

UDK 551.461.2(262.3)(497.5):528.225
Pregledni znanstveni članak

Analiza mareografskih podataka o Jadranskom moru od 1953. do 2006. godine

Milan REZO – Varaždin¹, Marko PAVASOVIĆ – Zagreb²,
Marko ŠLJIVARIĆ – Šibenik³

SAŽETAK. U radu se analiziraju srednji dnevni, godišnji i periodični podaci o razinama mora duž istočne obale Jadranskog mora s registriranim minimalnim i maksimalnim vrijednostima morskih mijena. Opisuju se mehanički i tlačni uređaji namijenjeni registraciji razine mora s posebnim naglaskom na odabir lokacija mareografskih stanica. Također je opisana satelitska altimetrija – metoda prikupljanja podataka o obliku i promjenama oblika Zemljine površine, prije svega vodenih masa. Detaljnije se opisuju metode računanja srednje dnevne, godišnje i periodične razine mora kroz direktno izjednačenje mjerenih veličina i pripadnom ocjenom točnosti. Analizirane su srednje dnevne i godišnje vrijednosti od 1953. do 2006. godine te izračunate srednje razine mora za glavni period od 18,61 godine.

Ključne riječi: mareografska stanica, mjerni uređaj, mareografska nula, satelitska altimetrija, srednje dnevne vrijednosti, srednje godišnje vrijednosti, periodične vrijednosti, morske mijene.

1. Uvod

Prikupljeni skup dnevnih mareografskih podataka od 1953. do 2006. godine omogućuje detaljniju analizu plimne dinamike Jadranskog mora, pri čemu se ponajprije misli na poludnevne, dnevne, godišnje i periodične promjene. Stoga se analiziraju dnevni zapisi mareografa računanjem mjesečnih srednjih vrijednosti, nadalje mjesečni zapisi za potrebe računanja godišnjih srednjih vrijednosti i na kraju godišnji zapisi za potrebe računanja periodičnih promjena u periodu od 18,61 godine, tj. glavnog nutacijskog perioda. Kako su u radu analizirana mareografska mjerenja, posebna pozornost posvećena je izboru lokacija mareografskih stanica.

¹ doc. dr. sc. Milan Rezo, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, HR-42000 Varaždin, Croatia, e-mail: mrezo@gfv.hr,

² dr. sc. Marko Pavasović, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Croatia, e-mail: marko.pavasovic@geof.hr,

³ dr. sc. Marko Šljivaric, Geodezija d.o.o. Šibenik, Kralja Zvonimira 42, HR-22000 Šibenik, Croatia, e-mail: marko.sljivaric@gmail.com.

2. Izbor lokacije mareografskih stanica

Prije izbora lokacija za izgradnju mareografskih stanica potrebno je uz geološko-geotehničku informaciju o terenu definirati u koje će se svrhe upotrebljavati mjereni podaci, te sukladno zahtijevanoj mjernoj točnosti podataka, odabrati mjerni sustav i lokaciju. Većina je lokacija sama po sebi prirodno definirana u mjestima gdje je nužno izgraditi mjernu stanicu zbog promjena vodostaja rijeka, plimnih valova ili na mjestu izgradnje velikih kanalizacijskih kolektora i luka. Podaci dobiveni s takvih stanica upotrebljavaju se za geofizičke i oceanografske potrebe. Takve mareografske stanice nisu prihvatljive za dugoperiodična motrenja radi definiranja nulte plohe za potrebe uspostave nacionalnih visinskih datuma. Izabrane lokacije mareografa i datumske točke (osnovni mareografski reper) moraju zadovoljiti sljedeće kriterije (Pugh 2004):

- da su zaštićene od olujnih udara morskih valova izazvanih vjetrovima koji uzrokuju podizanje morskih stijena i građevina na bliskom kopnenom dijelu,
- da se mareograf i mareografski reper nalaze na stabilno odabranoj lokaciji, odnosno objektu, koja nije izložena podzemnim djelovanjima, ili da se ne nalaze na prethodno izgrađenim rivama, molovima, lukobranima i slično,
- dubina vode mora biti najmanje jedan metar ispod vizualno definirane mareografske nule, kako bi se u najekstremnijim niskim vodama plovak mjernog uređaja nesmetano gibao u kućištu,
- izbjegavati mjesta na ušćima rijeka, gdje dolazi do znatne promjene gustoće vode što rezultira različitim očitanjima na mjernim uređajima opremljenim senzori-ma,
- izbjegavati oštre rtove, strme obale u čijim se područjima pojavljuju visoki valovi i povratno odbijanje vode od strmih obala uzrokuje valne vrtloge koji mijenjaju stvarnu razinu mora,
- izbjegavati blizine mjesta s ispuštima oborinskih voda koje u užem području izazivaju centimetarske promjene razine vode,
- izabrati lokacije na kojima se u dužem vremenskom razdoblju neće poduzimati građevinski radovi za izgradnju lukova, molova, vjetrobrana ili se ne predviđa gradnja većih tvornica, koje ispuštima vlastitih voda također mijenjaju razinu mora u blizini mareografa,
- idealno odabrana lokacija je živa stijena izvan svih navedenih područja koja poremećajno djeluju na konačnu vrijednost razine mora.

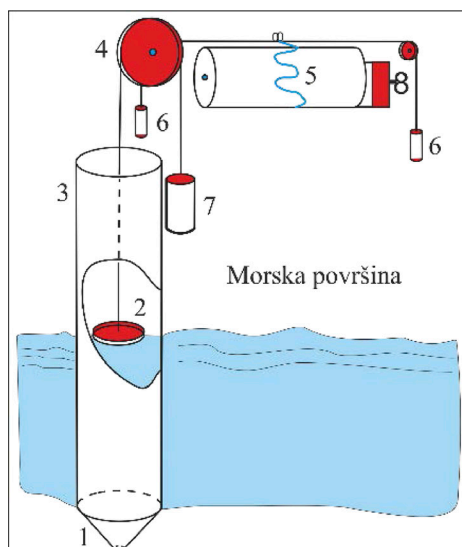
2.1. Vrste mjernih uređaja

Među najjednostavnije mjerne uređaje spada mehanički mjerač razine mora (slika 1). Plovak (2), koji se nalazi unutar čvrsto stabiliziranog valjka (3) koji na svom dnu završava u obliku stošca s malim otvorom na samom vrhu (1), povezan je čeličnim užetom preko zupčanika (4) i protuutega (7) koji čeličnu žicu drži napetom. Registracija promjena razine mora u grafički prikaz odvija se preko veze s dva zupčanika manjeg polumjera, povezana utezima (6) i čeličnom žicom na kojoj

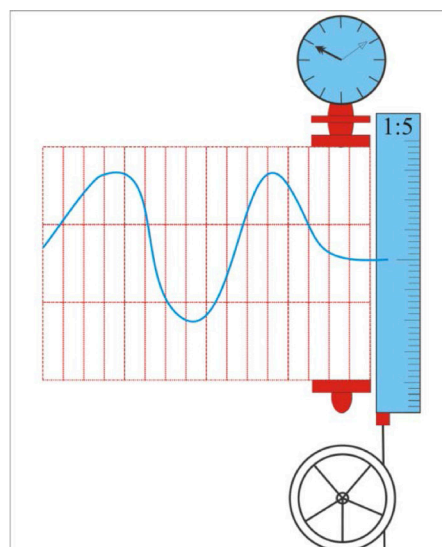
se nalazi pričvršćeno pero koje iscertava trenutačne razine vode (5) (Pugh 2004). Gibanje plovka unutar cijevi mora biti nesmetano, a promjene razine mora bilježe se na pisacem valjku (5) u odnosima 1:5 ili 1:10 (slika 2). U naprednije mjerne sustave ubraja se zvučni mjerni uređaj (slika 3) koji razine mora mjeri na temelju razlike vremena impulsa zvuka, prijednog dvostrukog puta od sonde do reflektirajuće morske površine. Vrijeme puta signala može se prikazati izrazom (Pugh 2004):

$$t = \frac{2l}{C_a}, \quad (1)$$

gdje je l udaljenost, C_a je konstanta i označava brzinu zvuka u prostoru (kod $20\text{ }^\circ\text{C} = 343\text{ ms}^{-1}$), a t vrijeme prolaza odaslanog i primljenog impulsa.



Slika 1. Mehanički mjerni uređaj (Rezo 2010).



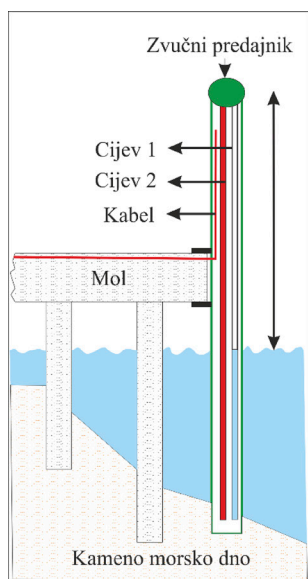
Slika 2. Zapis trenutačnih razina mora (Rezo 2010).

