadaju se estice „morskog snijega“ i nastaju mikropeleti koji slabije doprinose vertikalnom transportu organske tvari.

## 4. SAŽETAK

Važan dio pelagi kog ekosustava je epipelagijal, podru je slobodne vode do oko 150 m dubine u kojem se razvija primarni proizvo a – fitoplankton. Fitoplankton se razvija unutar godišnjih ciklusa, a u ovisnosti o fizikalno-kemijskim i bioti kim imbenicima. Organsku tvar u moru predstavlja itav niz ugljikovih. Prema porijeklu može biti alohton, donesena iz drugih sustava i autohton, porijeklom od primarne produkcije. Autohtonu organsku tvar proizvedena u epipelagijalu potrebna je svim životnim zajednicama u moru a posebno onima na dnu. Pelagi ki sustavi imaju mehanizme recikliranja i vertikalnog prijenosa organske tvari. Taj se prijenos naj eš e odvija putem agregiranja i sedimentacije organske tvari te putem hranidbenih mreža. Agregiranje organske tvari u obliku „morskog snijega“ i njeno tonjenje posljedica je cvjetanja dijatomeja. Stanice dijatomeja lu e ljepljive polisaharide koji djeluju kao središta agregiranja i dok tonu na sebe vežu organsku tvar. Na in prijenosa organske tvari u dubinu su i fekalne grudice zooplanktona koje sadrže neprobavljenu organsku tvar. Bakterijska razgradnja te mikrobnii krug važni su za recikliranje otopljene organske tvari i njeno vra anje u hranidbenu mrežu.

## 5. SUMMARY

Important part of pelagic environment is its upper layer, shallower than 150 m which contains the biggest biomass of primary producers – phytoplankton (photic zone). Phytoplankton develops in regular annual cycles which depend on certain physical, chemical and biological parameters. The organic matter in the sea is represented by carbon compounds. Organic matter in the sea can originate from other ecosystems (allochthonous) or it can be produced by primary producers (autochthonous). The one that is assimilated in epipelagic zone is vital for all marine ecosystems, especially for those on the bottom of the ocean. Pelagic system has mechanisms for recycling and vertical export of organic matter. It is conducted by aggregation and sedimentation of organic matter or through different food webs. Aggregation of organic matter and its sinking is taking place after large diatom blooms, and it's also called „marine snow“. „Marine snow“ is created by sticky diatom exopolymers which act as centers of aggregation. Faecal pellets of zooplankton are also very important way of vertical transport. They contain non-digested organic matter. Microbial decomposers recycle dissolved organic matter and return it into food web.

## 6. LITERATURA

- Castro, P., Huber, M. E., 2005: Marine biology. McGraw-Hill, New York.
- Field, C. B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J. T., Falkowski, P., 1998: Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components, *Science* 281: 237 – 240.
- Keck, A., Wassmann, P., 1993: Den sibirske kontinentsokkel og Polhave. II. Betydning for den globale karbonkretslop? *Naturen* 6: 264 – 272.
- Lalli, C. M., Passon, T. R., 1993: Biological oceanography: An introduction. Pergamon Press, Oxford.
- Sherr, E., Sherr, B., 1988: Role of microbes in pelagic food webs: a revised concept. *Limnol. Oceanogr.* 33: 1225 – 1227.
- Stumm, W., Morgan, J. J., 1996: Aquatic chemistry. Wiley intercience, New York.
- Thurman, R. C., 1984: Organic geochemistry of natural waters. Nijhoff/Junk, Dordrecht.
- Vilić, D., Kršinić, F., Bicanic, Z., 1994: The diatom *Nitzschia sicula* (CASTR) and naupliar faecal minipellets in the adriatic sea. *P.S.Z.N.I.: Marine ecology*, 15: 27 – 39.
- Vilić, D., 2003: Fitoplankton u ekološkom sustavu mora, Školska knjiga, Zagreb.
- Vilić, D., Terzić, S., Ahel, M., Burić, Z., Jasprica, N., Carić, M., Caput Mihalić, K., Olujić, G., 2008: Phytoplankton abundance and pigment biomarkers in the oligotrophic, eastern Adriatic estuary, *Environ Monit Assess* 142:199–218.
- Vilić, D., Djakovac, T., Burić, Z., Bosak, S., 2009: Composition and annual cycle of phytoplankton assemblages in the northeastern Adriatic sea, *Botanica Marina* 52: 291 – 305.
- Wassmann, P., 1998: Retention versus export food chains: Processes controlling sinking loss from marine pelagic systems, *Hydrobiologia* 363: 29 – 57.