

# SATELITSKO PROMATRANJE CVJETANJA FITOPLANKTONA

## *Satellite Observation of Phytoplankton Bloom*

UDK 574.583  
Stručni članak  
Professional paper

### Uvod

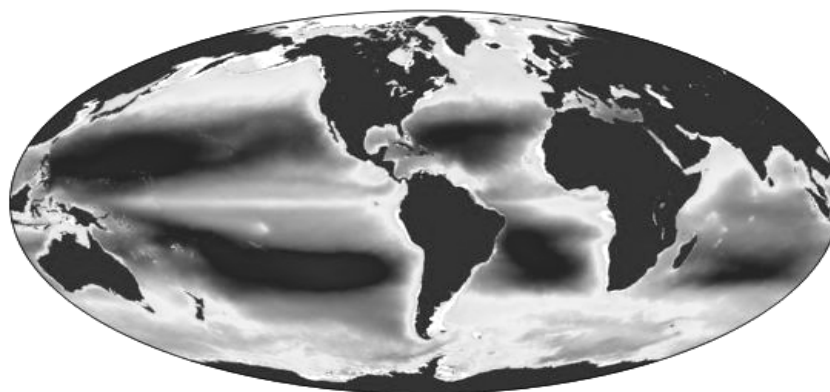
#### Introduction

U današnje je vrijeme istraživanje globalnih promjena u vodenim ekosustavima postalo iznimno važno pa su se satelitski snimci pokazali nezamjenjivima u praćenju promjena fizikalnih i bioloških parametara u površinskom sloju oceana i mora.

Brza detekcija površinske razdiobe primarne pelagičke biomase u oceanu danas se obavlja s pomoću satelita, a na satelitskim snimkama boje oceana i mora, kalibrirane kao koncentracija klorofila, omogućuju jedinstveni sinoptički pogled na morski ekosustav.

Ta je činjenica od iznimne važnosti za razumijevanje biogeokemije, eutrofikacije, dinamike miješanja slojeva, cvjetanja štetnih alga, te ribarske oceanografije, što bi trebalo rezultirati kvalitetnijim upravljanjem obalnim područjima i zaštitom morskih ekosustava.

S pomoću satelitskih istraživanja definirana je raspodjela fitoplanktona u svjetskim morima a ta informacija je dostupna iz površinskog sloja (slika 1.). Utvrđen je pravilan odnos između površinske koncentracije klorofila i produkcije tijekom godine, a sličan je i globalni raspored brzine primarne produkcije i biomase.



0.01 0.1 1.0 10 60

koncentracija klorofila a (mg/m<sup>3</sup>)

**Slika 1. Satelitska snimka fitoplanktonske biomase u svjetskim morima i oceanima izražena kao koncentracija klorofila. Raspon obojenja od žute do crvene obilježava područja visoke produkcije. (Ovdje je transformirana u crno-bijelu tehniku, kojom se časopis tiska.)**

**Figure 1. Satellite view of phytoplankton biomass in the world seas put as chlorophyll concentration. Colours ranging from yellow to red mark the areas of high production (Here transformed in the magazine print – black and white.)**

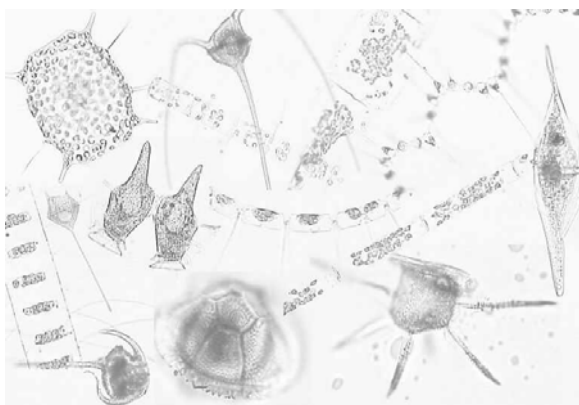
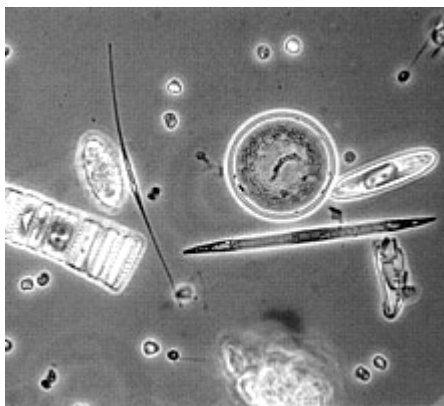
\*Marijeta Čalić, Laboratorij za ekologiju planktona, Dubrovnik

