

Novi globinski datum za slovensko morje

Božo Koler¹, Miran Kuhar¹, Polona Pavlovčič-Prešeren¹, Tilen Urbančič¹, Oskar Sterle¹,
Bojan Stopar¹, Mihaela Triglav Čekada², Klemen Ritlop², Igor Karničnik², Vasja Bric²,
Dalibor Radovan²

Povzetek

V članku so opisane standardne gladine morja, ki so v uporabi v pomorski geodeziji, kartografiji in hidrografiji. Iz dolgotrajnih mareografskih opazovanj na mareografski postaji v Kopru (MP Koper) je bil določen novi globinski datum za slovensko morje, ki omogoča natančnejše določanje globin morja. To je gladina srednje nižje nizke vode živih morskih men. V našem primeru se nahaja 70 cm pod novo izračunano srednjo gladino morja in predstavlja povezavo med geodetskim višinskim referenčnim sistemom na kopnem in hidrografskim globinskim referenčnim sistemom na morju. Referenčna ploskev za določanje nadmorskih višin na kopnem je namreč srednja gladina morja oziroma geoid. Obe referenčni ravni sta fizično realizirani kot oznaki na mareografski postaji v Kopru. Izračunani sta iz istega niza mareografskih opazovanj in veljavni za datum 10. 10. 2010.

Ključne besede: plimovanje morja, globinski datum, referenčne ravni plimovanja, Slovenija

Key words: ocean tide, chart datum, reference tidal levels, Slovenia

Uvod

Hidrografska dejavnost v Sloveniji obsega hidrografske meritve na morju, izdelavo pomorskih kart, pomorskih publikacij in ostalih informacij o stanju plovni poti ter navigacijskih oznak. Po Karničniku in dr. (2006): "Ladja, ki pripluje v pristanišče, mora točno vedeti, s kakšno globino vode pod kobilico razpolaga. Te informacije mora poveljnik ladje prejeti točne, pravočasne, predvsem pa ažurne...".

Da bi bili podatki o globinah na pomorskih kartah ažurni, se morajo le-ti redno pridobivati in vzdrževati, saj se topografija morskega dna in s tem globine spreminjajo s časom. Pri tem je pomembno nedvoumno poznavanje referenčne ravni (nivoja, gladine), na katero se nanašajo izmerjene globine. Tej ravni, nivoju oz. gladini pravimo globinski datum (tudi: hidrografski datum, hidrografska ničla, angl. Chart Datum). To je nivo morja, ki je v izbranem akvatoriju privzet za nivo, na katerega se nanašajo globine morja in je osnova za izdelavo uradnih pomorskih kart. Globinski datum se izbere tako, da so globine redko oziroma nikoli manjše od prikazanih na karti in da prikazane globine obenem niso nerazumno nizke.

Ker v Sloveniji še vedno uporabljamo stari globinski datum iz časa bivše Jugoslavije, zahteve po varni plovi in s tem po natančnih hidrografskih podatkih pa so vedno večje, je Ministrstvo za infrastrukturo naročilo projekt izračuna novega modela geoida in določitve globinskega datuma za slovensko morje. Projekt sta izvedla Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

¹ UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

² Geodetski inštitut Slovenije, Jamova 2, Ljubljana

Standardne gladine morja za potrebe hidrografije

Obstaja več različnih referenčnih gladin za določanje globine morja, ki so odvisne od plimovanja morja. Plimovanje se obnaša različno v različnih morjih in tudi pristaniščih. Tako v Sloveniji, kot tudi v drugih članicah Mednarodne hidrografske organizacije (angl. International Hydrographic Organization - IHO) skušamo slediti priporočilom IHO.

Pri obravnavi različnih ravni plimovanja morja so v Sloveniji pomembne predvsem naslednje:

- srednja visoka voda (SVV, angl. Mean High Water - MHW), ki določa obalno črto,
- srednji nivo morja (SNM, angl. Mean Sea Level - MSL), ki se uporablja kot višinski datum oz. kot ničelni nivo višin na topografskih kartah; v hidrografiji je SNM referenčni nivo, od katerega določimo globinski datum,
- srednja nižja nizka voda živih morskih men (SNNVŽMM, angl. Mean Lower Low Water Springs - MLLWS), ki določa globinski datum oz. hidrografsko ničlo predstavlja izhodiščni nivo za določanje globin morja.