Zvučni uređaj svake sekunde šalje impuls prema vodenoj površini kroz otvor cijevi od 1,3 cm i mjeri vrijeme putovanja signala. Radi računanja korekcijskih parametara, u drugoj se cijevi paralelno emitira zvučni signal prema fiksnoj točki. Na taj se način izmjerena veličina korigira za promjene temperature, tlaka i vlažnosti. Interval registracije podataka može biti sekundni ili više sekundni, gdje se registrira aritmetička vrijednost na temelju prethodno izmjerenih razina mora. Zvučni mjerni uređaji ugrađuju se u vertikalne, dobro izolirane i nehrđajuće cijevi promjera 150 mm. Takva se cijev može ugraditi uz rub prirodnih ili ljudskom rukom izgrađenih objekata, gdje je u tom slučaju podložna lokalnim geodinamičkim procesima. Danas su najzastupljeniji zvučni mjerni uređaji uz dodatne senzore za temperaturu, tlak i vlažnost, a prijenos mjerenih veličina može biti trenutačni.

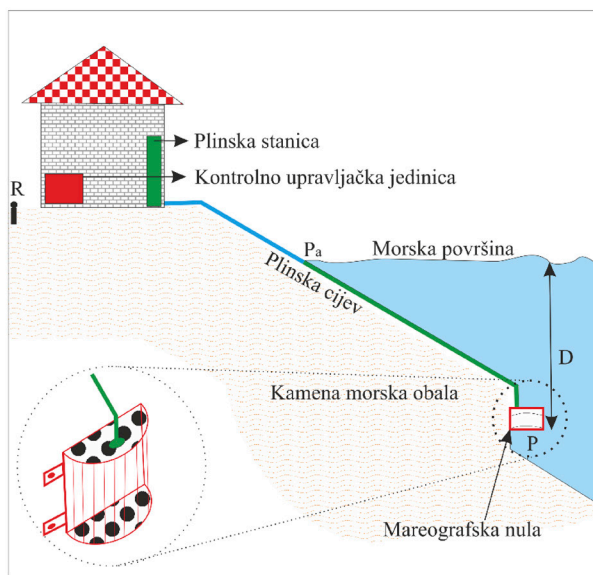
Tlačni mjerni uređaj, zbog mogućnosti postavljanja 100–400 metara daleko od obale i nekoliko stotina metara u morsku dubinu, spada u najpouzdanije mjerne sustave kada su u pitanju lokalni geodinamički procesi (slika 4). Promjene razine mora registriraju se na temelju promjene tlaka na kraju cijevi koja završava ugrađenom sondom (mareografska nula) i tlaka na trenutačnoj površini mora. Tlak na sondi uronjenoj ispod morske razine može se prikazati izrazom (Pugh 2004):

$$P = P_a + \rho g D, \quad (2)$$

gdje je P tlak sonde, P_a atmosferski tlak na trenutačnoj površini vode, ρ srednja gustoća u stupcu morske vode, g ubrzanje sile teže mjereno u blizini morske površine i D dubina vode iznad sonde. Cijev povezuje sondu s plinskom stanicom iz koje se regulira protok plina. Vrijednosti razine mora elektronski se zapisuju na temelju razlika vrijednosti tlaka sonde P i atmosferskog tlaka P_a . Mali nedostaci ovog mjernog sustava pripisuju se promjeni gustoće morske vode u blizini sonde, a koju uzrokuje plima i oseka.



Slika 3. Zvučni mjerni uređaj (Rezo 2010).



Slika 4. Tlačni mjerni uređaj (Rezo 2010).

Svi spomenuti uređaji osiguravaju točnost mjerenja razine mora od $\pm 0,01$ cm. Prednosti zvučnog i tlačnog uređaja u odnosu na mehanički su u digitalnoj registraciji podataka i brzini prijenosa do središnjih centara za praćenje gibanja mora i oceana. Njihov zajednički nedostatak praćenja promjena razina mora i oceana izvan kopnenih dijelova nadomješten je pojavom satelitske altimetrije (Pugh 2004).

2.2. Satelitska altimetrija

Praćenja promjena površina mora i oceana omogućeno je pomoću niza satelitskih misija, među kojima su najznačajnije bile: SKYLAB, SPOT, GEOS-3, GEOSAT-1, GEOSAT, ERS-1, ERS-2, TOPEX/Poseidon, GFO, Jason-1, Jason-2. Satelitska altimetrija prvi je put testirana u SKYLAB misijama SL-2, SL-3 i SL-4 tijekom 1973. i 1974. godine. Altimetar je bio ugrađen na NASA Skylab svemirsku postaju, koja je bila eksperimentalno razvijena, kako bi se ispitala mogućnost upotrebe radarske altimetrije za potrebe oceanografije. S točnošću instrumenta od ± 1 m i točnošću radijalne komponente orbite ± 10 m, mjerenja su bila male praktične upotrebljivosti (URL 1).

Satelitski sustav SPOT (franc. *Systeme pour l'Observation de la Terre*) razvila je francuska svemirska agencija CNES, a sam sustav sastoji se od nekoliko satelita lansiranih u razdoblju od 1990. (SPOT 2) do 2002. godine (SPOT 5). Visina leta satelita je 830 km (URL 2).

Višenamjenski satelit GEOS-3 (engl. *Geodynamics Experimental Ocean Satellite*) imao je osim radarskog altimetra i reflektore za laserska mjerenja te Doppler odašiljače za precizno određivanje orbite satelita. Primjenom Dopplerova efekta, koji se zasnivao na promjenama valne duljine uzrokovane gibanjima satelita u odnosu na izvor, točnost radijalne komponente orbite satelita bila je na razini od ± 1 m. Ova je misija značila važan korak prema svakidašnjoj upotrebi altimetrijskih podataka (URL 1).

Misija GEOSAT (engl. *GEOdetic SATellite*) pokrenuta je 10. ožujka 1985. godine. Cilj misije bilo je određivanje plohe geoida za potrebe mornarice SAD-a, a prestala je s radom 31. siječnja 1990. godine (URL 3).

Europska svemirska agencija (engl. *European Space Agency – ESA*) pokrenula je satelitsku misiju ERS-1 (engl. *European Remote Sensing Satellite*) 17. siječnja 1991. godine. Cilj misije bilo je promatranje Zemlje, a posebno atmosfere i oceana. Sateliti su bili lansirani u orbitu pod kutom od $98,52^\circ$, na visinu od 785 km iznad Zemlje, a bili su opremljeni različitim senzorima i kamerama među kojima je i radarski visinomjer (engl. *Radar Altimeter – RA*). Sustav je isključen u lipnju 1996. godine, a u potpunosti prestaje s radom 31. ožujka 2000. godine.

Satelit Topex/Poseidon bio je lansiran 10. kolovoza 1992. godine radi motrenja oceanskih površina. Satelit je uz sustav DORIS (engl. *Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*) bio opremljen i s dva visokoprecizna altimetra. Osnovna svrha umreženog sustava DORIS bila je što pouzdanije odrediti položaje satelita u orbiti na temelju mjerenja Dopplerova efekta. Ta je misija omogućila određivanje srednje razine mora i oceana s točnošću od ± 2 cm. U prosincu 2001. godine pokrenuta je misija JASON-1, koja je prestala s radom u listopadu 2005. godine.

Nakon GEOSAT-a, 10. veljače 1998. godine pokrenuta je misija GFO (engl. *Geosat Follow-On*), a trajala je do 11. studenoga 2008. godine. Kao i kod GEOSAT-a, sateliti iz misije GFO bili su opremljeni altimetrima u svrhu definiranja plohe geoida za potrebe mornarice SAD-a.

U tablici 1 dan je prikaz osnovnih podataka vezanih najznačajnijih altimetrijskih misija, opremljenih radarskim visinomjerom.

Tablica 1. Osnovni podaci nekih od najznačajnijih altimetrijskih misija opremljenih radarskim visinomjerom.

