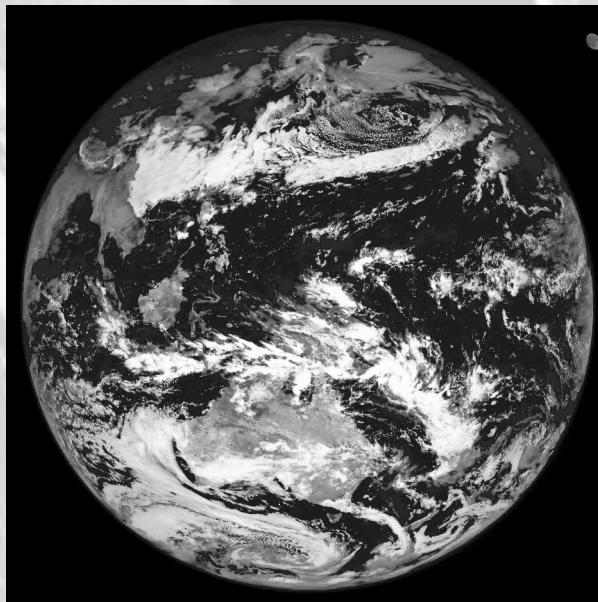


SATELITSKA ALTIMetriJA I RAZUMIJEVANJE TOPOGRAFIJE OCEANA

Uvod

Planet Zemlja je vodeni planet. Oceani pokrivaju 72 % površine Zemlje. U njima se nalazi većina Zemljinih zaliha CO₂ i topline, što povlači činjenicu da upravo oni igraju glavnu ulogu u određivanju globalnih klimatskih trendova. Klimatske promjene utječu na Zemljinu atmosfersku temperaturu i padaline, koje imaju velik utjecaj na ljudsko društvo i njihove djelatnosti (industrija, poljoprivreda, itd.). Cilj proučavanja oceana je nastojanje razumijevanja i predviđanja posljedica ovih promjena. Način na koji oceani, odnosno njihovo kretanje utječu na klimu do danas nije u potpunosti razjašnjeno...



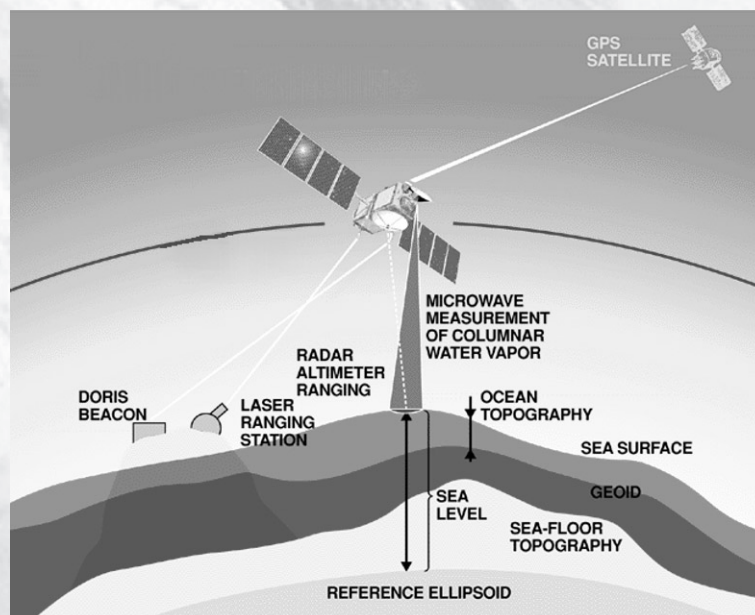
Slika 1. Planet Zemlja

Kroz povijest ljudi su na razne načine promatrali oceane i pojave na njima. Razvojem tehnike i znanosti došlo se do zaključka da bi promatranja iz svemira bila isplativija i omogućavala veću globalnu pokrivenost. Tako su se počele planirati satelitske misije. Svaka misija je sa sobom nosila različiti skup instrumenata i otkrivala nove činjenice koje su dokazale misije uspješnim, a samim time poticao se razvoj slijedećih misija i svemirskih letjelica. U ovom tekstu ćemo se baviti altimetrijskim misijama.