Obalna črta razmejuje kopno in morje in se vrti v topografske karte. Zaradi plimovanja morja in drugih vzrokov ta meja ni stalna, zato jo je potrebno ustrezno predpisati. Večina držav prevzame za obalno črto presek ravni srednje visoke vode in kopna (Shalowitz, 1962, Jovanović, 1978). Pri tem ne smemo zamenjati obalne črte s terminom morsk obala, saj je to geografski pojem, definiran kot kopenski pas, ki je občasno poplavljen (Domijan in dr., 2005). Skladno s smernicami IHO obalno črto določa raven srednjih visokih vod, tj. povprečje vseh visokih vod (plim) v daljšem časovnem obdobju.

Srednji nivo morja (SNM) se v geodeziji uporablja kot višinski datum. Predstavlja izhodišče za določitev fizikalno definiranih višin, ki se uporabljajo v posamezni državi (ortometrične ali normalne višine). V pogovornem jeziku pravimo tem višinam nadmorske višine. SNM se določa na osnovi mareografskih opazovanj v daljšem časovnem obdobju, največkrat v trajanju 18,6 let. To je obdobje precesijske periode Luninih vozlov. Gre za fizikalni (astronomski) pojav precesijskega gibanja vrtilne osi vrtečega se telesa okrog središčnega telesa, ki privlači vrteče se telo (npr. Zemlja Luno, Zemlja umetni Zemljini satelit, Sonce Zemljo). Je posledica nepravilne oblike vrtečega se telesa (predvsem sploščenosti v smeri vrtilne osi), ki ima za posledico sferno nesimetričnost njenega gravitacijskega polja. Lunin vpliv na plimovanje morja je dvakrat večji od Sončevega, zato je zaradi njenega dominantnega vpliva potrebno srednje vrednosti vseh ravni plimovanja izračunati po preteku tega precesijskega obdobja. Ameriški urad NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) imenuje to periodo "National Tidal Epoch Datum", saj so vse srednje vrednosti ravni plimovanja izračunane kot povprečje opazovanj gladine morja v tem obdobju (NOAA, 2000)

Globinski datum je referenčni nivo za merjenje, računanje in prikaz globin morja na pomorskih kartah. Države, ki ležijo ob oceanih, globokih morjih in reliefno razgibanem morskem dnu, običajno za globinski datum privzamejo najnižji nivo zaradi astronomskih vplivov (NAV, angl. Lowest Astronomical Tide – LAT), pod katero nivo morja pri oseki ne upade. V plitvem morju in morju z dokaj ravnim dnom, kot je slovensko morje, je smiselno, da je globinski datum določen kot srednja nižja nizka voda živih morskih men (SNNVŽMM).

Srednja nižja nizka voda živih morskih men predstavlja povprečje (v obdobju 18,6 let) izmerjenih nižjih, nizkih vod (osek) v obdobju največje amplitude plimovanja (v obdobju t.i. živih morskih men, ko so Zemlja, Sonce in Luna poravnani na premici; nastopi približno ob mlaju in ščipu).

Globinski datum hkrati predstavlja del državnega referenčnega globinskega sistema na morju. Ta je nujen za zagotovitev varne plovbe in posodobitev uradnih podatkov o globinah morja. V Sloveniji so do sedaj vsi podatki temeljili na stari hidrografski ničli iz obdobja SFRJ. Ker je realizacija novega horizontalnega in vertikalnega državnega koordinatnega sistema za kopni del države v postopku končne izvedbe, je nujna tudi vzpostavitev povezave z morskim delom. Z uvedbo novega referenčnega globinskega sistema bo, med drugim, omogočena tudi čezmejna uskladitev globin na morju s sosednjimi državami, ter izpolnitev obveznosti Slovenije do IHO.

