

# DOLOČITEV NOVEGA VIŠINSKEGA DATUMA SLOVENIJE

# DETERMINATION OF THE NEW VERTICAL DATUM OF SLOVENIA

*Oskar Sterle, Božo Koler*

UDK: 528.38(497.4)  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.02  
Prispelo: 12. 10. 2018  
Sprejeto: 28. 2. 2019

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.13-26  
REVIEW ARTICLE  
Received: 12. 10. 2018  
Accepted: 28. 2. 2019

## IZVLEČEK

*V prispevku je predstavljen pregled višinskih datumov na območju Slovenije, ki so bili določeni na podlagi mareografskih opazovanj na različnih mareografih ob jadranski obali. V nadaljevanju je predstavljena določitev višinskega datuma Koper, ki je del novega višinskega koordinatnega sestava. Višinski datum je bil določen na podlagi mareografskih opazovanj v Kopru, hitrosti spreminjanja morske gladine v Kopru in ob upoštevanju lokalne stabilnosti mareografske postaje.*

## ABSTRACT

*In this article, an overview of the height geodetic data of Slovenia that were determined on a basis of observations from various tide gauges along the Adriatic coast is presented. This is followed by the definition of the Koper height geodetic datum as a part of a new height system of Slovenia. The height datum was determined on the basis of observations at Koper tide gauge, the rate of sea level change in Koper, and taking into account the local stability of the tide gauge.*

## KLJUČNE BESEDE

mareograf, morska gladina, spreminjanje morske gladine, višinski datum

## KEY WORDS

tide gauge, sea level, sea level change, height datum

## 1 UVOD

Plimovanje morja je bilo že od nekdaj zelo zanimivo za številne ljudi, še posebej tiste, ki so živeli ob in na morju. Prva pisna navodila za opazovanje morske gladine so bila objavljena leta 1675 v *Journal des Sçavans*. Leta 1680 sta geodeta in astronom Jean Picard in Philippe de la Hire objavila prvi zapis o desetdnevem opazovanju visoke in nizke gladine morja v Brestu v Franciji, ki sta ga izvedla leta 1679. Leta 1692 sta izvedla petmesečno opazovanje spreminjanja morske gladine. Na podlagi teh spoznanj so pozneje v glavnih francoskih pristaniščih uvedli stalno spremljanje morske gladine na vodomernih letah. Zelo dolgo tradicijo spremljanja morske gladine imajo še v Amsterdamu, saj jo spremljajo od 1682., v Liverpoolu od 1768. in Stockholmu od 1774. (Wöppelmann et al., 2006; Hannah, 2010; Dawidowicz, 2014; Parker in Ollier, 2016).

V Trstu so sistematično spremljanje morske gladine začeli 1854. Meritve je izvajala *Academica Nautica and Osservatorio Marittimo* (Buble, Bennett in Hreisdóttir, 2010). Ob vzhodni jadranski obali so spremljali morsko gladino na Reki od 1860. in Puli od 1868. Leta 1929 so začeli opazovanja morske gladine v Bakru in Splitu. Mreža mareografov ob vzhodni jadranski obali v Kopru, Rovinju, Splitu in Dubrovniku je bila postavljena v 50. letih prejšnjega stoletja (Vilibić et al., 2005).

Podatki o spreminjanju morske gladine so pomembni za številne dejavnosti, ki jih izvajamo na obali in predvsem na morju. Velik vpliv ima na obalno infrastrukturo med ekstremnimi plimami, ki povzročajo poplave, in v zadnjem času pri analizi spreminjanja morske gladine, ki je posledica globalnega segrevanja (Vilibić et al., 2005; Han et al., 2015). Ker so podatki o morski gladini dosegljivi skoraj v realnem času, je njeno spremljanje lahko tudi del sistema za opozarjanje v primeru poplav (Woodworth, Rickards in Pérez, 2009). Mareografska opazovanja so pomembna za številne znanosti, ki analizirajo globalno spreminjanje morske gladine v projektu GLOSS (angl. Global Sea Level Observation System) (Wöppelmann et al., 2006). Spreminjanje morske gladine lahko določimo, če imamo na voljo mareografska opazovanja, periodične izmere nivelmanske mreže mareografa, s katero nadziramo lokalno stabilnost mareografa, in niz GNSS-opazovanj, s katerim spremljamo stabilnost mareografa v globalnem koordinatnem sistemu (Gill, Weston in Smith, 2015; Sterle et al., 2017).