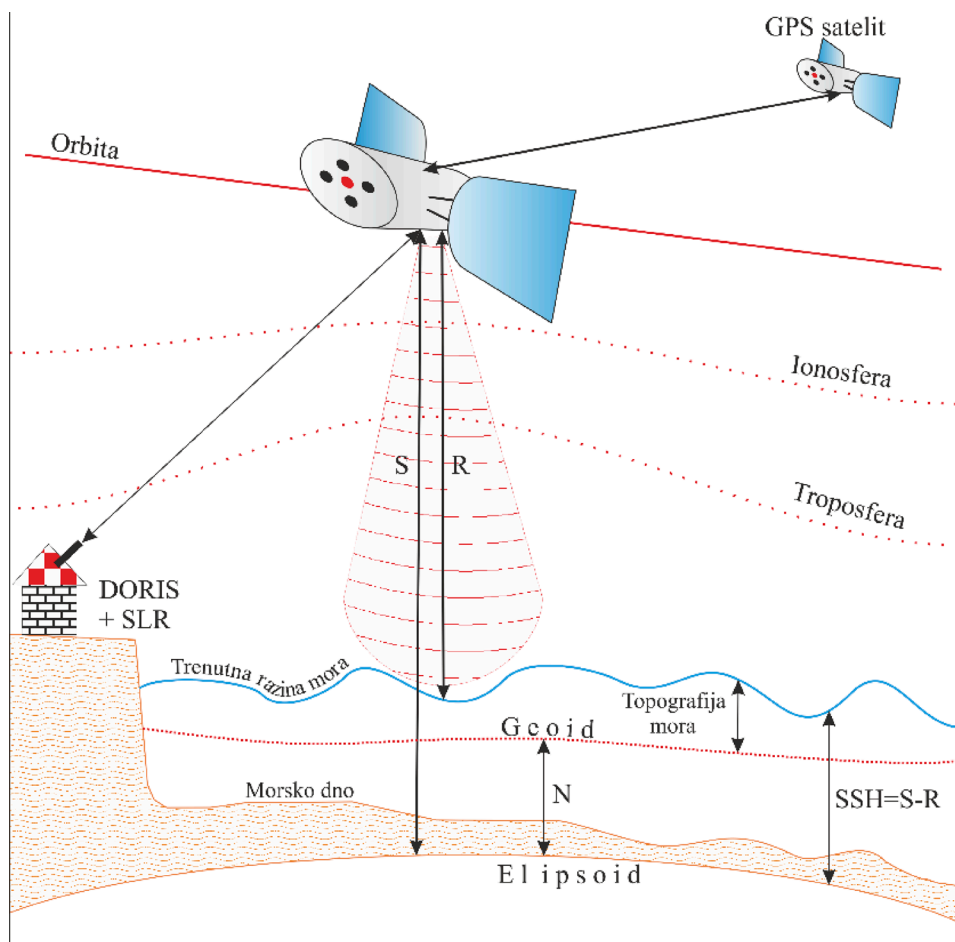
Misija	Jason-2	Envisat	Jason-1	ERS-2
Početak rada	20. lipnja 2008.	1. ožujka 2002.	7. prosinca 2001.	21. travnja 1995.
Kraj rada	–	8. lipnja 2012.	1. srpnja 2013.	6. srpnja 2011.
Visina orbite	1336 km	800 km	1336 km	785 km
Inklinacija	66°	98,55°	66°	98,52°
Agencija	CNES/NASA/ Eumetsat/Noaa	ESA	CNES/NASA	ESA
Ciljevi	Mjerenje razine mora i oceana	Mjerenja Zemljine atmosfere, morskih i oceanskih površina	Mjerenje razine mora i oceana	Mjerenja Zemljine atmosfere, morskih i oceanskih površina

Satelitskom altimetrijom u osnovi se određuje udaljenost od satelita do reflektirajuće plohe (Bašić 1992, Bašić 2002, Bašić i Rapp 1992). Uz udaljenost (R), dobiva se informacija o veličini, obliku i smjeru gibanja vala na morskim i oceanskim površinama (slika 5). Navedene su informacije posebno važne za predviđanja uraganskih vjetrova koji nastaju na oceanima. Najbolji su rezultati mjerenja dobiveni preko oceana, koji prostorno čine homogene površine s poznatim parametrima temperature, tlaka i gustoće. Trenutačno aktivne misije na temelju srednjih vrijednosti podataka daju centimetarsku točnost srednje razine mora ili oceana. Osnovno načelo rada satelitske altimetrije vrlo je jednostavno (slika 5). Naime, sa satelita koji služi kao pokretni nosač instrumenata za mjerenje odašilju se radiovalovi prema površini Zemlje te se tako reflektirani signal ponovno prima u prijammniku. Na osnovi mjerenja vremena putovanja signala od trenutka slanja do trenutka prijama izračuna se visina satelita iznad površine Zemlje. Dvostruki put je (Seeber 1993):

$$2R = (t_2 - t_1)C, \quad (3)$$

gdje je $2R$ dvostruko prijeđen put od satelita do reflektirajuće Zemljine površine, t_2 vrijeme primljenog signala, t_1 vrijeme odaslanog signala i C brzina širenja elektromagnetskog vala. Mjerene su veličine opterećene pogreškama zbog djelovanja ionosfere i troposfere, te je potrebno provesti adekvatne korekcije koje po izvorima pogrešaka svrstavamo u tri skupine: odstupanje realne orbite satelita od izračunate orbite (*pogreške orbite*), utjecaji na signal uzduž puta širenja signala (*pogreške altimetra*) i odstupanja trenutačne površine mora od geoida.

Više od 50 stanica DORIS na Zemljinoj površini zajedno s laserskim mjernim stanicama SLR (engl. *Satellite Laser Ranging*) i GNSS (engl. *Global Navigation Satellite Systems*) osigurava visokotočne pozicije satelita za svaki trenutak t_0 (Bašić 2010). Iz poznatih koordinata satelita u terestričkom koordinatnom sustavu, koordinata geocentra koji definira ishodište referentnog elipsoida i parametara istog, računaju se udaljenosti do referentne plohe elipsoida s točnošću od ± 3 cm (slika 5) (Bašić i Bašić 1999).

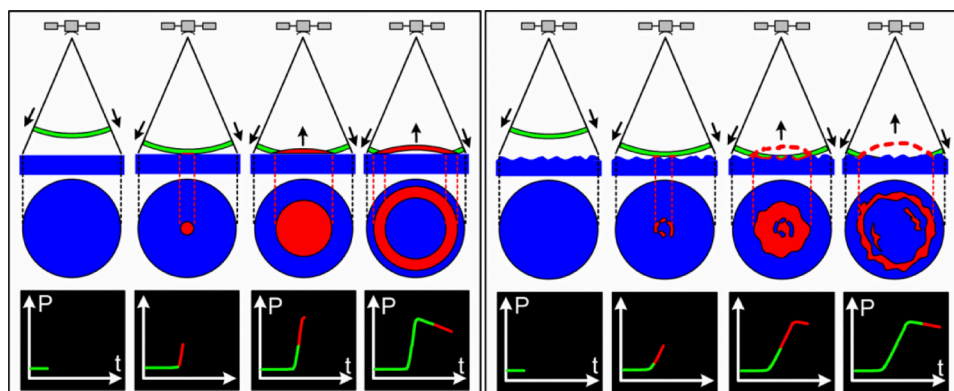


Slika 5. Princip satelitske altimetrije (Rezo 2010).

O kakvom je obliku i veličini vala riječ, može se saznati iz informacije koju satelit primi reflektirajućim signalom s površine Zemlje. Promjene gornjeg sloja topografije mora ne mogu se opisati matematičkim izrazima, stoga je bitna interpretacija reflektiranog eho signala (slika 6) (URL 4). Lijevi dio slike 6 prikazuje mirnu oceansku i morsku površinu s pravilnim oblikom, a desni dio slike valovitu oceansku i morsku površinu s nepravilnim oblikom zahvaćene površine. U donjem dijelu slike vidljiv je grafički prikaz intenziteta, smjera i veličine amplitude signala (P). Amplituda povratnog signala karakterizira površinu gdje niske vrijednosti označavaju valovitu, a visoke ravnu površinu.

Trenutačna visina površine mora (engl. *Sea Surface Height* – SSH) računa se na temelju razlika izračunate visine satelita iznad referentnog elipsoida (S) i mjerene veličine (R):

$$SSH = S - R . \quad (4)$$



Slika 6. Različiti primjeri povratnog signala (URL 4).

Uklanjanje topografije mora iznimno je složen i zahtjevan postupak jer je riječ o stalnim dinamičkim promjenama izazvanim rotacijom Zemlje, djelovanjem privlačnih sila Sunca i Mjeseca (Zemljini plimni valovi) te utjecajem vjetera i struja.

Ako iz mjerene trenutačne visine površine mora isključimo topografiju mora, dobit ćemo plohu konstantnog potencijala W_0 , nazvanu geoid, koji predstavlja nultu plohu za odbrojanje visina, odnosno srednju razinu mora.

3. Srednja razina mora (SRM)

Jedna od temeljnih statističkih vrijednosti je prosječna vrijednost serija očitavanja morske razine. Prosječna razina mora izvedena iz analize varijacija razine mora u dugom periodu upotrebljava se za definiranje nacionalnih referentnih visinskih sustava. U geodetskim znanstveno-stručnim istraživanjima (mjerjenja) često se prihvaća srednja razina mora (engl. *Mean Sea Level* – MSL), koja se računa na temelju dnevnih mjerjenja u periodu od 18,61 godine.