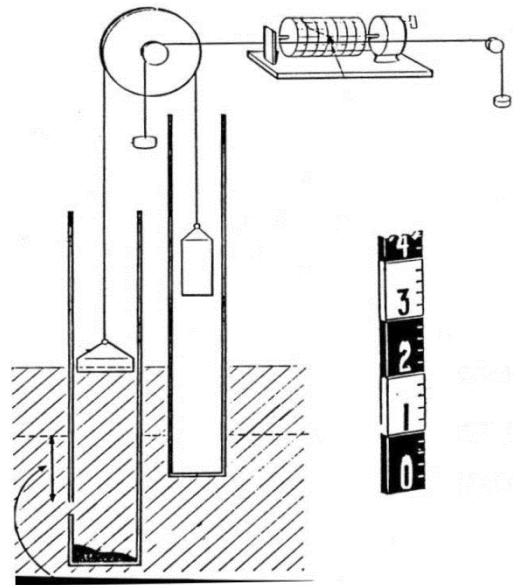
Že v SFRJ je Hidrografski inštitut vojne mornarice iz Splita določil globinski datum. Pregled takratne dokumentacije v zvezi z določitvijo globinskega datuma je pokazal, da so bile izračunane vrednosti višin nivoja morja (globinskih datumov) različne, saj je bilo v uporabi več višinskih datumov (Bakar, Maglaj, Trst). Novo vrednost smo določili iz podatkov meritev nivoja morja na stari in novi MP Koper.

Mareografska postaja Koper

Mareograf (angl. tide gauge) je naprava za registracijo trenutnega nivoja morske gladine. Ti se postavljajo ob obalah svetovnih morij in oceanov in nenehno beležijo trenutne vrednosti gladine morja. Začetki registracije morske gladine segajo v XVIII. stoletje. V uporabi je več izvedb mareografa, in sicer mehanska, tlačna, akustična ali radarska. Do sedaj so bili največkrat v uporabi mehanski mareografi (slika 1, desno); konstrukcija teh se v zadnjih sto letih ni bistveno spremenila.

Prvi mareograf v Kopru so postavili leta 1957 (slika 1, levo). Merjenje nivoja morja z mehanskimi mareografi je obremenjeno s številnimi vplivi in pogreški. Tako nabiranje sedimentov in alg v cevi mareografa ovira prosti pretok vode v cev mareografa. Neenakomerni tek urnega mehanizma, ki poganja valj s papirjem, na katerega se zariše trenutni nivo morja, zatikanje peresa in razlivanje črnica zaradi vlage v zraku, so le nekatere od težav, ki so prisotne pri tovrstnih meritvah in registraciji nivoja morja. Z dobro vzdrževanimi mehanskimi mareografi lahko na osnovi tovrstnih meritev letne srednje nivoje morja iz večletnih nizov opazovanj določimo z natančnostjo 2 do 2,5 cm (Hannah, 2010, Dawidowicz, 2014).

Nova MP Koper je opremljena z radarskim senzorjem nivoja morja in mehanskim mareografom s plovcem, ki nivo plovca registrira v digitalni obliki (slika 3). S sodobnimi mareografi lahko bolj podrobno spremljamo proces plimovanja, ter ekstremne nivoje morja v krajših časovnih intervalih (Dawidowicz, 2014). Seveda so podatki bolj natančni in zanesljivi, če je mareograf ustrezno kalibriran, zato se priporoča kalibracija mareografa vsakih 6 mesecev.



Slika 1 - Stari mareograf v Kopru in skica principa delovanja mehanskega mareografa



Slika 2 - Nova MP Koper



Slika 3 - Radarski senzor in senzor s plovcem na MP Koper

V okviru projekta »Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav«, ki ga je ob finančni podpori Finančnega mehanizma EGP 2009–2014 vodila GURS s partnerjema Norveško in Islandsko geodetsko upravo, je bil v okviru podprojekta »Geodetski referenčni sistem«, ki sta ga izvajala Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo in Geodetski inštitut Slovenije, določen tudi novi višinski datum Koper. Ta je bil določen v več korakih.