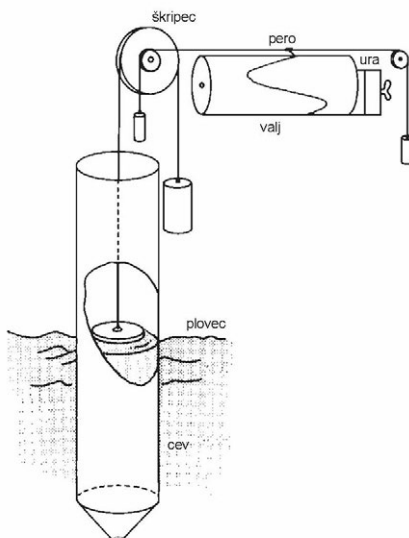
Mareografska opazovanja so bila že od nekdaj pomembna tudi za geodezijo, saj na njihovi podlagi določimo višinski datum oziroma izhodišče za določitev tako imenovanih nadmorskih višin točk na kopnem (Schöne, Schön in Thaller, 2009; Dawidowicz, 2014; Bradshaw et al., 2016). Tako je leta 1864 mednarodna zveza za geodezijo (IAG) pozvala pomorske države, da začnejo izvajati mareografska opazovanja za določitev enotnega višinskega datuma evropskih nivelmanskih mrež (Wöppelmann et al., 2006). Ker so ugotovili, da je srednja gladina Sredozemskega morja za 13 centimetrov nižja od srednje gladine severnih morij, so se odločili, da ne bodo določili enotnega višinskega datuma za vso Evropo, temveč bodo posamezne države obdržale svoje nacionalne višinske datume (Koler, 1994). Ker je bila Slovenija takrat del Avstro-Ogrske, so bile višine na območju Slovenije določene v višinskem datumu Trst 1875. Določitev novega višinskega datuma na območju Slovenije je povezana z mareografskimi opazovanji na mareografu v Kopru.

## 2 MAREOGRAF OZIROMA MAREOGRAFSKA POSTAJA

Z mareografom spremljamo morsko gladino glede na datum mareografa, ki je določen lokalno in ni primeren za globalne študije nihanj morske gladine. Vertikalni datum naj bi bil definiran kot globalni datum, ki se nanaša na masno središče Zemlje. Oddaljenost masnega središča Zemlje glede na površino

pa mora biti določena z veliko natančnostjo (Blewitt et al., 2010). Na podlagi srednje morske gladine lahko določimo lego izhodiščne (referenčne) ekvipotencialne ploskve, to je višinske referenčne ploskve v prostoru. Srednja morska gladina je tako ekvipotencialna ploskev, ki poteka skozi izbrano izhodiščno točko – mareograf in pomeni referenčno ploskev za določitev višin.

Prvi mehanski mareografi so bili postavljeni leta 1831 v Sheernessu v Veliki Britaniji in leta 1842 v Toulonu v Franciji (Wöppelmann et al., 2006; Woodworth, Rickards in Pérez, 2009; Bradshaw et al., 2016). Prvi mareograf v Kopru so postavili leta 1957 (slika 1). Spremljanje morske gladine z mehanskimi mareografi je obremenjeno s številnimi pogręški. Tako nabiranje sedimentov in alg v cevi mareografa ovira prosti pretok morja v cev mareografa. Neenakomerni tek urnega mehanizma, ki poganja valj s papirjem, na katerega se zapiše trenutna morska gladina, zatikanje peresa in razlivanje črnila zaradi vlage v zraku so le nekateri od pogręškov, ki so prisotni pri registraciji morske gladine. Težava je tudi pravilna namestitve papirja ob menjavi in menjava katerega koli od delov mareografa, ki omogoča zapis morske gladine (škripec, peresa, valja, urnega mehanizma; slika 1) (Hannah, 2010). Z dobro vzdrževanimi mehanskimi mareografi lahko letne srednje morske gladine iz večletnih nizov opazovanj določimo z natančnostjo od 2 do 2,5 centimetra (Hannah, 2010; Dawidowicz, 2014).



Slika 1: Stari mareograf v Kopru in skica načela delovanja mehanskega mareografa (po Intergovernmental Oceanographic Commission – IOC, 1985).