Opći prikaz promatrane razine mora $X_{(t)}$ koja je ovisna o vremenu t može se napisati (Pugh 2004):

$$X_{(t)} = \bar{M}_{(t)} + T_{(t)} + S_{(t)}, \quad (5)$$

gdje je $\bar{M}_{(t)}$ srednja razina mora koja se s vremenom vrlo sporo mjenja, $T_{(t)}$ dio varijacije plimnog vala, a $S_{(t)}$ vrijednost meteoroloških utjecaja na promjenu.

Pretpostavimo da imamo pojedinačna mjerjenja $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ iz kojih se može izračunati srednja vrijednost mjerenih veličina (Feil 1989, Wolf i Ghilani 1997, Wolf i Ghilani 2006):

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n). \quad (6)$$

Kako bi se opisala širina očitavanja u nizu mjerenja razine mora oko srednje vrijednosti kao srednju vrijednost kvadrata pojedinog odstupanja može se izračunati prosječna varijanca σ^2 (Feil 1989, Wolf i Ghilani 1997, Wolf i Ghilani 2006):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (x_n - \bar{x})^2, \tag{7}$$

koja uvijek mora imati pozitivnu vrijednost. Kvadratni korijen varijance σ naziva se standardna devijacija x oko \bar{x} .

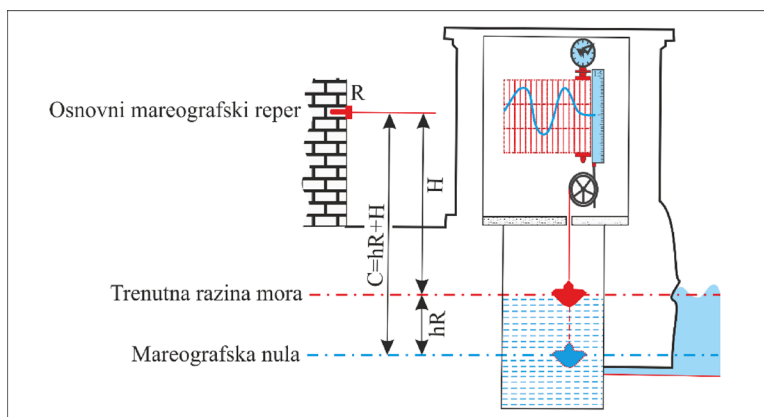
Složenija tehnika, tzv. Fourierova analiza, predstavlja vremenske nizove u smislu distribucije varijanci na različitim frekvencijama. Komponente plimnog vala u serijama razine mora obično su neovisne jer imaju različite fizikalne uzročnike. Kao rezultat te neovisnosti može se uspostaviti veza za ukupan broj mjerenja n preko mjerenih vrijednosti razine mora (Pugh 2004):

$$\sum_{n=1}^n (X_{(t_n)} - \bar{M})^2 = \sum_{n=1}^n T_{(t_n)}^2 + \sum_{n=1}^n S_{(t_n)}^2. \tag{8}$$

3.1. Osnovni pojmovi i mareografska konstanta

Prema slici 7, mareografska nula je zamišljena ravnina čiji je položaj točno određen udaljenošću od osnovnoga mareografskog repera. Položaj mareografske nule definiran je osnovnim kriterijima za postavljanje mareografskih stanica. Osnovni mareografski reper je točka preko koje se može izraziti položaj svih razina mora, a u pravilu je stabiliziran na samom objektu mareografa kao horizontalni reper ili u blizini, na živoj stijeni, kao vertikalni reper.

Uz provjere mareografske konstante koja služi za kontrolu rada mareografa, potrebno je provoditi kontrolna nivelmanska mjerenja s točnošću od ± 1 mm, između osnovnoga mareografskog repera i minimalno tri repera stabilizirana na udaljenostima do 1 km. Relativni visinski odnosi između tih repera i repera na mareografima ukazivat će na vertikalna gibanja Zemljine površine u blizini mareografa ili



Slika 7. Mareografska stanica s položajem osnovnoga mareografskog repera (Rezo 2010).

na vertikalne pomake samog mareografa kao objekta. Odnos mareografskog repera i mareografske nule za svaku je mareografsku stanicu konstanta nazvana mareografska konstanta. Elementi su mareografske konstante: ordinata h na mareogramu pretvorena u prirodnu vrijednost hR (to je zapravo trenutačna visina razine mora iznad mareografske nule) i udaljenost H površine mora u tom trenutku od osnovnog mareografskog repera. Dakle, suma tih dvaju elemenata daje mareografsku konstantu C (HHI 2006):

$$C = hR + H. \quad (9)$$

4. Definiranje kalendara za računanje srednje razine mora

Srednja razina mora računa se za period od 18,61 godine (6794 dana), definirajući epohu te vremensku skalu od 9,305 godina prije i nakon srednje epohe. Epoha se definira u građanskom datumu, npr. 3. 7. 1971. godine (epoha 1971,5), a jednu vremensku epohu moguće je definirati na više načina. Julijanski datum (engl. *Julian Date* – *JD*) predstavlja broj srednjih Sunčevih dana koji su protekli u odnosu na epohu 4713. prije Krista. Modificirani Julijanski datum (engl. *Modified Julian Date* – *MJD*) dobije se oduzimanjem 2 400 000,5 dana od *JD*, što je dogovoreno ponajprije radi uštede na brojkama i zbog poklapanja s građanskom ponoći umjesto podneva.

Preračunavanje između navedenih datuma opisano je u (Hofmann-Wellenhof i dr. 1994) i vrijedi za razdoblje od ožujka 1900. do veljače 2100.

Neka je građanski datum izražen cjelobrojnim vrijednostima za godinu Y , mjesec M i dan D , te realnom brojčanom vrijednošću za vrijeme u UT . Tada za prijelaz u Julijanski datum – JD vrijedi (Bačić i Bašić 1999):

$$JD = INT[365,25y] + INT[30,6001(m+1)] + D + \frac{UT}{24} + 1720981,5, \quad (10)$$

gdje INT označava cjelobrojni dio realnog broja, dok su y i m parametri:

$$\begin{aligned} y = Y - 1 \text{ i } m = M + 14 \quad \dots \text{ ako je } M \leq 2 \\ y = Y \text{ i } m = M \quad \dots \text{ ako je } M > 2. \end{aligned} \quad (11)$$

Prijelaz iz Julijanskog u građanski datum provodi se postupno. Prvo se računaju pomoćne veličine a , b , c , d i e :

$$\begin{aligned} a &= INT(JD + 0,5) \\ b &= a + 1537 \\ c &= INT[(b - 122,1) / 365,25] \\ d &= INT(365,25c) \\ e &= INT[(b - d) / 30,6001]. \end{aligned} \quad (12)$$

Potom se definitivni izraz za građanski datum dobije iz relacija (Hofmann-Wellenhof i dr. 1994, Bačić i Bašić 1999):

$$D = b - d - INT(30,6001e) + FRAC(JD + 0,5)$$

$$M = e - 1 - 14INT\left(\frac{e}{14}\right) \quad (13)$$

$$Y = c - 4715 - INT\left[\frac{(7 + M)}{10}\right],$$

gdje FRAC označava fraktalni dio broja.

Primjenom izraza (10) do (13) izračunata je vrijednost Julijanskog dana na temelju ulazne varijable, građanskog datuma: 3. srpnja 1971. godine (tablica 2).