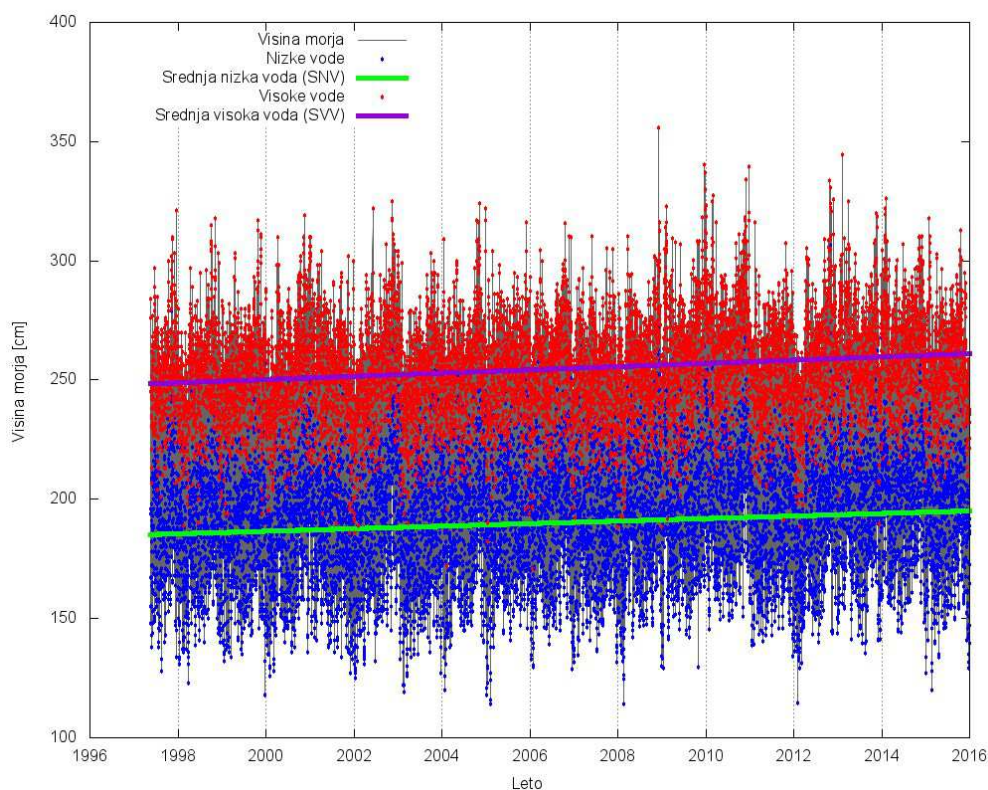
Kratek pregled analize mareografskih opazovanj na MP Koper

Najprej smo analizirali 18,6-letni niz opazovanj nivoja morja in nato razlike med različnimi načini izračuna srednjega nivoja morja na MP Koper. Srednji nivo novega globinskega datuma smo nato določili hkrati z določitvijo srednjega nivoja morske gladine. Izračunani nivoji SVV, SNV in SNNVŽMM se razlikujejo, ker so izračunani iz različnih nizov podatkov. Niz podatkov, iz katerih so izračunani omenjeni nivoji, je isti, kot je bil uporabljen za izračun srednjega nivoja morja za določitev novega višinskega datuma Slovenije - SVS2010 (o določitvi novega višinskega datuma Slovenije SVS2010 bo v letu 2019 objavljen poseben prispevek v reviji Geodetski vestnik). Za obdobje od 21. 5. 1997 00:00:00 do 31. 12. 2005 23:00:00, so bili podatki pridobljeni na starem mareografu (slika 1, levo), od 1. 1. 2006 00:00:00 do 31. 12. 2015 23:00:00 pa na novi MP Koper (slika 2). Pri izračunu srednjega nivoja morja je bilo ugotovljeno, da se ta spreminja s časom.

Posledično se s časom spreminjajo tudi zgoraj naštetih srednji nivoje morja. Vsi navedeni nivoje morja so bili zato izračunani kot linearne funkcije odgovarjajočih nivojev morja. Končna vrednost za srednji nivo morja pa je bila izračunana za datum 10. 10. 2010. Vrednost srednjega nivoja morja, izračunana za ta datum predstavlja višinski datum (višinski datum Koper) novega Slovenskega višinskega sistema (SVS2010). Ker smo vse srednje nivoje morja izračunali iz istega, 18,6 let trajajočega niza meritev nivoja morja smo dosegli podatkovno in časovno usklajenost izračunanih nivojev morja, ki veljajo za isti datum (10. 10. 2010).