Večjo frekvenco zajemanja podatkov, natančnost in zanesljivost spremljanja morske gladine lahko dosežemo z uporabo elektronskih mareografov, ki so opremljeni z akustičnimi, tlačnimi senzorji ali radarjem

(Míguez, Testut in Wöppelmann, 2012). Nova mareografska postaja Koper (MP Koper) je opremljena z radarskim mareografom in mareografom s plovcem, ki položaj plovca registrira v digitalni obliki (slika 2). S sodobnimi mareografi lahko podrobneje spremljamo proces plimovanja ter ekstremne morske gladine v krajših intervalih (Dawidowicz, 2014). Seveda so podatki bolj zanesljivi in kakovostni, če so mareografi ustrezno kalibrirani, tako se priporoča kalibracija mareografa na šest mesecev.



Slika 2: Nova mareografska postaja Koper, radarski mareograf in mareograf s plovcem.

### 3 PREGLED VIŠINSKIH DATUMOV NA OBMOČJU SLOVENIJE

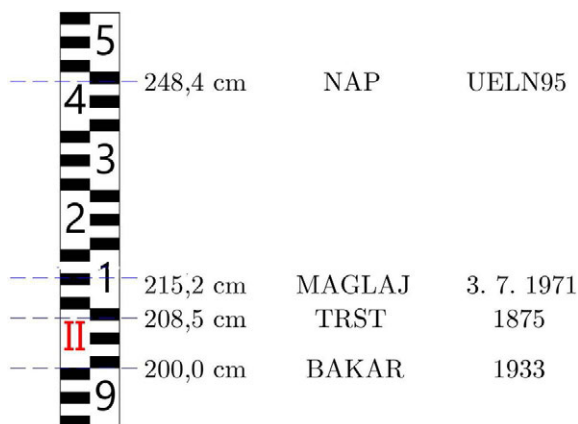
Pred preračunom nivelmanskih mrež leta 2000 v Slovenski višinski sistem 2000 (SVS2000) v višinskem datumu Trst 1875 so bile višine na območju Kopra in dela Primorske določene v višinskem datumu Bakar. V višinskem datumu Maglaj so bile izračunane višine reperjev v II. nivelmanski mreži velike natančnosti (II.NVN), ki niso bile nikoli uradne nadmorske višine na območju Slovenije, saj se je Slovenija osamosvojila. Nadmorske višine reperjev bi lahko izračunali tudi v evropskem višinskem datumu NAP-UELN95 (Koler et al., 2017).

V preglednici 1 so navedeni podatki o določitvi srednjih morskih gladin, ki so bile opredeljene kot višinski datumi na območju Slovenije, in leto, za katero je bil določen. Iz preglednice vidimo, da sta bila le višinska datuma Maglaj in Koper določena iz niza merjenja morske gladine v obdobju 18,6 leta, kar je podlaga za kakovostno in zanesljivo določeno srednjo morsko gladino. Iz preglednice 1 vidimo, da odstopanja glede na višinski datum Trst znašajo od 8,5 do –6,7 centimetra. To pomeni, da so tudi nadmorske višine reperjev v nivelmanskih mrežah Slovenije »napačne« za navedeni vrednosti. V evropskem višinskem datumu bi bile višine reperjev nižje za 39,9 centimetra.

Preglednica 1: Srednje morske gladine – višinski datumi na območju Slovenije

Višinski datumi na MP Koper			Srednja gladina morja [cm]	Razlika [cm]
Naziv	Določen za	Iz niza opazovanj morske gladine		
Trst	1875	1 leto	208,5	0
Bakar	1933	1930–1938	200,0	8,5
Maglaj	3. 7. 1971	1962,2–1980,8	215,2	-6,7
NAP-UELN95	1995	18,6 leta	248,4	-39,9

Za lažjo predstavo, kaj se je dogajalo z višinskimi datumi, so podatki iz preglednice 1 prikazani grafično na sliki 3.



Slika 3: Predstavitev srednjih morskih gladin na vodomerni lati MP Koper v različnih obdobjih.