Satelitska altimetrija

Satelitska altimetrija je prva operativna tehnika mjerenja Zemlje iz svemira. Mikrovalni radio signali odaslani sa satelita se primaju i registriju nakon refleksije od Zemljine površine. Ova tehnika daje posebno dobre rezultate iznad vodenih površina uslijed povoljnih reflektivnih svojstava vode. Pojava ove tehnike omogućila je da se u vrlo kratkom vremenu stekne puno bolja spoznaja o geoidu na moru nego na kopnu.

Glavno područje primjene altimetrijskih podataka je oceanografija i praćenje promjena morske površine u vremenu i prostoru. Altimetrijska mjerenja su svoju primjenu pronašla prije svega u geodeziji, geodinamici i oceanografiji. U geodeziji se ova mjerenja koriste za računanje modela geoida za morska prostranstva i globalnih geoida. U geofizici se altimetrijski podaci koriste za određivanje podmorskog reljefa.



Slika 2. Koncept Satelitske altimetrije

Misije

Misije koje su prethodile misijama TOPEX/Poseidon i Jason bile su Geos - 3, SeaSat te Geosat:

- Geos – 3: Lansiran 1975, nosio je prvi altimetar namijenjen za dugoročne operacije
 - Tri godine je pribavljao gravitacijske i oceanografske podatke i rezultat njih su prve karte geoida na moru
 - Altimetrijski sustav GEOSa - 3 je mjerio površinu mora sa:
 - 20-centimetarskom preciznošću
 - 50-centimetarskom točnošću
- SeaSat: Lansiran 1978, dokazao je kompetentnost mikrovalnih senzora za daljinska istraživanja svjetskih oceana.
Na sebi je imao 5 instrumenata koji su mjerili:
 - zračne struje
 - temperaturu iznad mora
 - visine oceanskih valova
 - unutarnje valove
 - sastav vode u atmosferi
 - led u moru
 - topografiju oceanske površine
 - oblik morskog geoida
- Altimetrijski sustav SeaSata je mjerio površinu mora sa:
 - ❖ 10-centimetarskom preciznošću
 - ❖ 30-centimetarskom točnošću

Nažalost, misija je prerano završila; nakon otprilike 100 dana rada..

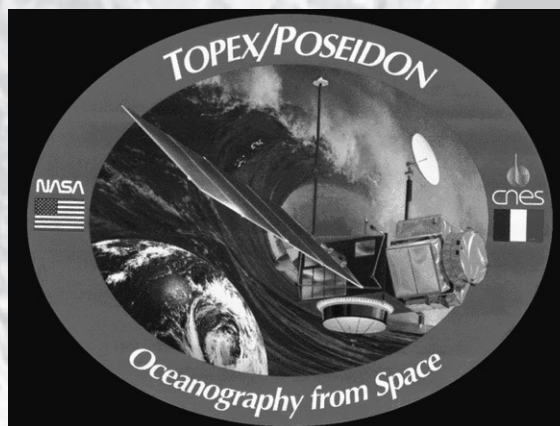
- Geosat: Lansiran 1985, Mjerio je isto što i SeaSat. Misija je trajala 4 godine.

TOPEX / Poseidon

Misija TOPEX/Poseidon je združena misija SAD-a i Francuske i dio je globalnog oceanografskog pokušaja da se dobije još širi i temeljitiji pogled na svjetske oceane. Njegova uloga uključuje kontinuirana mjerenja površinskih struja oceana.

NASA-in (National Aeronautics and Space Administration) Jet Propulsion Laboratory je počeo 1979.god. planirati TOPEX, oceanski TOPografski EXperiment koji bi koristio satelitski altimetar za mjerenje površine svjetskih oceana. U isto vrijeme, Francuska svemirska agencija CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) je planirala oceanografsku misiju Poseidon. Ove dvije svemirske agencije su odlučile udružiti snage i ujediniti misije u jednu.