Primer izračuna srednje nizke vode (SNV) in srednje visoke vode (SVV)

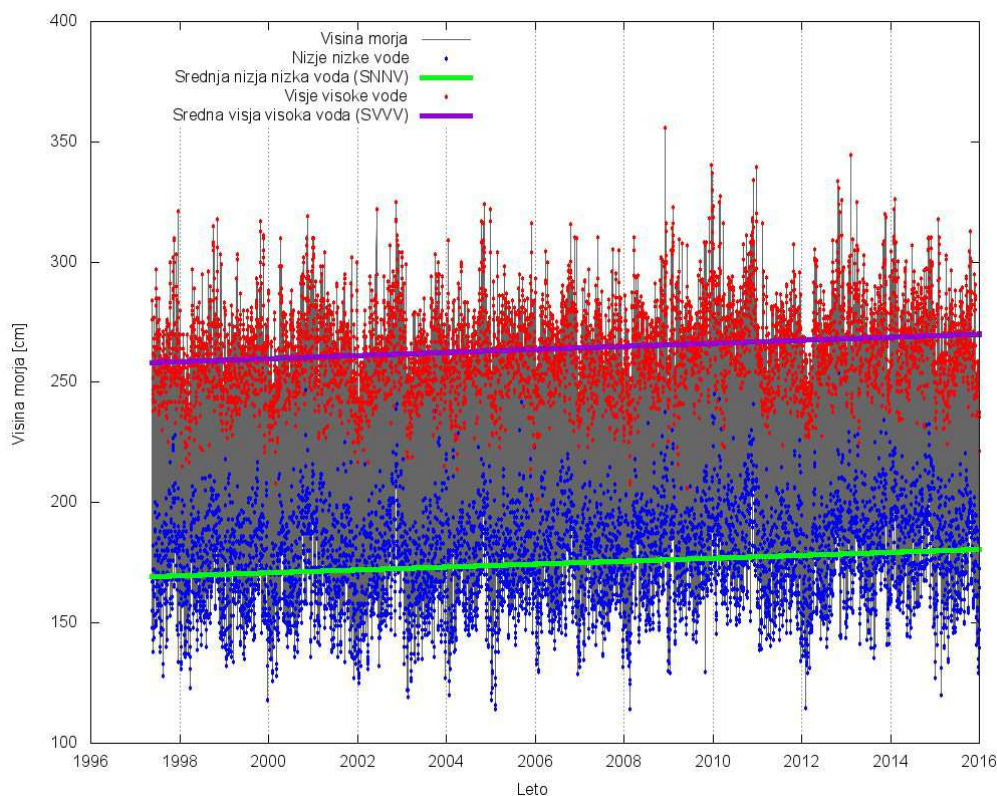
Pri izračunu SNV in SVV smo upoštevali vse nizke vode (SNV) in vse visoke vode (SVV). V podatkih mareografa to pomeni vse ekstremne vrednosti, torej obe visoki vodi in obe nizki vodi v enem plimnem dnevu. Slika 4 prikazuje podatke, ki so bili uporabljeni za izračun SNV in SVV, ter izračunani srednji vrednosti.



Slika 4 - Prikaz podatkov in rezultatov za izračun SNV in SVV

Primer izračuna srednje nižje nizke vode (SNNV) in srednje višje visoke vode (SVVV)