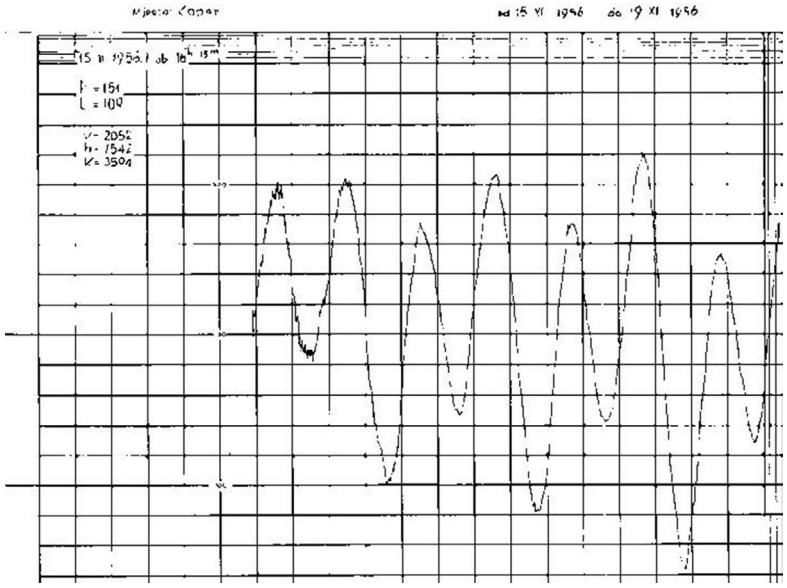
#### 4 DOLOČITEV VIŠINSKEGA DATUMA KOPER

V okviru projekta Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav, ki ga je s finančno podporo finančnega mehanizma EGP 2009–2014 vodil Geodetska uprava RS v partnerstvu z norveško geodetsko upravo in islandsko geodetsko upravo, je bil v okviru podprojekta Geodetski referenčni sistem, ki sta ga izvajala Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Geodetski inštitut Slovenije, določen tudi višinski datum Koper, in sicer v več korakih. Najprej smo analizirali 18,6-letni niz opazovanj in razlike med različnimi načini izračuna srednje morske gladine na MP Koper. Ker vemo, da mareografska postaja v Koprju ni stabilna (Sterle et al., 2017), smo iz srednje morske gladine, določene na podlagi mareografskih opazovanj, izločili vpliv posedanja mareografa. V končni določitvi višinskega datuma Koper smo upoštevali še obseg izvedenih izmer na nivelmanski mreži Slovenije v posameznih letih.

##### 4.1 Analiza mareografskih opazovanj

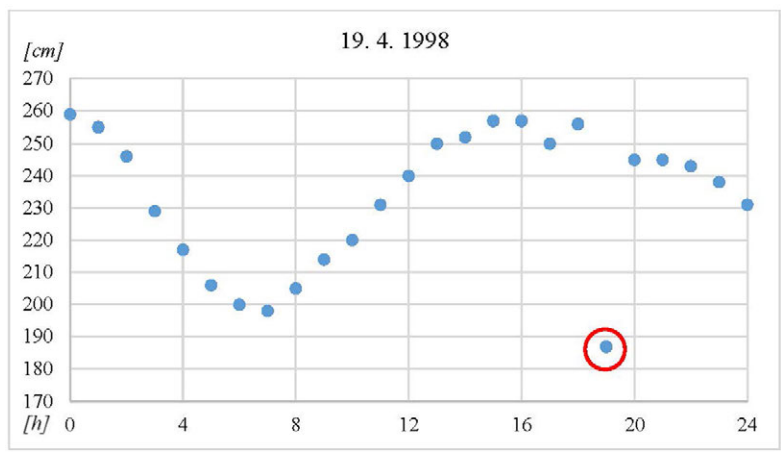
Na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) smo pridobili urne vrednosti spremljanja morske gladine na mareografu v Koprju. Srednja morska gladina je izračunana iz dveh nizov podatkov. Niz podatkov od 21. 5. 1997, od 17<sup>h</sup>, do 31. 12. 2005, do 23<sup>h</sup>, je bil pridobljen iz opazovanj na starem mareografu

(slika 1). Urne vrednosti so bile pridobljene z digitalizacijo zapisov spreminjanja morske gladine, ki so se beležile na papir v grafični obliki (slika 4). Od 1. 1. 2006, od 0<sup>h</sup>, do 31. 12. 2015, do 23<sup>h</sup>, so bila opazovanja morske gladine izvedena na novi MP Koper (slika 2). V celotnem nizu opazovanj manjka 139 opazovanj oziroma 5 dni in 19 ur (0,09 % vseh podatkov).