Tablica 2. *Prijelaz iz građanskog u Julijanski datum.*

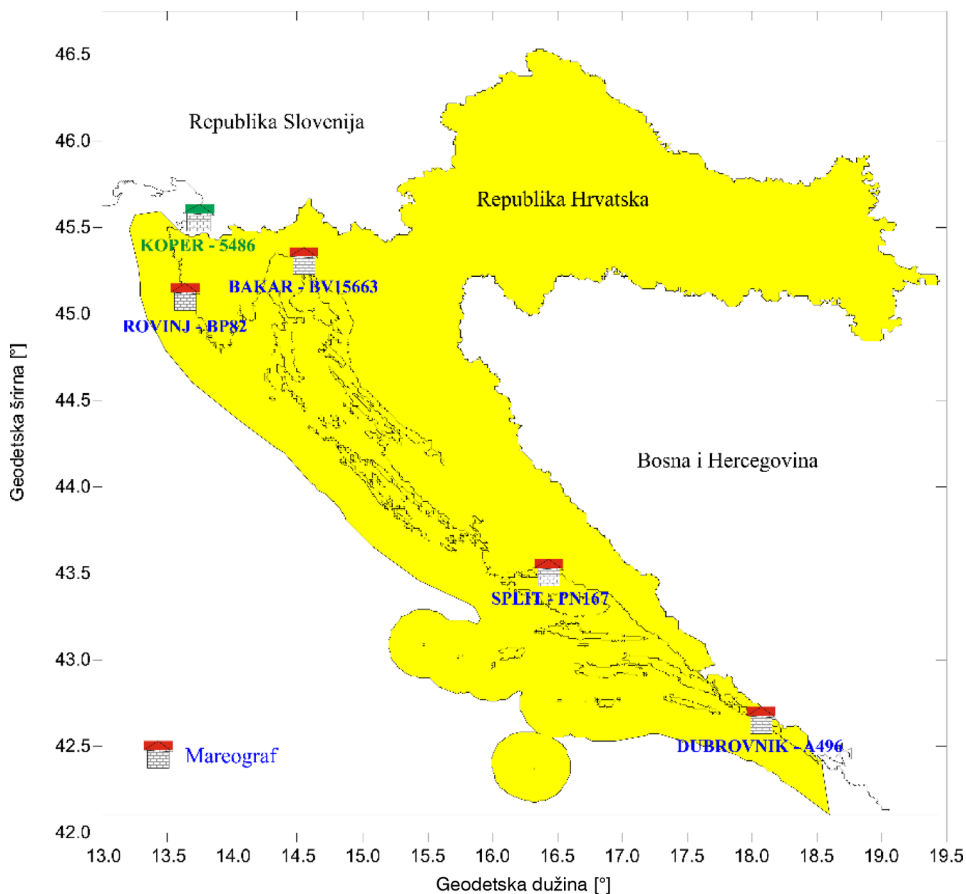
Prijelaz iz građanskog u Julijanski datum
Građanski: Sr. razina mora za period: 16.03.1962 – 03.07.1971 – 20.10.1980
Julijanski: Sr. razina mora za period: 2437740- 2441136 -2444533 Julijanskih dana

5. Hrvatski visinski referentni sustav

Republika Hrvatska naslijedila je dva referentna visinska sustava. Prvi se temelji na Austrijskom preciznom nivelmanu (APN) i I. nivelmanu visoke točnosti (INVT). Precizni nivelman Austro-Ugarske Monarhije (APN) izveden je u razdoblju od 1874. do 1908. godine i obuhvaća cijeli južni i jugoistočni dio teritorija Austro-Ugarske Monarhije, odnosno teritorije Hrvatske, Slovenije i Bosne i Hercegovine (Rožić 2001). APN je predložen kao osnova za realizaciju visinskog sustava. Nositelj i izvođač radova bio je Vojno-geografski institut u Beču (VGI). Za vrijeme izvođenja nivelmanskih mjerenja na APN-u nije bilo gravimetrijskih mjerenja, tj. mjerenja ubrzanja sile teže duž nivelmanskih vlakova, pa je prihvaćeni visinski sustav bio normalni ortometrijski, odnosno sferoidni. Za referentnu plohu visinskog sustava uzeta je ploha geoida (srednja razina mora) određena na temelju jednogodišnjih mjerenja 1875. na mareografu u Trstu na molu Sartorio (Feil i Rožić 2000).

Nakon Drugoga svjetskog rata, Savezna geodetska uprava provela je reviziju stanja očuvanosti repera. Vojno-geografski institut u Beogradu započinje 1946. izmjeru mreže I. nivelmana visoke točnosti. Konfiguracija mreže I. nivelmana visoke točnosti (INVT) uglavnom koincidira s nivelmanskom mrežom APN-a s dodatnom stabilizacijom repera duž nivelmanskih vlakova. Izmjera je trajala do 1953. godine, s nekim dodatnim ponavljanjima mjerenja do 1963. Mjerenja ubrzanja sile teže duž nivelmanskih strana nisu obavljena pa je kao i u APN-u prihvaćen normalni ortometrijski (sferoidni) sustav visina s istim ishodištem, mareografom u Trstu na molu Sartorio. Karakteristično je za I. nivelman visoke točnosti da nije zadovoljio kriterije nivelmana visoke točnosti (Rožić 2001).

U razdoblju od 1970. do 1973. godine Vojno-geografski institut u Beogradu započinje mjerenja na mreži II. nivelmana visoke točnosti (IINVT). Ta mreža protezala se zapadnim dijelom bivše Jugoslavije – Hrvatskom, Slovenijom i Bosnom i Hercegovinom. Promjene na mreži II. nivelmana visoke točnosti odnosile su se na mrežu I. nivelmana visoke točnosti, proširenjem nivelmanskih vlakova duž modernih prometnica i željezničkih pruga (Rožić 2001). U dio nivelmanske mreže koja se poklapala s mrežom APN-a i INVT-a uključeni su postojeći reperi istih mreža. IINVT vezan je na pet mareografa na istočnoj obali Jadranskog mora (slika 8): Koper (Slovenija), Rovinj, Bakar, Split i Dubrovnik, na temelju kojih je određena srednja razina mora (geoid) s periodom opažanja srednje razine mora od 18,6 godina, za vremensku epohu 1. srpnja 1971. (epoha 1971,5). Mjerenja ubrzanja sile teže obavljena su na samo jednom dijelu nivelmanske mreže te je iz tog razloga ponovno prihvaćen normalni ortometrijski sustav visina.



Slika 8. Mareografi na istočnoj obali Jadranskog mora.

Odlukom Vlade Republike Hrvatske o utvrđivanju novih službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija od 4. kolovoza 2004. godine usvaja se novi referentni visinski sustav Republike Hrvatske, čiju realizaciju (referentni okvir) čine reperi IINVT-a s pripadnom srednjom razinom mora određenom na temelju pet već spomenutih mareografa te takav visinski sustav dobiva naziv Hrvatski visinski referentni sustav u epohi 1971,5 ili skraćeno HVRS71 (NN 2004).

6. Prikaz mareografskih podataka

6.1. Srednje dnevne, mjesečne i godišnje registracije

Promjene razine mora bilježe se u kontinuitetu na mareogramu u zapisu 1:5 ili 1:10, ovisno o kojem je ugrađenom uređaju riječ. Srednje dnevne vrijednosti dobivene su na temelju 24-satnog mjerenja na mareografima. Dnevna mjerenja koriste se za analize poludnevnih, odnosno dnevnih varijacija plimnih valova. Srednje mjesečne, odnosno godišnje vrijednosti razina mora dobiju se također iz srednjih dnevnih, odnosno mjesečnih vrijednosti i kao takve ulaze u ukupnu analizu za period od 18,61 godine (tablica 3).

Tablica 3. *Srednje razine mora za period od 18,61 godine na mareografu u Bakru.*

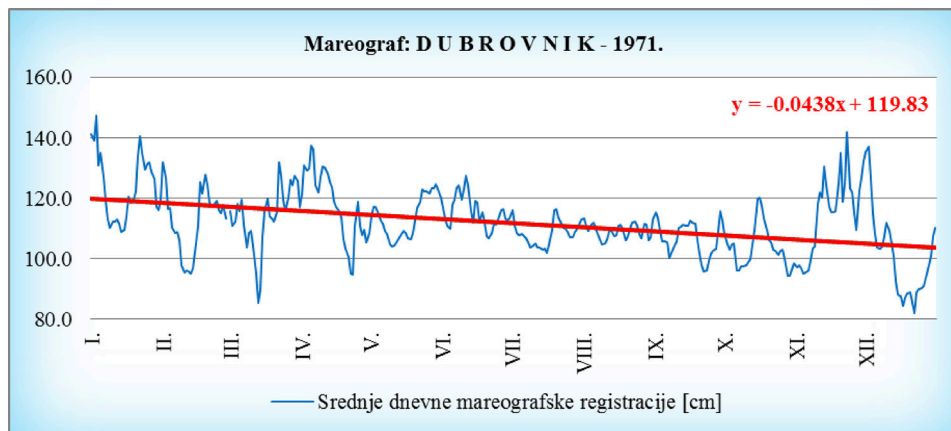
Srednja razina mora za period od 18,61 godine na mareografu Bakar
Građanski: Sr. razina mora za period: 16.03.1962 – 03.07.1971 – 20.10.1980
Julijanski: Sr. razina mora za period: 2437740- 2441136 -2444533 Julijanskih dana
Suma srednjih dnevnih vrijednosti: 501110.1
Broj mjerenja: 6794
Broj dana bez srednjih dnevnih vrijednosti: 0
Maksimalna vrijednost sr. dnevnih opažanja: 153.8 za 04.11.1966
Minimalna vrijednost sr. dnevnih opažanja: 33.9 za 23.01.1964
Srednja razina mora za datum 03.07.1971 je 73.758 cm

Tablica 3 uz građanski i Julijanski datum sadrži: sumu srednjih dnevnih vrijednosti, ukupan broj mjerenja, broj dana bez srednjih dnevnih vrijednosti, maksimalnu i minimalnu vrijednost srednjih dnevnih opažanja u periodu od 18,61 godine s točno navedenim datumom kada je registrirana, te konačno srednju razinu mora za srednju epohu. U tablici 4 nalazi se prikaz dnevnih, mjesečnih i godišnjih srednjih vrijednosti.