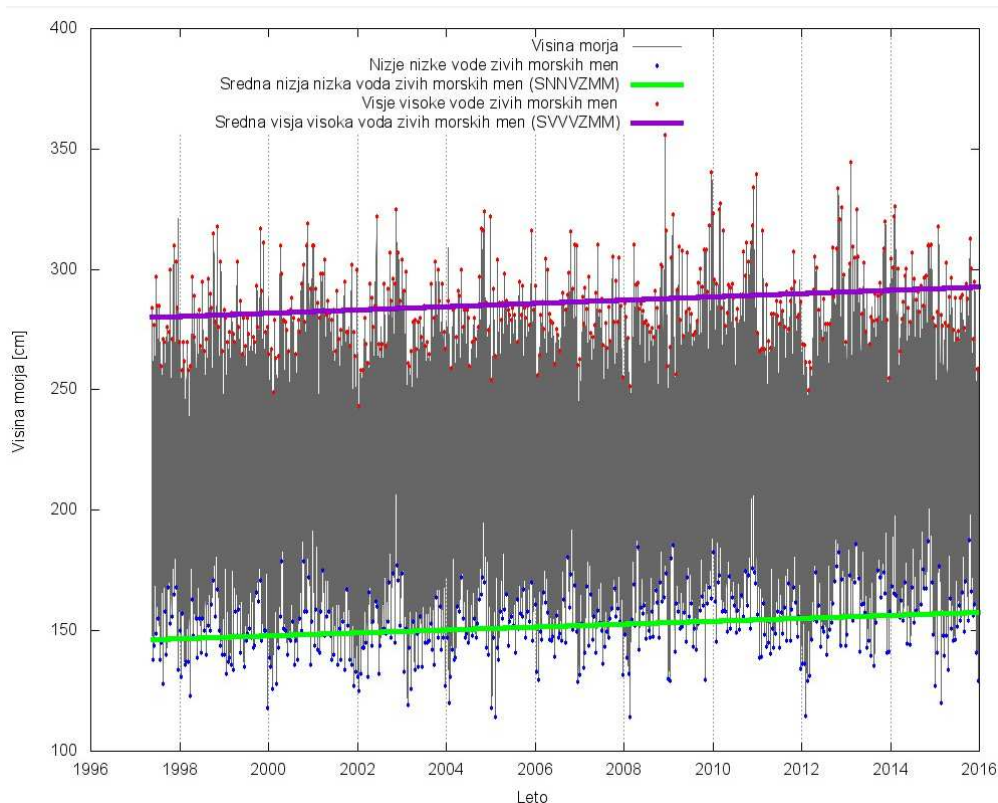
V primeru izračuna srednje nižje nizke vode (SNNV) in srednje višje visoke vode (SVVV) v izračun vzamemo eno samo vrednost za vsak plimni dan, in sicer najnižjo vrednost za izračun SNNV in najvišjo vrednost za izračun SVVV. Slika 5 prikazuje podatke in rezultate za izračunani srednji vrednosti. V primerjavi s sliko 4 je razvidno, da je na sliki 5 le polovica podatkov, ki so prikazani na sliki 4.



Slika 5 - Prikaz podatkov in rezultatov za izračun SNNV in SVVV

Določitev srednje nižje nizke vode živih morskih men (SNNVŽMM) in srednje višje visoke vode živih morskih men (SVVVŽMM)

Za ta izračun uporabimo samo dve vrednosti v celem luninem mesecu, in sicer za čas, ko je Luna polna (ščip) oziroma prazna (mlaj). S slike 6 je razvidno, da je nabor podatkov veliko manjši, ko upoštevamo višje visoke in nižje nizke vode le za čas polne in prazne Lune. Se pa tudi vidi, da so v izračun vzete le ekstremne vrednosti, spodnje za SNNVŽMM in zgornje za SVVVŽMM. Pri tem je pomembna spodnja vrednost (SNNVŽMM), saj predstavlja nov globinski datum za določitev globin morja in kartiranje morskega dna.