Slika 4: Zapis zabeležene morske gladine na starem mareografu Koper.

Podatke o urnih vrednostih spremljanja morske gladine smo pregledali in na podlagi analize izločili opazovanja, ki so bila tri ure zaporedoma enaka ali pri katerih je bila sprememba v treh urah manjša od enega centimetra. Izločili smo tudi vrednosti, ki so bistveno odstopale od pričakovane vrednosti (slika 5). Na podlagi navedenega merila je bilo izločeno 1149 opazovanj oziroma 47 dni 21 ur (0,79 % vseh podatkov). Glede na način spremljanja morske gladine je bilo 88,7 % izločenih podatkov pričakovano pridobljenih s starim mareografom.



Slika 5: Izris mareografskih opazovanj za 19. 4. 1998.



## 4.2 Določitev srednje morske gladine iz mareografskih opazovanj v Kopru

Plima in oseka morja oziroma trenutna gladina morja je posledica vpliva nebesnih teles na Zemljo in atmosferskih vplivov, kot so veter, zračni tlak, temperatura in slanost morja. Zaradi povečanega topljenja ledu v morje pritekajo velike količine sladke vode, zato se spreminja tudi slanost morja (Meysignac in Cazenave, 2012). Na gladino morja vplivajo tudi globina morske vode, morski tokovi ter oblika obale (Vilibić et al., 2005; Buble, Bennett in Hreisdóttir, 2010). Največji vpliv imata Sonce in Luna, vendar se ta vpliv s časom spreminja. Spremembe so periodične in so posledica elipsoidne oblike Zemlje ter eliptičnosti tirnic Lune okoli Zemlje in Zemlje okoli Sonca. Plimovanje oceanov in morij je tako mogoče povezati z razvojem fizikalnega modela v plimne harmonične vrste oziroma komponente plimnih valov (angl. *tidal constituents*). Vsaka komponenta plimnih valov je določena s frekvenco vala, faznim zamikom vala in amplitudo vala. Vse tri količine so odvisne od položaja točke na Zemlji. Za primer modeliranja plimovanja na MP Koper smo privzeli 37 komponent, ki so po amplitudi največje. Iz dela Petit in Luzum (2010) smo privzeli ustrezne frekvence. Po metodi najmanjših kvadratov smo izravnali opazovane vrednosti trenutne višine morja v Kopru ter ocenili amplitude in fazne zamike za vseh 37 komponent.

Srednjo morsko gladino smo izračunali tudi na podlagi tako imenovanega X0-filtra, kot je navedeno v priročniku IOC (1985), saj če iz niza opazovanj izračunamo navadno aritmetično sredino, dobimo po IOC (1985) tako imenovano srednjo višino plimovanja, ki se razlikuje od srednje morske gladine. Z X0-filtrom iz mareografskih opazovanj odstranimo dnevno energijo plimovanja in višje frekvence plimovanja. Popravljen odčitek na mareografu z X0-filtrom izračunamo iz 39 urnih mareografskih opazovanj. Popravljen odčitek na mareografu izračunamo po enačbi (IOC, 1985):

$$\mathcal{X}_T = \frac{1}{30} \sum_{t=-19}^{t=19} F(t)H(T+t), t \neq 0$$

kjer so:

$$F(t) = (2, 1, 1, 2, 0, 1, 1, 0, 2, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1).$$

Filter je simetričen, zato velja  $F(t) = F(-t)$ ,

$H(T+t)$ ... višina morja v času  $T+t$ ,

$T$ ... čas, za katerega računamo popravljen odčitek.

Srednjo morsko gladino in hitrost spreminjanja morske gladine smo izračunali z različnimi metodami in za različne nize podatkov. Iz preglednice 2 lahko vidimo, da so razlike v izračunanih vrednostih srednje morske gladine in hitrosti spreminjanja morske gladine za prva dva niza podatkov majhne. Razlika okoli 3 centimetre je le za tretji niz podatkov, ki je pridobljen na novi MP Koper. Seveda rezultati med seboj niso povsem primerljivi, saj je srednja morska gladina izračunana za 9. 9. 2005 ob 8<sup>h</sup> iz prvega niza podatkov, 10. 12. 2005 ob 8<sup>h</sup> za drugi niz podatkov in 31. 12. 2010 ob 23<sup>h</sup> za tretji niz podatkov.