Najveće su koncentracije klorofila u obalnim područjima i u područjima uzdizanja dubinske vode prema površini u višim geografskim širinama (u proljeće i ljeti), te blizu ekvatora, i to uz zapadne rubove kontinenata. Male su koncentracije u suptropskim morima.

## Cvjetanje ("bloom") fitoplanktona

### *Phytoplankton Bloom*

Fitoplankton čine jednostanični ili kolonijski mikroskopski organizmi koji većinom nemaju sposobnost aktivnog kretanja, već slobodno lebde u stupcu vode nošeni strujama (slika 2.). Ti su organizmi zastupljeni su u osvjetljenoj zoni svih mora i oceana (maksimalno do 200 m) i zaslužni su za 95% fotosinteze u oceanima te vežu 40% ugljika u biosferi. Sve taksonomske skupine fitoplanktona posjeduju fotosintetski pigment klorofil a, a ta činjenica omogućuje praćenje kompletne zajednice fitoplanktona, kako *in situ* mjerenjima, tako i uz pomoć satelita.



**Slika 2. Morski fitoplankton**  
**Figure 2. Sea phytoplankton**

Razvoj gustih populacija fitoplanktona naziva se cvjetanjem fitoplanktona (engl. *phytoplankton bloom*). Povoljni uvjeti za razvoj gustih populacija jesu dostatna koncentracija glavnih nutrijenata (N, P, C i organske tvari), sniženi salinitet, stabilne vremenske prilike i slabo miješanje vodenih masa, te dovoljno gusta početna populacija stanica.

Populacije se nekih vrsta mogu tako intenzivno razvijati da izazivaju "ojojene plime" (engl. *tides*). Pri takvu intenzivnom cvjetanju mijenja se boja mora zbog povećane količine pigmenta, pa se govori o crvenoj, smeđoj, zelenoj ili žutoj "plimi" (engl. *red, brown, green, yellow tide*). Pratiti fitoplanktonska cvjetanja od iznimne je važnosti posebno ako se uzme u obzir toksičnost pojedinih vrsta koja izravno utječe na hranidbeni lanac, pa se tako mogu izazvati pomori morskih organizama, ali i trovanja ljudi.

## Boja mora

### *Sea Colour*

Promatranjem iz svemira nije lako razumjeti što se događa u moru bez razumijevanja njegove boje, tj. što zapravo utječe na boju mora. Najvažnija komponenta odgovorna za boju mora je fitoplankton i biooptička svojstva njegovih stanica, te suspendirane i otopljene tvari u morskoj vodi. Koncentracija fotosintetskog pigmenta klorofila je indeks za fitoplanktonsku biomasu i osnovni je pokazatelj produkcije u moru.