Tablica 4. Srednje dnevne vrijednosti razine mora na mareografu Dubrovnik u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 1971. godine.

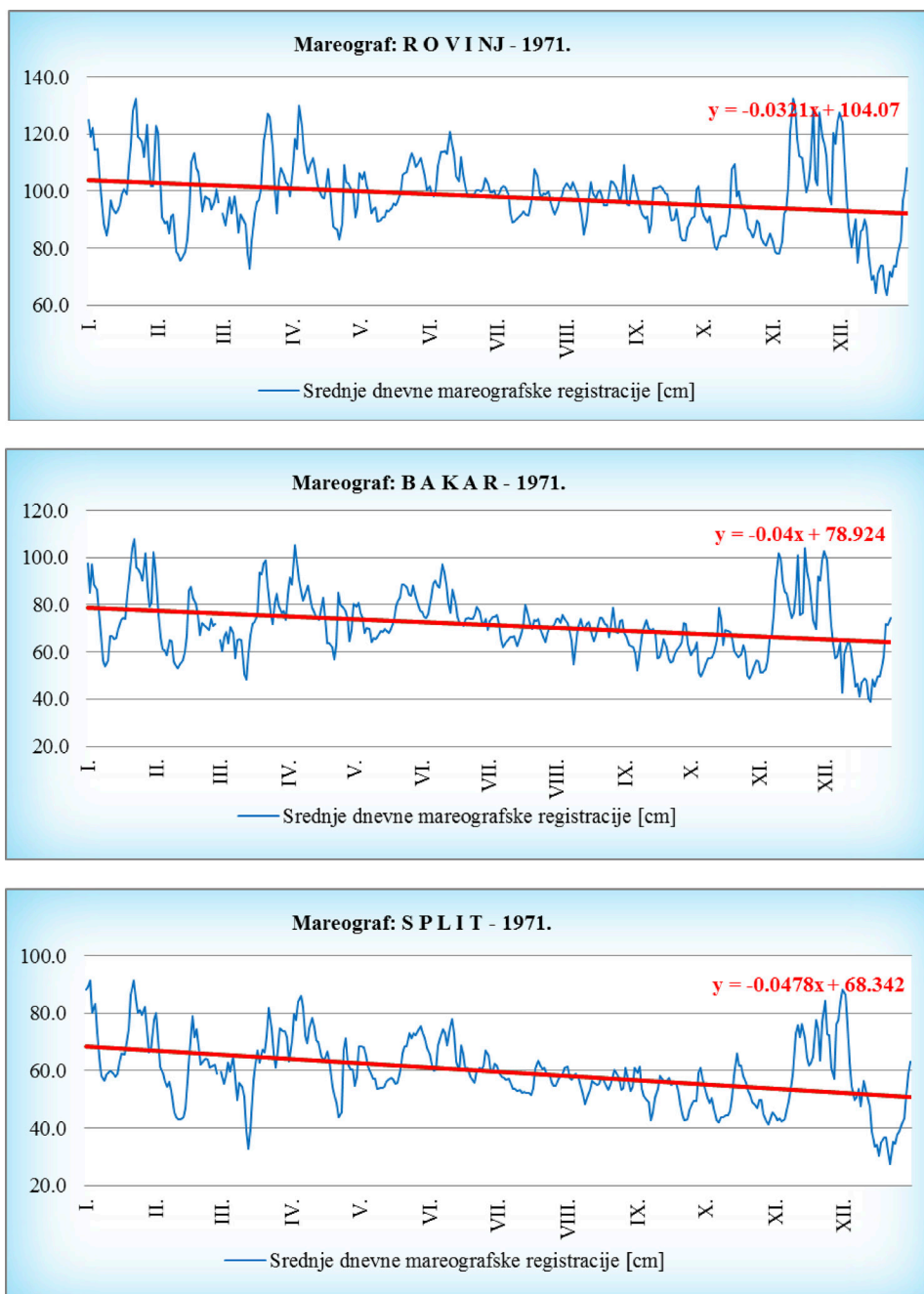
Godina 1971. Mareograf: DUBROVNIK												
Srednje dnevne mareografske registracije												
Iz publikacije "Srednje vrijednosti razine mora na Jadranskim mareografima"												
dan/mj1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
1.	141.3	131.9	115.7	121.1	114.2	116.8	116.0	113.2	115.4	108.1	97.2	135.3
2.	139.2	126.9	111.1	131.0	117.3	113.5	110.8	110.5	113.2	104.9	97.8	137.2
3.	147.5	116.6	112.3	129.3	117.3	110.8	108.4	109.2	109.2	103.0	97.0	126.6
4.	131.0	116.7	118.3	129.9	114.8	110.0	108.0	111.1	105.9	104.8	95.2	115.0
5.	135.0	110.3	115.8	137.4	112.6	117.8	108.2	112.1	105.7	105.0	95.4	108.2
6.	127.2	108.5	119.7	136.2	111.7	119.7	107.6	110.0	105.6	96.3	96.3	103.8
7.	119.3	109.0	111.2	124.5	109.2	123.5	106.7	108.2	100.3	96.1	99.6	103.4
8.	113.1	106.2	103.6	122.1	108.3	124.2	105.6	106.6	102.1	97.6	103.4	104.0
9.	110.1	97.8	108.7	127.1	104.8	119.6	103.7	104.9	104.4	97.4	104.2	107.6
10.	112.4	95.4	109.3	130.7	104.0	123.0	104.4	105.0	105.9	97.8	118.3	112.0
11.	112.2	96.0	104.0	130.2	104.3	127.3	105.0	106.4	110.3	98.9	121.8	109.1
12.	113.0	95.8	95.0	128.0	105.6	124.4	103.8	109.1	110.6	99.8	120.1	105.0
13.	111.5	95.2	85.4	125.4	107.1	115.8	103.6	109.3	111.3	104.9	130.5	101.0
14.	109.0	97.0	90.0	123.7	108.2	111.9	103.1	107.4	110.8	109.4	124.3	92.6
15.	109.4	105.0	107.2	119.0	109.3	119.3	103.2	108.0	110.9	120.0	117.1	88.2
16.	114.0	110.8	115.6	117.0	108.7	118.4	101.9	111.0	112.5	120.3	115.3	87.7
17.	120.6	125.4	119.9	115.8	106.8	112.4	104.6	111.3	112.1	117.5	115.4	84.5
18.	118.4	121.6	114.0	113.8	106.3	115.4	109.4	108.7	111.8	113.4	115.6	87.3
19.	119.4	127.8	113.4	106.6	108.4	112.0	116.2	106.2	106.2	109.5	125.0	88.4
20.	122.4	124.4	112.2	103.3	112.7	107.4	116.5	107.5	101.8	106.0	135.0	88.9
21.	134.0	118.5	115.5	100.5	116.8	106.8	113.7	109.8	97.9	105.6	118.7	85.6
22.	140.4	117.6	131.9	95.2	118.7	108.7	112.3	112.1	95.9	102.9	124.8	82.1
23.	135.0	118.0	127.4	94.8	123.0	111.6	110.2	112.3	96.3	102.8	141.8	88.8
24.	129.7	119.2	119.4	110.8	122.3	111.4	109.8	111.0	99.1	101.4	123.5	89.8
25.	131.1	116.0	115.6	119.0	122.4	112.9	109.0	108.1	101.6	102.6	122.0	90.4
26.	131.8	115.0	120.3	110.8	121.5	116.1	107.1	106.9	102.6	103.1	115.0	90.9
27.	128.7	117.7	126.0	108.0	123.2	116.4	107.2	111.8	103.2	100.0	109.4	93.9
28.	126.4	113.4	124.5	109.4	123.4	113.3	108.8	111.3	109.1	94.5	122.5	96.5
29.	117.0	.0	127.3	105.4	124.6	112.8	109.8	106.2	115.8	94.4	126.8	101.1
30.	116.2	.0	125.7	108.6	123.1	113.5	111.2	107.1	112.8	96.6	132.2	107.5
31.	119.7	.0	117.3	.0	120.2	.0	113.0	113.0	.0	98.4	.0	110.3
\bar{x} (cm)												
123.7	112.6	114.0	117.8	113.9	115.6	108.3	109.2	106.7	103.6	115.4	100.7	
σ^2 (cm)												
114.2	112.8	107.4	135.1	45.9	27.1	15.8	5.6	31.1	47.11	164.5	197.3	
σ (cm)												
10.7	10.6	10.4	11.6	6.8	5.2	4.0	2.4	5.6	6.9	12.8	14.0	
\bar{M} (cm)												
111.8												

Srednja razina mora iz mjesečnih i godišnjih mjerenja u prethodnoj tablici izračunata je kao obična aritmetička sredina prema izrazu (6), a ocjena točnosti dana je prosječnom varijancom σ^2 i standardnim odstupanjem nepoznanica izračunatih preko izraza (7). Prikaz registriranih godišnjih promjena morskih razina izračunatih na temelju srednjih dnevnih vrijednosti vidljiv je na slici 9.