Prvi TOPEX/Poseidon satelit je lansiran u kolovozu 1992.god. Rezultat udruživanja je visoko uspješna misija koja je ispunila znanstvene ciljeve iznad očekivanja i po nižoj cijeni nego što bi koštala svaka od ovih misija (*vidi URL1*). Misiju obilježava i činjenica da je to prvi satelit na kojeg je eksperimentalno ugrađen GPS prijamnik u svrhu što točnijeg određivanja pozicije (radijalna pozicija satelita određena sa točnošću većom od 3 cm, dok je točnost cijelog sustava bila veća od **5 cm**. Usporedbe radi, točnost SeaSat-a je iznosila cca **30 cm**).



Ciljevi misije

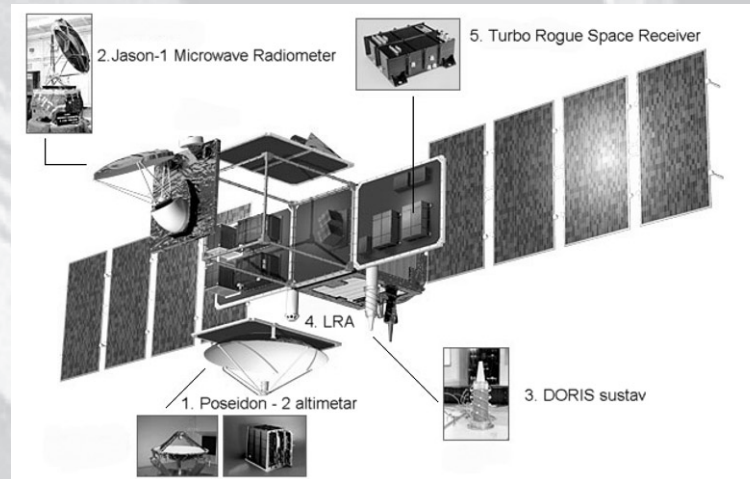
Misija TOPEX/Poseidon je planirana da bi se ispunili slijedeći ciljevi:

- određivanje cirkulacije oceana i oceanske varijabilnosti
- određivanje uloge vjetera u cirkulaciji oceana
- priroda oceanske dinamike
- razumijevanje prijenosa topline, masa, tvari i soli kroz oceane
- određivanje geocentričnih oceanskih plima
- interakcija plima s valovima
- poboljšavanje poznavanja marinskog geoida
- poboljšavanje razumijevanja litosfernih procesa (do 50 km) i procesa u omotaču (ispod 50km, a poviše jezgre).

Od svog lansiranja u kolovozu 1992.god. TOPEX/Poseidon je bilježio stanje oceana svakih deset dana (vrijeme potrebno za obilazak satelita oko Zemlje). Dobiveni podaci dali su bogat skup rezultata koji su proširili razumijevanje brojnih oceanskih fenomena (*vidi URL1 i URL3*).

Predviđeni rok trajanja misije bio je 3 godine, ali je zbog neočekivane izdržljivosti satelita produžen. Nakon 10 godina rada zamijenjen je najboljim postojećim altimetrijskim satelitom Jason-1.

Jason-1



Slika 3. Jason-1 satelit

Satelit Jason-1 ime je dobio po djelu iz grčke mitologije Jason i Argonauti. Jason je bio moreplovac očaran oceanima i u svojim putovanjima radio je s mnogo različitih ljudi. Tako ime satelita predstavlja njegovu namjenu snimanja oceana, kao i međusobnu suradnju grupa NASA/JPL i CNES. Satelit je nazvan Jason-1 jer je bio prvi satelit u planiranoj 20-godišnjoj seriji satelitskih misija (*vidi URL1*).

Jason-1 je minisatelit čiji je dizajn baziran na TOPEX/Poseidonu. Svi instrumenti koje nosi su bazirani na instrumentima TOPEX/Poseidona, a pogotovo altimeter. To je utjecalo na značajno smanjenje troškova razvoja misije.