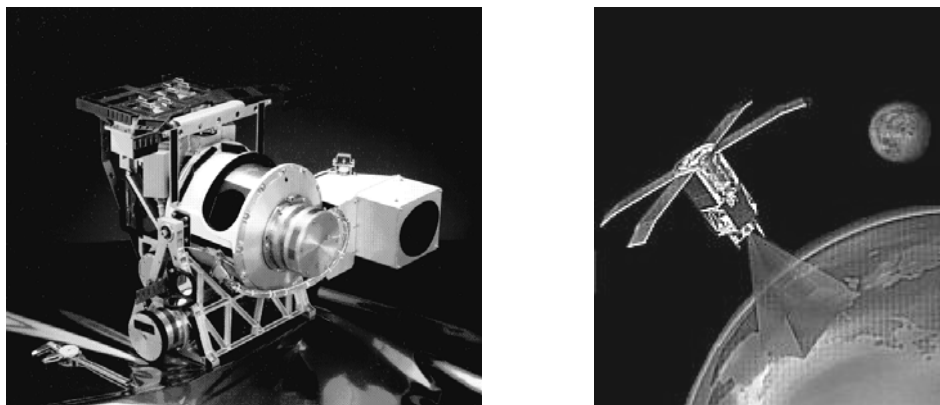
Kad vidljiva sunčeva svjetlost dođe u dodir s morskom površinom, nastaje nekoliko optičkih efekata. Najjači od njih su refleksija i apsorpcija. Postotak reflektirane svjetlosti ispod morske površine nije veliki; pri tome postoji i selektivna apsorpcija koja omogućuje transmisiju do većih dubina samo određenim valnim duljinama. Intenzitet i boja svjetlosti ispod površine ovise o količini planktona, količini suspendiranih čestica detritusa i koncentraciji otopljenih tvari. Fotosintetski pigmenti, od kojih dominira klorofil a, određuju relativno veliki specifični apsorpcijski koeficijent u plavom i crvenom dijelu spektra. Apsorpcijski spektar anorganskih čestica, detritusa i heterotrofnog planktona obilježava maksimalni koeficijent apsorpcije u plavom dijelu spektra, u blizini maksimuma fitoplanktona. Najvećim su dijelom suspendirane čestice u vodi odgovorne za refleksiju sunčeve svjetlosti, a fotosintetski su pigmenti bitni za glavninu apsorpcije. Raspršenje u vodenom stupcu povezano je s ljubičastim, tamnoplavim i svijetloplavim valnim duljinama (400 - 500 nm) jer to daje morima i oceanima plavu boju koju vidimo. Interakcija između apsorbirane i reflektirane svjetlosti je "water-leaving" radijacija, koju detektiraju senzori na satelitu.

## Uređaji i načelo satelitskog motrenja cvjetanja fitoplanktona

### *Instruments and Principle of Satellite Observation of Phytoplankton Bloom*

Prvi instrument koji je priskupljao podatke u znanstvene svrhe o boji oceana i mora, bio je CZCZ (*Coastal Zone Colour Scanner*), instaliran na NIMBUS-7 satelitu i 1986. je završio s radom. Zatim dolazi do razvoja SeaWiFS senzora (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*), koji se nalazi na SeaStar-satelitu, te se njime koristi i danas (slika 3).

SeaWiFS je spektrometar, što znači da mjeri radijaciju na specifičnim dužinama vidljiva spektra (tablica 1.).



Slika 3. SeaWiFS - uređaj montiran na Sea Star-satelitu, lansiranom u orbitu 1997. godine  
 Figure 3. SeaWIFS mounted on the Sea Star satellite, launched into the orbit in 1997.

Tablica 1. Nominalni radiometrijski parametri za SeaWiFS  
 Table 1. Nominal radiometric parameters of SeaWIFS

Band	Valna duljina (nm)	Osnovna uporaba
1	412 (ljubičasta)	otopljena organska tvar ( <i>Gelbstoffe</i> )
2	443 (plava)	apsorpcija klorofila
3	490 (plavozelena)	apsorpcija pigmenata
4	510 (plavozelena)	apsorpcija klorofila
5	555 (zelena)	pigmenti, sediment
6	670 (crvena)	atmosferska korekcija
7	765 (blizu infracrvene)	atmosferska korekcija, radijacija aerosola
8	865 (blizu infracrvene)	atmosferska korekcija, radijacija aerosola

Prednost promatranja oceana na bazi spektrometra iz svemira jest globalna pokrivenost koju on pruža, dok su mu mane različiti optički efekti koji interferiraju, prvenstveno raspršenje svjetlosti u atmosferi. SeaWiFS omogućuje promatranje varijabilnosti "mezoskalnih fenomena", tj. fenomena veličine od 10 do 1.000 km.