Preglednica 2: Srednja morska gladina in hitrost spreminjanja morske gladine

Podatki za obdobje	Srednja vrednost		Plimni valovi		X0-filtr	
	<i>SMG</i> [cm]	$v_{SMG}$ [cm/leto]	<i>SMG</i> [cm]	$v_{SMG}$ [cm/leto]	<i>SMG</i> [cm]	$v_{SMG}$ [cm/leto]
19. 11. 1995, 17 <sup>h</sup> – 30. 6. 2015, 23 <sup>h</sup>	222,02	0,58	222,03	0,57	222,00	0,58
19. 11. 1995, 17 <sup>h</sup> – 31. 12. 2015, 23 <sup>h</sup>	222,09	0,56	222,07	0,54	222,10	0,57
1. 1. 2006, 0 <sup>h</sup> – 31. 12. 2015, 23 <sup>h</sup>	225,04	0,64	225,04	0,54	225,05	0,66

Z upoštevanjem izračunane hitrosti spreminjanja morske gladine in časovne razlike med predhodnim srednjim časom izračuna srednje morske gladine in časom 10. 10. 2010 ob 0<sup>h</sup> dobimo primerljive rezultate izračuna srednje morske gladine iz različnega niza podatkov in različno metodo (preglednica 3).

Preglednica 3: Srednja morska gladina in hitrost spreminjanja morske gladine, izračunana za 10. 10. 2010

Podatki za obdobje	Srednja vrednost		Plimni valovi		X0-filtr	
	<i>SMG</i> [cm]	$v_{SMG}$ [cm/leto]	<i>SMG</i> [cm]	$v_{SMG}$ [cm/leto]	<i>SMG</i> [cm]	$v_{SMG}$ [cm/leto]
19. 11. 1995, 17 <sup>h</sup> – 30. 6. 2015, 23 <sup>h</sup>	<b>224,99</b>	0,58	224,94	0,57	224,98	0,58
19. 11. 1995, 17 <sup>h</sup> – 31. 12. 2015, 23 <sup>h</sup>	224,81	0,56	<b>224,67</b>	0,54	224,84	0,57
1. 1. 2006, 0 <sup>h</sup> – 31. 12. 2015, 23 <sup>h</sup>	224,89	0,64	224,91	0,54	224,90	0,66

Iz preglednice 3 vidimo, da je razlika med maksimalno in minimalno srednjo morsko gladino (odebeljeno) 3,2 milimetra. To je predvsem posledica majhne amplitude plimovanja slovenskega morja glede na oceane ali odprta morja. V navedenem obdobju je bila zabeležena najnižja morska gladina 114 centimetrov (9. 2. 2005 ob 16<sup>h</sup>) in najvišja gladina 355,9 centimetra (1. 12. 2008 ob 10<sup>h</sup>). Končni izračun srednje morske gladine smo naredili na podlagi opazovanj, popravljenih z X0-filtrom, kot predlaga IOC (1985).

Pri izravnavi popravljenih vrednosti opazovanj z X0-filtrom smo upoštevali, da so podatki starega mareografa zaokroženi na centimetre, nove MP Koper pa na milimetre. Ocenili smo, da je kakovost starih mareografskih podatkov vsaj dvakrat slabša od novih. Zaradi tega smo se odločili, da za izračun srednje morske gladine vrednosti opazovanj utežimo tako, da je utež za niz podatkov, pridobljenih na starem mareografu, 1 za opazovanja na novi MP Koper pa 4. Za izračun srednje morske gladine smo imeli na voljo časovno usklajen niz podatkov, saj je bilo 47 % mareografskih podatkov pridobljenih na starem mareografu in 53 % na novi mareografski postaji. Zato pri določitvi uteži nismo upoštevali časovnega intervala pridobivanja podatkov. Srednja morska gladina je izračunana iz 18,6-letnega niza opazovanj (21. 5. 1997 od 17<sup>h</sup>–31. 12. 2015 do 23<sup>h</sup>) za 10. 9. 2006 in znaša  $222,35 \pm 0,20$  cm. Določili smo tudi hitrost spreminjanja morske gladine, ki znaša  $6,3 \pm 0,4$  mm/leto.