Instrumenti satelita Jason - 1

Na satelitu Jason-1 nalaze se dva sustava sa pripadajućim instrumentima(Slika 3.):

A. Sustavi za mjerenje:

1. Poseidon - 2 altimeter

Glavni instrument misije je altimeter koji je izrađen na temelju Poseidon-1 altimetra u sklopu Topex/Poseidon misije. Poseidon-2 radar altimeter emitira valove na dvije frekvencije (13.6 i 5.3 GHz). Prva frekvencija se koristi samo za mjerenje, dok se druga frekvencija koristi za određivanje količine elektrona u atmosferi (TEC-Total Electron Content) i analizu povratnih signala reflektiranih od morske površine. Ove dvije frekvencije se također koriste za određivanje količine kiše u atmosferi (na temelju svojstava propagacije signala kroz različite medije). Vrijeme dvostrukog puta signala je nakon primjene korekcija veoma precizno određeno u svrhu računanja što točnije udaljenosti.

2. JMR (*Jason-1 Microwave Radiometer*)

Instrument JMR mjeri zračenje koje proizvodi površina oceana, oblaci i vodena para u atmosferi na tri frekvencije (18.7, 23.8 i 34 GHz). Signali opažani na ovim frekvencijama ovise o površinskim vjetrovima, temperaturi oceana, salinitetu, pjenu, absorpciji vodene pare i oblaka, te o raznim drugim faktorima. Za točno određivanje količine vodene pare u atmosferi trebamo eliminirati utjecaj morske površine i oblaka na signal primljen radiometrom.

Iz tog razloga JMR koristi tri frekvencije gdje je svaka frekvencija osjetljivija na jedan od ovih efekata u odnosu na drugu. Glavna frekvencija od 23.8 GHz koristi se za mjerenje vodene pare, frekvencija 18.7 GHz je visoko osjetljiva na varijacije vjetrova na morskoj površini, a frekvencija 34 GHz daje korekciju za 'nekišne' oblake. Mjerenja dobivena iz ovih frekvencija se kombiniraju da bi se odredila količina vodene pare u atmosferi.

Vodena para usporava signal altimetra što kao posljedicu ima pogrešku određivanja površine oceana od oko 10 cm. Iako je ova pogreška mala, potrebno ju je eliminirati. Kada je količina vode poznata možemo odrediti korekcije kašnjenja signala (*vidi URL2*).

B. Sustavi pozicioniranja

Satelit Jason-1 ima tri sustava pozicioniranja. Razlog tome je što pozicija satelita mora biti poznata u bilo kojem trenutku s točnošću od **nekoliko centimetara**. Sustavi pozicioniranja Jason-1 satelita (LRA, TRSR i DORIS) međusobno se nadopunjuju u svrhu određivanja pozicije satelita u orbiti s točnošću radijalne komponente (geocentrička udaljenost) unutar 2 cm.

3. DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Spacecraft*)

Sustav DORIS koristi zemaljsku mrežu od 50 orbitografskih stanica raspoređenih po Zemlji koje odašilju signale na dvije frekvencije prema prijamnicima na satelitima. Relativna gibanja satelita proizvode pomake u frekvencijama signala (Dopplerov pomak) koji se mjere da bi se odredila brzina satelita u orbiti. Ovi podaci se onda uvrštavaju u model određivanja orbite kako bi se precizna pozicija satelita (unutar 3 cm) u orbiti mogla konstantno pratiti (*vidi URL2*).