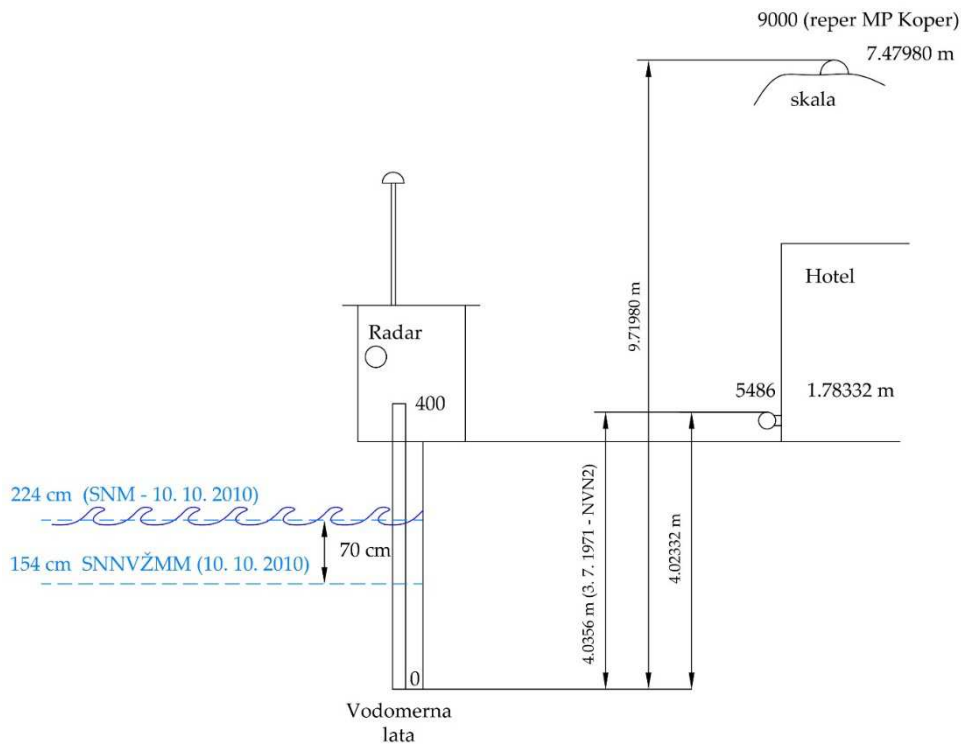
Slika 6 - Prikaz podatkov in rezultatov za izračun SNNVŽMM in SVVVŽMM

Fizična realizacija državnega višinskega in globinskega datuma

Poznavanje povezave med višinskim in globinskim datumom je zelo pomembno za varno odvijanje pomorskega prometa in povezovanje višin točk na kopnem z globinami na morju (Tamisiea in dr., 2014). Na osnovi mareografskih opazovanj je določen tudi nivo morja, ki predstavlja osnovo za določitev obalne črte. Dolgoletni niz meritev nivoja morja nam omogoča tudi izračun hitrosti dolgoročnega spreminjanja nivoja morja. Poznavanje hitrosti dvigovanja nivoja morja je zelo pomembno za izvajanje protipoplavnih ukrepov in prostorsko načrtovanje na območju obale.

Pri tem pa morata biti višinski datum, ki predstavlja izhodišče za določitev višin na kopnem, in globinski datum, ki predstavlja osnovo za določitev globin na morju, med seboj povezana in usklajena. V našem primeru smo povezanost in usklajenost obeh datumov dosegli s tem, da sta višinski in globinski datum prvič izračunana iz istega niza opazovanj in oba veljata za isti časovni datum 10. 10. 2010.

Fizično predstavlja državni globinski datum oznaka 154 cm, državni višinski datum pa oznaka 224 cm na vodomerni lati MP Koper (slika 7). Nov državni globinski datum, skupaj z modelom geoida na morju, predstavlja Slovenski globinski sistem 2010 (SGS2010).



Slika 7 - Fizična realizacija državnega višinskega in globinskega datuma

Zaključek

Projekt določitve državnega globinskega referenčnega sistema na morju je dal dva ključna rezultata:

- ploskev novega modela geoida na slovenskem morju in
- novi globinski datum za slovensko morje.

V članku je opisan nov slovenski globinski datum (SNNVŽMM). Določen je na osnovi meritev nivoja morja na MP v Koprju za isti časovni datum kot višinski. V naravi je novi globinski datum realiziran z oznako 154 cm na vodomerni lati mareografa. Dosedanji globinski datum je predstavljen z oznako 152 cm na vodomerni lati mareografa v Koprju in se nanaša na stari jugoslovanski višinski datum Maglaj. Stari globinski hidrografski datum ("hidrografska ničla") je le 2 cm nižje od novega, zato ostanejo vrednosti globin na slovenskih pomorskih kartah iste.