### 4.3 Analiza hitrosti spreminjanja morske gladine

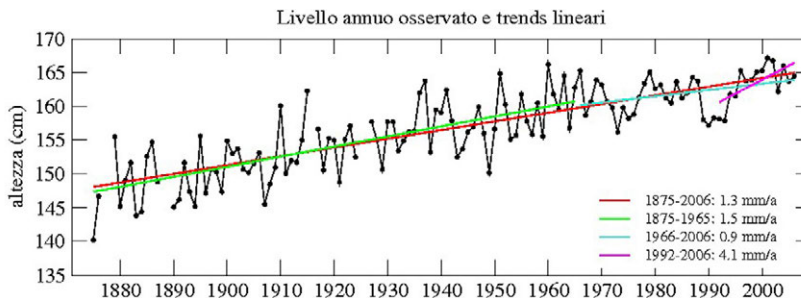
Izračun hitrosti spreminjanja morske gladine smo preverili tako, da smo na spletni strani *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL) pridobili podatke za srednje mesečne morske gladine na drugih mareografih vzdolž Jadranskega morja, na podlagi katerih smo izračunali hitrost spreminjanja srednje morske gladine za obdobje 18,6 leta (od aprila 1995 do decembra 2013).

Iz preglednice 4 vidimo, da znaša hitrost spreminjanja morske gladine od 1,2 mm/leto (Rovinj) do 4,5 mm/leto (Dubrovnik). Za mareograf v Trstu znaša hitrost spreminjanja morske gladine 3,9 mm/leto. Rezo (2010) navaja podatke o hitrosti spreminjanja morske gladine od 0,52 mm/leto (Bakar) do 0,90 mm/leto (Dubrovnik), kar je izračunano na podlagi 34 nizov srednjih morskih gladin za 3. 7. 1963, 3. 7. 1964 do 3. 7. 1996 iz 18,6-letnih mareografskih opazovanj. Izračunane vrednosti spreminjanja morske gladine tako niso primerljive. Razlike v hitrosti spreminjanja morske gladine so odvisne tudi od kraja postavitve mareografa in globine morja na območju mareografa.

Preglednica 4: Hitrost spreminjanja morske gladine na mareografih vzdolž vzhodne jadranske obale

Mareograf	Hitrost spreminjanja morske gladine [mm/leto]	Mareograf	Hitrost spreminjanja morske gladine [mm/leto]
Trst	3,9	Zadar	2,8
Rovinj	1,2	Split – pristanišče	3,6
Bakar	1,9	Dubrovnik	4,5

Na spletni strani tržaškega inštituta *Istituto di Scienze Marine* smo pridobili diagram s prikazom srednje morske gladine in hitrostjo spreminjanja srednje morske gladine na mareografu na pomolu Sartorio (slika 6). Na sliki 6 lahko vidimo, da znaša hitrost spreminjanja gladine morja v Trstu 1,3 mm/leto za obdobje od 1875 do 2006. Po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) znaša hitrost spreminjanja morske gladine v Kopru v obdobju od 1960 do 2014 približno 1 mm/leto (Prognozirano plimovanje morja, 2017). Navedena podatka se ujemata z navajani Bevisa, Schererja in Merrifielda (2002), da znaša značilno spreminjanje morske gladine v 50–100 letih od 1 do 2 mm/leto. S slike 6 lahko razberemo tudi, da znaša hitrost spreminjanja morske gladine v Trstu 4,1 mm/leto za obdobje od 1992 do 2006, kar je podobna vrednost, kot smo jo izračunali na podlagi podatkov meritev na mareografu v Kopru v obdobju od 1997 do 2015. Wöppelmann et al. (2006) navajajo, da znaša hitrost spreminjanja morske gladine na mareografu v Benetkah  $6,97 \pm 1,26$  mm/leto. Hitrost spreminjanja morske gladine je bila določena iz mareografskih opazovanj v obdobju 1990–2004.



Slika 6: Srednja morska gladina in hitrost spreminjanja morske gladine na mareografu v Trstu (vir: <http://www.ts.ismar.cnr.it/node/36>).