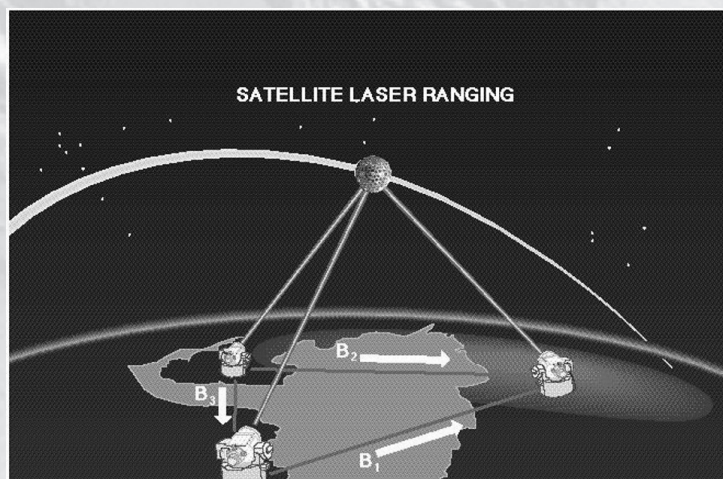
4. LRA (*Laser Retroreflector Array*)

Pasivni instrument LRA predstavlja referentnu metu za laserska mjerenja sa zemaljskih stanica (*vidi SATELLITE LASER RANGING). Koristi se za kalibraciju ostalih sustava pozicioniranja satelita s visokim stupnjem preciznosti. Na temelju obrade podataka, visina satelita je izračunata s točnošću unutar nekoliko milimetara (*vidi URL2 i URL4*).

5. TRSR (*Turbo Rogue Space Receiver*)

Instrument TRSR koristi GPS (Global Position System) za određivanje pozicije satelita. TRSR prima dvofrekventne navigacijske signale kontinuirano i simultano od maksimalno 16 GPS satelita, te koristi ove signale za određivanje faznih mjerenja s točnošću od 1 mm, te kodnih mjerenja s točnošću od oko 10 cm (*vidi URL2*). Podaci pozicije se integriraju u model određivanja orbite da bi se trajektorija satelita mogla kontinuirano pratiti.

SATELLITE LASER RANGING **



Slika 4. Satellite laser ranging

SATELLITE LASER RANGING je najpreciznija opažачka tehnika u satelitskoj geodeziji. Analizom vremena dvostrukog puta laserske zrake između zemaljskog stajališta (Laserskog teleskopa) i opažanog satelita računaju se efemeride pojedinih satelita, ali isto tako i pozicije stanica.

Dugoročni setovi podataka mogu se koristiti za nadgledanje kretanja Zemljinih tektonskih ploča, mjerenje Zemljinog polja ubrzanja sile teže, mjerenje pomaka zemljine osi rotacije i bolje određivanje duljine dana na Zemlji.

Zbog malenog broja zemaljskih stanica i osjetljivosti laserske zrake na vremenske uvjete nemoguće je kontinuirano pratiti satelit. Zato su satelitima potrebni ostali sustavi pozicioniranja.

BUDUĆNOST

Budući sateliti bi trebali omogućiti bolju prostornu i vremensku pokrivenost u odnosu na satelite koji su trenutno u funkciji. Takva poboljšanja omogućit će bliža proučavanja raznih fenomena.

Jason – 2

U planu je da 2008. god. satelit Jason–2 (Slika 5.) preuzme i nastavi TOPEX/Poseidon i Jason–1 misiju. Satelit Jason–2 će, kao dodatak Poseidon altimetru, imati i eksperimentalni altimeter/interferometar WSOA (Wide Swath Ocean Altimeter). WSOA će kombinirati dvije altimeter antene kako bi mjerenja bila simultana te će tako omogućiti kontinuiranu pokrivenost velikih područja (200 km dugu liniju snimanja) (vidi URL2).