Višinski datum (SNM) je osnova za določanje nadmorskih višin na kopnem. Dosedanji višinski datum Trst je za 15,5 cm nižje kot višinski datum Koper, vendar v hidrografiji ni bil uporabljen. Dosedanji višinski datum za področje hidrografije je bil višinski datum Maglaj, ki predstavlja oznako 215 cm na vodomerni lati MP Koper, kar pomeni, da je za 9 cm nižji od novega.

Razlika med novim višinskim in novim globinskim datumom (razlika SNM – SNNVŽMM) je 70 cm. Razlika med starim višinskim in starim globinskim datumom za potrebe hidrografije pa je 63 cm, kar je zapisano na vseh dosedanjih pomorskih kartah.

S tem projektom je dokončan prvi izračun geoida na slovenskem morju in prva povezana določitev globinskega in višinskega datuma v zgodovini države. Preostane še pravna opredelitev Slovenskega globinskega referenčnega sistema (predlagana kratica SGS2010), ki bi morala biti usklajena z opredelitvijo Slovenskega višinskega sistema (SVS2010), ki je v pristojnosti GURS. Višinski sistem je bil uradno sprejet z »Uredbo o

določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema« (Ur.l. 80/18, 7. 12. 2018), medtem ko se uradni sprejem slovenskega globinskega sistema in globinskega datuma predvideva v kratkem.

Literatura

- Shalowitz, A. L. (1962). Shore and sea boundaries, Washington D.C.: U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Dawidowicz, K. (2014). Sea level changes monitoring using GNSS technology – a review of recent efforts. *Acta Adriatica*, 55/2, 145-162. <http://hrcak.srce.hr/file/199292>, pridobljeno: 17.4.2018.
- Domijan N., Leder N., Čupić S. (2005). Visinski datumi Republike Hrvatske. Treći hrvatski kongres o katastru s međunarodnim sudjelovanjem, 7.-9. 03. 2005, Zagreb /Medak D., Nikolić P., Pribičević B. (ur.). Hrvatsko geodetsko društvo, 2005. str. 345-350.
- Hannah, J. (2010). The Difficulties in Using Tide Gauges to Monitor Long-Term Sea Level hange. https://www.fig.net/resources/monthly_articles/2010/july_2010/july_2010_hannah.pdf, pridobljeno 10.12.2018.
- Jovanović, B. (1978): Izučavanje metoda mjerenja dubina mora, unapređenje obrade dubina i definiranje obalne linije sa hidrografskog, geodetskog i pomorskog gledišta, Doktorska disertacija, Geodeski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 292 str.
- Karničnik I., Klanjšček M., Radovan D. (2006). Sodobno hidrografsko kartiranje in dokumentiranje slovenskega morja. *Geodetski vestnik* št. 50/1, 37-43.
- Koler B., Stopar B., Pavlovčič P.,P., Kuhar M., Sterle O., Urbančič T., Triglav Č.M., Ritlop K., Karničnik I., Bric V., Radovan D. (2018). Določitev državnega globinskega referenčnega sistema na morju. končno poročilo. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: Geodetski inštitut Slovenije, 148 str., ilustr.
- Stopar B., Koler B., Kogoj D., Ambrožič T., Pavlovčič Prešeren P., Kuhar M., Sterle O., Kregar K., Štebe G., Urbančič T., Goršič J., Mencin A., Berk S., Fabiani N., Mesner N., Caserman M., Bric V., Triglav M., Karničnik I., Janežič M., Oven K. (2016). Implementacija kombinirane geodetske mreže in višinske komponente ESRS v državni geodetski referenčni sistem : končno poročilo. Sklop 3. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: Geodetski inštitut Slovenije, 216 str., ilustr.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, (2000). Tide and Current Glossary, National Ocean Service, Center for Operational Oceanographic Products and Services, Silver Spring, MD.
- Tamisiea, M.E., Hughes, C.W., Williams, S.D.P., Bingley, R.M. (2014). Sea level: measuring the bounding surfaces of the ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 372, 1–26. doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0336>