Slika 9. Grafički prikaz srednjih dnevnih registracija na mareografu Dubrovnik u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 1971. godine s trendom pada razine mora.

Uzevši u obzir pogrešku određivanja srednje razine mora na mareografu u Trstu u iznosu od 12,6 cm (Feil i dr. 1993), na slici 9 se jasno vidi da se godišnje promjene razine mora ne mogu koristiti za interpretaciju porasta ili pada srednje razine mora i oceana. Također, srednja razina za pojedinu mareografsku stanicu izračunata na temelju jednogodišnjih mjerenja ne može i ne smije biti prihvaćena kao nulta ploha od koje se žele odbrojavati visine u bilo kojem sustavu. Iz tog je razloga Republika Hrvatska prihvatila referentni visinski sustav temeljen na reperima II. nivelmana visoke točnosti sa srednjom razinom mora određenom na temelju mjerenja pet mareografa za period od 18,6 godina. Bitno je uočiti negativan trend pada na mareografu u Dubrovniku za 1971. godinu, što pokazuje da morske razine uz porast mogu imati i negativne vrijednosti rasta. Na slici 10 prikazane su srednje dnevne registracije na mareografima Rovinj, Bakar i Split u 1971. godini.



Slika 10. Grafički prikaz srednjih dnevnih registracija razine mora na mareografu Rovinj (gore), Bakar (sredina) i Split (dolje) u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 1971.

6.2. Računanje srednje razine mora s minimalnim i maksimalnim morskim mijenama

Srednja razina mora računata je iz dnevnih srednjih mareografskih mjerenja od 1953. do 2006. godine, objavljenih u godišnjim publikacijama.

Srednje razine mora za glavni period od 18,61 godine s preklapom od 9,3 godine prije i poslije, izračunate su za epohe 1963,5 do 1996,5 što je ukupno 34 epohe s ukupno 230 996 dnevnih srednjih vrijednosti. Rezultati računanja srednjih razina mora na četiri mareografa na teritoriju Republike Hrvatske nalaze se u tablici 5. Statistički podaci pokazuju visokopouzdanost vrijednosti srednjih razina mora s ocjenom točnosti iskazanom standardnom devijacijom, i to za mareograf u Dubrovniku od 0,60 cm, mareograf u Splitu 0,55 cm, mareograf u Bakru od 0,45 cm i mareograf u Rovinju od 0,48 cm.

Tablica 5. Srednje razine mora na mareografima Dubrovnik, Split, Bakar i Rovinj.

Redni broj	Interval vremena (18,61)		Datum	Dubrovnik	Split	Bakar	Rovinj
	Od	Do		Srednja razina	Srednja razina	Srednja razina	Srednja razina
			03.07.	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
1	16 3 1954	20 10 1972	1963	109.19	59.71	73.62	
2	17 3 1955	21 10 1973	1964	110.84	59.39	73.28	98.08
3	16 3 1956	21 10 1974	1965	110.61	59.30	73.37	97.93
4	16 3 1957	21 10 1975	1966	110.60	59.28	73.54	97.94
5	16 3 1958	20 10 1976	1967	110.48	59.09	73.48	97.87
6	17 3 1959	21 10 1977	1968	110.57	59.13	73.64	98.10
7	16 3 1960	21 10 1978	1969	110.71	59.14	73.74	98.16
8	16 3 1961	21 10 1979	1970	110.73	59.07	73.69	98.14
9	16 3 1962	20 10 1980	1971	110.76	59.08	73.76	98.04
10	17 3 1963	21 10 1981	1972	110.59	58.83	73.83	97.93
11	16 3 1964	21 10 1982	1973	110.55	58.76	73.84	97.83
12	16 3 1965	21 10 1983	1974	110.58	58.76	73.94	97.86
13	16 3 1966	20 10 1984	1975	110.64	58.74	74.01	97.84
14	17 3 1967	21 10 1985	1976	110.62	58.67	74.07	97.81
15	16 3 1968	21 10 1986	1977	110.78	58.80	74.22	98.01
16	16 3 1969	21 10 1987	1978	110.74	58.71	74.19	97.97
17	16 3 1970	20 10 1988	1979	110.52	58.46	74.06	97.79

Redni broj	Interval vremena (18,61)		Datum	Dubrovnik	Split	Bakar	Rovinj
	Od	Do		Srednja razina	Srednja razina	Srednja razina	Srednja razina
			03.07.	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
18	17 3 1971	21 10 1989	1980	110.25	58.17	73.77	97.47
19	16 3 1972	21 10 1990	1981	109.89	57.78	73.44	97.08
20	16 3 1973	21 10 1991	1982	110.04	57.90	73.53	97.18
21	16 3 1974	20 10 1992	1983	110.05	57.87	73.44	97.13
22	17 3 1975	21 10 1993	1984	109.99	57.75	73.22	97.11
23	16 3 1976	21 10 1994	1985	110.23	58.00	73.39	97.39
24	16 3 1977	21 10 1995	1986	110.24	57.93	73.26	97.40
25	16 3 1978	20 10 1996	1987	110.50	58.12	73.38	97.52
26	17 3 1979	21 10 1997	1988	110.55	58.14	73.33	97.57
27	16 3 1980	21 10 1998	1989	110.81	58.31	73.60	97.79
28	16 3 1981	21 10 1999	1990	111.02	58.43	73.74	97.95
29	16 3 1982	20 10 2000	1991	111.06	58.48	73.90	98.06
30	17 3 1983	21 10 2001	1992	111.44	58.88	74.43	98.64
31	16 3 1984	21 10 2002	1993	111.57	59.01	74.60	98.74
32	16 3 1985	21 10 2003	1994	111.72	59.26	74.66	98.76
33	16 3 1986	20 10 2004	1995	111.98	59.51	74.73	98.77
34	17 3 1987	21 10 2005	1996	112.25	59.75	74.92	98.87
Minimalna vrijednost				109.19	57.75	73.22	97.08
Maksimalna vrijednost				112.25	59.75	74.92	98.87
Standardna devijacija				±0.60	±0.55	±0.45	±0.48
Srednja vrijednost (SV)				110.68	58.71	73.81	97.90

Posebno je važno istaknuti razliku između maksimalne i minimalne srednje vrijednosti koja na mareografu u Dubrovniku iznosi 3,06 cm, na mareografu u Splitu je 2,00 cm, na mareografu u Bakru 1,70 cm i na mareografu u Rovinju ta razlika iznosi 1,79 cm. Iz prethodnoga se može zaključiti da su iznosi amplituda plimnih valova nešto izraženiji na mareografima u Dubrovniku i Splitu. Na temelju analize se može istaknuti da se srednje vrijednosti razine mora mijenjaju po pravilima putanje izlomljene sinusoide, što je u skladu s nutacijskim periodom od 18,61 godine.

Kolebanja morske razine promatrane kroz morske mijene koje predstavljaju ukupan učinak plimne dinamike nazivamo plimom (porast razine) i osekom (spuštanje razine). Analizom podataka izračunati su maksimalni i minimalni zapisi morskih mijena na mareografima (tablica 6).