Na pseudokolornim satelitskim snimkama (slika 5.) kvantitativno je prikazana koncentracija klorofila u moru. Vidi se povećana koncentracija klorofila u području delte rijeke Po, nastala kao rezultat obogaćivanja područja hranjivim tvarima u nanosu rijeke, što vodi do rasta fitoplanktonske biomase i primarne produkcije.

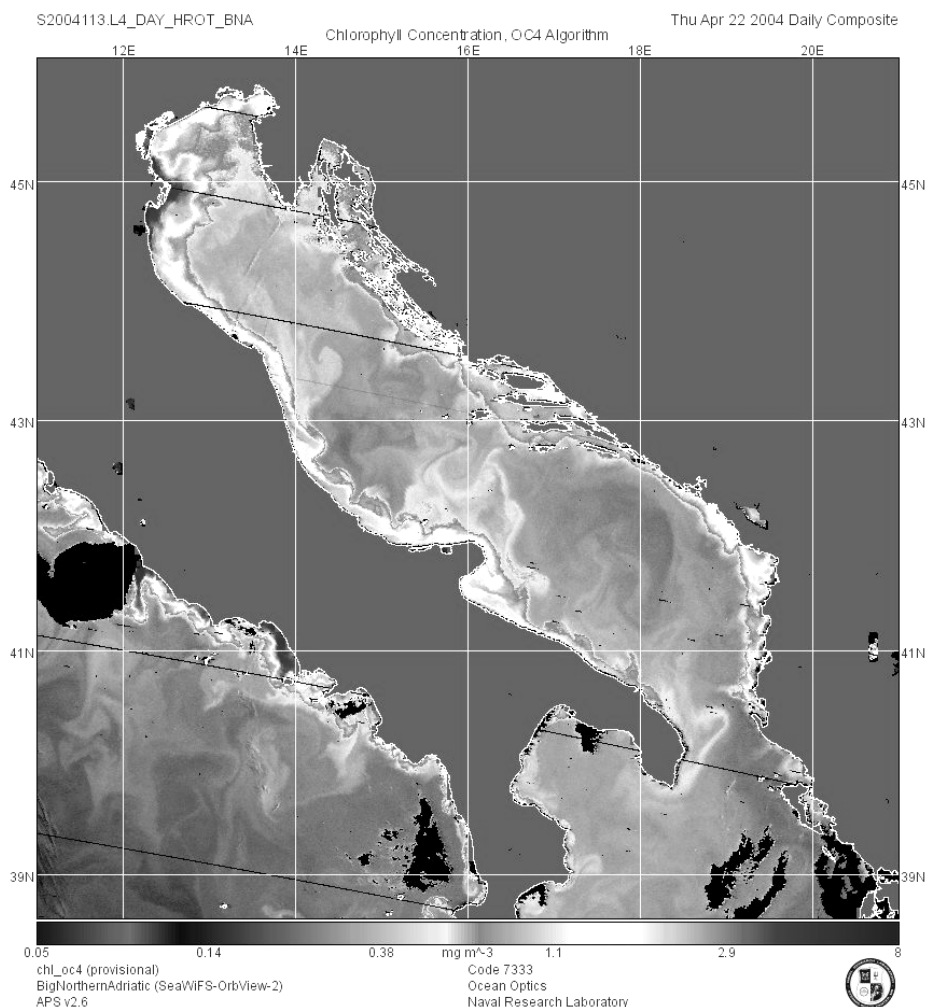
Optičke karakteristike morske vode uvelike ovise o količini pigmenta te suspendiranih i ottopljenih tvari u moru. Planktonski organizmi proizvode veliku količinu otopljene organske tvari, što može spriječiti prodor svjetlosti do većih dubina. Paralelno može doći do stvaranja spojeva koje nazivamo "žuta tvar", ili *Gelbstoffe*, koji mogu utjecati na raspršenje i apsorpciju u vodenom stupcu, te mijenjaju boju same vode. Budući da