Slika 5. Jason – 2 satelit

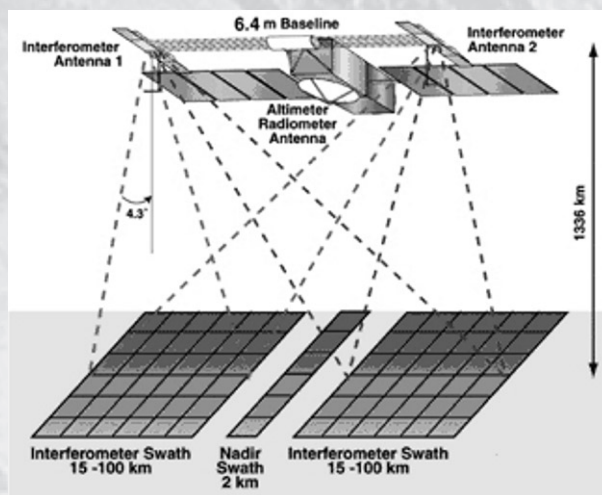
Instrumenti

Satelit Jason–2 će biti opremljen slijedećim instrumentima:

- **dvofrekventni radar altimeter** koji će imati dva nosača da bi se mogla odrediti ionosferska korekcija i tako postigla točnost mjerenja kao kod satelita TOPEX/Poseidon i Jason–1
- **radiometar s tri kanala**
- **GPS prijamnik, DORIS i LRA** za precizno određivanje orbite
- **WSOA** (*Wide Swath Ocean Altimeter*)

WSOA (*Wide Swath Ocean Altimeter*)

Eksperimentalni altimeter/interferometar WSOA zasniva se na tehnici kombiniranja mjerenja pomoću altimetra i interferometra. To je širokopojasni radar altimeter koji će mjeriti visine morske površine uzduž linije snimanja koja je centrirana na putanju satelita projiciranu na Zemlju. Sastoji se od dva interferometra s baznom linijom od 6.4 metra, te svaki od njih prekriva područje snimanja (poprečno) od 15 –100 km. On će raditi tako što će svaki interferometar odašiljati svoj signal, a primat će signal od drugog interferometra (slika 6).



Slika 6. Područje zahvata WSOA altimeter/interferometra

Rezultati mjerenja

Očekivani rezultati mjerenja pomoću satelita Jason-2 će biti precizniji i vremenski dostupniji od rezultata prethodnih misija. Tri su faktora koja će utjecati na kvalitetu mjerenja:

1. **Šum mjerenja** koji ovisi o baznoj liniji antene: što je bazna linija duža, manji je šum
2. Pogreške zbog **utjecaja ionosfere, troposfere i stanja morske površine** koje iznose oko 1–2 cm rms.
3. Pogreška zbog poprečnih i uzdužnih gibanja satelita koja ima izravan utjecaj na geometriju mjerenja triangulacijom.

ZAKLJUČAK

Oceani su od pamtivijeka bili nepresušni izvor inspiracije pisaca, znanstvenika i povijesnih ličnosti. Njihova moć i ljepota su došli do izražaja kroz mnoga pisana djela i usmenu predaju.

Oceani danas diriraju klimatske uvjete svijeta oko nas.

Naša geodetska struka, u širokom spektru struka koje se bave oceanima, možda i ne pruža toliko aspekata promatranja s obzirom da, grubo rečeno, dajemo podatak "gdje i koliko" za razliku od možda bitnijeg "kako i zašto?", ali zasigurno utiremo put znanstvenim otkrićima.

Nas možda i ne čeka slava slična onoj kojom su ovjenčani slavni fizičari i oceanografi poput Jean Jacques Cousteau-a ili možda Galilea, ali možda jednoga dana baš naša struka izrodi znanstvenike koji će svojim radom doprinijeti boljoj budućnosti svijetu oko nas, a samim time i proslaviti našu struku na ponos sviju nas... nadamo se da ćete to upravo biti Vi...

Literatura:

URL1: <http://topex-www.jpl.nasa.gov/>

URL2: http://www.aviso.oceanobs.com/html/missions/welcome_uk.html

URL3: <http://sealevel.jpl.nasa.gov/>

URL4: http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/jason/

Bačić, Ž. (1998). Satelitska geodezija III, Interna skripta za studente Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Multimedijalni CD: „TOPEX/Poseidon: Perspectives on an Ocean Planet”

Zoran Strižak
Vedran Vudrag