Tablica 6. *Morske mijene na mareografima Dubrovnik, Split, Bakar i Rovinj.*

Redni broj	Datum	Dubrovnik		Split		Bakar		Rovinj	
		Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.
	03.07.	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
1	1963	159.6	39.7	109.8	11.1	153.8	33.9	–	–
2	1964	159.6	62.0	109.8	11.1	153.8	33.9	186.4	44.9
3	1965	159.6	62.0	109.8	11.1	153.8	33.9	186.4	44.9
4	1966	159.6	62.0	109.8	11.1	153.8	33.9	186.4	44.9
5	1967	159.6	62.0	109.8	11.1	153.8	33.9	186.4	44.9
6	1968	159.6	77.9	104.7	24.4	153.8	33.9	186.4	61.0
7	1969	159.6	77.9	104.7	24.4	153.8	33.9	186.4	61.0
8	1970	159.6	77.9	104.7	24.4	153.8	33.9	186.4	61.0
9	1971	159.6	77.9	104.7	24.4	153.8	33.9	186.4	61.0
10	1972	159.6	77.9	104.7	24.4	153.8	33.9	186.4	61.0
11	1973	159.6	77.9	104.7	24.6	153.8	37.0	186.4	61.0
12	1974	159.6	77.9	104.7	24.6	153.8	37.0	186.4	61.0
13	1975	159.6	77.9	104.7	24.6	153.8	37.0	186.4	61.0
14	1976	159.6	77.9	104.7	24.6	132.7	37.0	157.7	61.0
15	1977	159.6	77.9	104.7	24.6	132.7	37.0	157.7	61.0
16	1978	159.6	81.1	103.5	26.0	132.7	38.7	157.7	61.8
17	1979	150.3	81.1	102.3	26.0	132.9	38.7	157.7	61.8
18	1980	150.3	81.1	102.3	26.0	132.9	35.7	157.7	58.1
19	1981	150.3	76.6	102.3	24.3	132.9	34.5	157.7	58.1
20	1982	150.3	76.6	102.3	24.3	132.9	34.5	157.7	58.1
21	1983	150.3	53.7	102.3	17.4	132.9	30.7	157.7	54.2
22	1984	150.3	53.7	102.3	17.4	132.9	30.7	157.7	54.2
23	1985	150.3	53.7	102.3	17.4	132.9	30.7	157.7	54.2
24	1986	150.3	53.7	102.3	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2

Redni broj	Datum	Dubrovnik		Split		Bakar		Rovinj	
		Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.
	03.07.	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
25	1987	150.9	53.7	103.3	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2
26	1988	150.9	53.7	103.3	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2
27	1989	154.2	53.7	103.7	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2
28	1990	154.2	53.7	103.7	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2
29	1991	154.2	53.7	103.7	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2
30	1992	154.5	53.7	107.6	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2
31	1993	154.5	53.7	107.6	17.4	132.9	30.7	154.5	54.2
32	1994	156.0	53.7	107.6	17.4	136.8	30.7	161.8	54.2
33	1995	156.0	53.7	107.6	17.4	136.8	30.7	161.8	54.2
34	1996	156.0	53.7	107.6	17.4	136.8	30.7	161.8	54.2
Min. vrijednost		150.30	39.70	102.30	11.10	132.7	30.7	154.50	44.90
Maks. vrijednost		159.60	81.10	109.80	26.00	153.8	38.7	186.40	61.80
St. devijacija		±4.02	±12.52	±2.49	±4.87	±10.1	±2.70	±14.46	±5.21
Srednja vrijednost (SV)		153.15	62.00	104.95	17.40	134.8	33.9	158.15	54.20

Maksimalna vrijednost plime zabilježena na mareografu u Dubrovniku za dan 6. prosinca 1969. godine iznosi 159,60 cm, dok je minimalna vrijednost oseke zabilježena za dan 15. travnja 1954. godine i iznosi 39,70 cm. Maksimalna veličina amplitude na mareografu u Dubrovniku iznosi 119,90 cm.

Maksimalna vrijednost plime zabilježena na mareografu u Splitu za dan 24. prosinca 1958. godine iznosi 109,80 cm, dok je minimalna vrijednost oseke zabilježena za dan 17. veljače 1959. godine i iznosi 11,10 cm. Maksimalna veličina amplitude na mareografu u Splitu iznosi 98,70 cm.

Maksimalna vrijednost plime zabilježena na mareografu u Bakru za dan 4. studenoga 1966. godine iznosi 153,80 cm, dok je minimalna vrijednost oseke zabilježena za dan 5. ožujka 1992. godine i iznosi 30,70 cm. Maksimalna veličina amplitude na mareografu u Bakru iznosi 123,10 cm.

Maksimalna vrijednost plime zabilježena na mareografu u Rovinju za dan 4. studenoga 1966. godine iznosi 186,40 cm, dok je minimalna vrijednost oseke zabilježena za dan 17. veljače 1959. godine i iznosi 44,90 cm. Maksimalna veličina amplitude na mareografu u Rovinju iznosi 141,50 cm.

7. Zaključak

Srednje dnevne, mjesečne, godišnje i periodične promjene (nutacijski period od 18,61 godine) razine Jadranskog mora u znatnoj su mjeri uzrokovane privlačnim djelovanjem Mjeseca i Sunca kao i kretanjima struja duž Jadranskog mora (Rezo i dr. 2010). Amplitude godišnjih srednjih vrijednosti iznose i do ± 3 decimetra, dok su periodične razlike izračunate u periodu od 18,61 godine u iznosima do ± 3 centimetra s jasnim porastom u posljednjih 20-ak godina. Također se može zaključiti da su promjene najizraženije na mareografu u Dubrovniku, dok je najveća amplituda vala zabilježena na mareografu u Rovinju. Daljnje praćenje dnevnih mareografskih registracija i njihove analize kroz računanja mjesečnih, godišnjih i periodičnih promjena u znatnoj će mjeri olakšati različita predviđanja promjena morskih razina u području oceanografije.

Literatura

- Bačić, Ž. (2010): Satelitsko pozicioniranje, predavanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bačić, Ž., Bašić, T. (1999): Satelitska geodezija, skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bašić, T. (1992): Primjena satelitske altimetrije u istraživanju Zemljinog polja sile teže na Jadranu, Zbornik Geodetskog fakulteta u povodu 30. obljetnice samostalnog djelovanja 1962.–1992., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bašić, T. (2002): Određivanje Zemljinog polja sile teže na moru, interna skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bašić, T., Rapp, R. H. (1992): Oceanwide Prediction of Gravity Anomalies and Sea Surface Heights Using Geos-3, Seasat, and Geosat Altimeter Data and ETOPO5U Bathymetric Data, OSU-DGSS Rep. 416, Columbus/Ohio, USA.
- Feil, L. (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja I. dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Feil, L., Rožić, N. (2000): Prijedlog službenog visinskog datuma Republike Hrvatske, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Feil, L., Klak, S., Rožić, N. (1993): Određivanje visinskih pomaka na području Republike Hrvatske, Zbornik radova 1990.–2000. – In memoriam profesor emeritus dr. sc. Stjepan Klak, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- HHI (2006): Izvješća o mareografskim mjerenjima na istočnoj obali Jadrana, Hrvatski hidrografski institut, Split.
- Hofmann-Wellenhof, B., Kienast, G., Lichteneger, H. (1994): GPS in der Praxis, Springer-Verlag.
- NN (2004): Odluka o utvrđivanju novih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Narodne novine, 110.
- Pugh, D. (2004): Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Rezo, M. (2010): Značenje i primjena fizikalnih parametara u modernom pristupu geodetskim radovima državne izmjere, doktorski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

- Rezo, M., Špoljarić, D., Šljivarić, M. (2010): Promjene razine mora i varijacije Mjesečevih deklinacija u nutacijskom razdoblju na četiri mareografa u Hrvatskoj, Geodetski list, 4, 263–278.
- Rožić, N. (2001): Fundamental levelling networks and height datums at the territory of the Republic of Croatia, Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, Vol. 36, No. 2, 231–243.
- Seeber, G. (1993): Satellite Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin–New York.
- Wolf, P. R., Ghilani, C. D. (1997): Adjustment computations – Statistics and Last Squares in Surveying and GIS, John Wiley and Sons, New York.
- Wolf, P. R., Ghilani, C. D. (2006): Adjustment computations – Statistics and Last Squares in Surveying and GIS, John Wiley and Sons, New York.

Mrežne adrese

- URL 1: Jet Propulsion Laboratory, <http://www.jpl.nasa.gov/>, (9. 11. 2014.).
- URL 2: AVISO+, <http://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>, (9. 11. 2014.).
- URL 3: AVISO+, <http://www.aviso.oceanobs.com/en/altimetry/index.html>, (10. 11. 2014.).
- URL 4: AVISO+, <http://www.aviso.oceanobs.com/en/altimetry/principle/pulses-and-waveforms/index.html>, (10. 11. 2014.).

The Analysis of Adriatic Sea Tide Gauge Data from Year 1953 to 2006

ABSTRACT. In this work, the analysis of mean diurnal, annual and periodic sea level data along east coast of Adriatic Sea with minimum and maximum values of registered sea tides is given. Mechanical and pressure sea level measuring instruments are described with special accent to tide gauge stations location selection. As a method of Earth's form changing data gathering, when speaking of water masses, satellite altimetry is described. Methods of mean diurnal, annual and periodic sea level calculations through direct adjustment of measured data with given accuracy are described as well. Through the analysis, mean diurnal and annual values from year 1953 to 2006 and for the period of 18.61 years of sea level are shown.

Keywords: tide gauge station, measuring device, tide gauge datum, satellite altimetry, mean diurnal values, mean annual values, periodic values, sea tides.

Primljeno: 2014-11-15

Prihvaćeno: 2014-12-22