žuta tvar apsorbira ultraljubičaste zrake (tablica 1.) i zračenja u plavom dijelu spektra, to će voda obogaćena ovom supstancom promijeniti optička svojstva i prikazat će se u posve drugoj boji u odnosu prema prirodno čistoj vodi. Kad je koncentracija žute tvari u vodi povećana, detekcija je bolja na snimkama načinjenima u infracrvenom intervalu spektra.

Da bi detekcija cvjetanja fitoplanktona sa satelita bila što kvalitetnija, potrebno je zadovoljiti nekoliko kriterija:

- da u atmosferi ima što manje oblaka,
- da je cvjetanje na morskoj površini ili vrlo blizu nje,
- da cvjetanje uzrokuje vidljive promjene u površinskoj temperaturi ili boji oceana,
- da zamućenost previše ne utječe na signal.

Na otvorenom moru detekcija je cvjetanja olakšana s obzirom na to da je razvoj fitoplanktona jedini odgovoran za promjenu boje morskoj vodi. Suprotno, u estuarijima i kopnenim vodama, suspendirani sediment i otopljene organske tvari te povećana turbulencija uvelike ometaju signal.



**Slika 5. Snimak Jadranskog mora dobiven s pomoću SeaWiFS-senzora 2004. godine. Prikazane su koncentracije klorofila u mg/m<sup>3</sup>, znatno povećane u delti rijeke Po.**  
**Figure 5. SeaWiFS view of the Adriatic in 2004. Chlorophyll concentrations in mg/m<sup>3</sup> are shown (noticeably magnified in the Po Delta)**

## Zaključak

### Conclusion

Sve učestalija pojava fitoplanktonskih cvjetanja u svjetskim morima upućuje na sve veću potrebu za njezinim ranijim uočavanjem i određivanjem rasprostranjenosti. Satelitsko praćenje Zemljine površine ima veliku ulogu u otkrivanju, praćenju i predviđanju cvjetanja fitoplanktona. Motrenje iz svemira omogućuje stvaranje vremenskih serija satelitskih snimaka na kojima se mogu pratiti sukcesije različitih populacija i njihova kretanja. Nažalost, satelitsko praćenje fitoplanktona ne može omogućiti uvid u taksonomski sastav fitoplanktonske populacije, pa se podatci dobiveni satelitskim mjerenjem moraju upotpunjavati rezultatima dobivenima tradicionalnim metodama u istraživanju fitoplanktona.

## Literatura

### References

D. Pozdnyakov, Petterson, L., Johannessen, O. M., Liasovski, A., Filatov, N., Bobylev, L., 2003: SeaWiFS maps water quality parameters of the White Sea. *Int. J. Remote sensing*, vol. 24, no.21, 4065-4071

M. Olujić, 2001: Snimanje i istraživanje Zemlje iz Svemira: sateliti, senzori, primjena. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Vijeće za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju, Zagreb. GEOSAT, 444-448. ISBN 953-154-502-2

D. Viličić, 2003: *Fitoplankton u ekološkom sustavu mora.*, Školska knjiga, Zagreb, str. 196

[http://helcom.navigo.fi/environment/indicators2002/chlorophyll/en\\_GB/chlorophyllsatellite/](http://helcom.navigo.fi/environment/indicators2002/chlorophyll/en_GB/chlorophyllsatellite/)

<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/>

[http://perswww.kuleuven.ac.be/~u0039396/gcm\\_essay.html](http://perswww.kuleuven.ac.be/~u0039396/gcm_essay.html)

<http://science.hq.nasa.gov/oceans/living/sensing.html>

Rukopis primljen: 7.11.2005.