Povečano hitrost spreminjanja morske gladine so zaznali tudi na Arsu. Pozimi je sprememba posledica pogostejšega slabšega vremena in nižjih zračnih tlakov. Po IOC (2000) sprememba zračnega tlaka za 1 mbar povzroči spremembo v višini gladine morja za en centimeter. Orlič in Pašarić (2000) navajata, da na Jadranu sprememba zračnega tlaka za 1 mbar povzroči spremembo v višini gladine morja za od 1,8 do 2 centimetrov. Povišane vodostaje so zaznali tudi poleti, ko so predvsem posledica vremenskih sprememb in povišane temperature morja (Strojan, 2011; Blewitt et al., 2010; Dawidowicz, 2014). Na podlagi hidrografskih in satelitskih meritev so zaznali povišanje morske gladine, ki je povezano s spremembo temperature morja, tudi v Sredozemlju (Cazenave et al., 2002).

Znano je tudi, da so amplitude plimovanja v Jadranu, še posebej severnem, večje kot na Sredozemskem morju. Večje amplitude plimovanja v severnem Jadranu so predvsem posledica topografije morskega dna oziroma relativno plitvega morja, saj med Istro in Riminijem globina ne preseže 46 metrov (Flather, 2000; Vilibić et al., 2005; Buble, Bennett in Hreisdóttir, 2010). Buble, Bennett in Hreisdóttir (2010) navajajo, da znaša hitrost relativnega dvigovanja morja ob vzhodni jadranski obali  $0,6-1,0 \pm 0,2$  mm/leto in povprečna vrednost  $0,84 \pm 0,2$  mm/leto. Takšna hitrost je za 2 do 4 manjša, kot je globalno absolutno spreminjanje morske gladine, saj je bila na podlagi podatkov satelitske altimetrije (1993–2009) določena hitrost dvigovanja morja  $3,2 \pm 0,4$  mm/leto in  $2,8 \pm 0,8$  mm/leto iz mareografskih opazovanj (1880–2009). Vrednost je bila izračunana na podlagi mesečnih vrednosti srednjih morskih gladin, ki so dosegljive na spletni strani PSMSL. Globalna hitrost dvigovanja morja, določena na podlagi satelitske altimetrije in starih mareografskih opazovanj v obdobju od 1900 do 2009, znaša  $1,7 \pm 0,2$  mm/leto oziroma  $1,9 \pm 0,4$  mm/leto od leta 1961 (Blewitt et al., 2010; Church in White, 2011; Gill, Weston in Smith, 2015).

Vedeti moramo, da se lokalni, regionalni in globalni podatki o hitrosti dviganja morja lahko zelo razlikujejo, kar je jasno razvidno tudi v našem primeru. Ker je Jadransko morje relativno majhna in izolirana vodna površina, so razlike v hitrosti spreminjanja morske gladine glede na globalne trende pričakovane (Buble, Bennett in Hreisdóttir, 2010). Razlike so tudi posledica relativnega spremljanja spreminjanja morske gladine glede na obalo, kjer je postavljen mareograf in običajno ni stabilna (Han, 2015; Sterle, 2017).

#### 4.4 Posedanje MP Koper

Z mareografi opazujemo spreminjanje morske gladine, ki je vsota plimovanja in vertikalnih pomikov mareografa, saj so mareografi običajno postavljeni na pomolih, ki niso stabilni (Wöppelmann et al., 2006; Tervo, Poutanen in Koivula, 2007; Braitenberg et al., 2011; Sterle et al., 2017). Spremljanje morske gladine je tako obremenjeno tudi s posedanjem mareografa, ki je zajeto v izmerjeni morski gladini na mareografu, zato je nujno, da ga izločimo iz izračunane srednje morske gladine (preglednica 5) (Bevis, Scherer in Merrifield, 2002; Wöppelmann et al., 2006; Hannah, 2010; Santamaría-Gómez, Bouin in Wöppelmann, 2012; Deo, Govind in El-Mowafy, 2013). Za korekten izračun višinskega datuma mora biti natančnost določitve vertikalnega pomika večja od natančnosti določitve srednje morske gladine (Deo, Govind in El-Mowafy, 2013).

Leta 2000 je bila na območju mareografa Koper stabilizirana nivelmanska mreža MP Koper. Nivelmanska mreža je bila med letoma 2001 in 2015 večkrat izmerjena, na podlagi česar smo spremljali stabilnost reperjev. Med izmerama 2013 in 2015 se je na reperjih N1-MPKP-9004 in MA01 pojavil

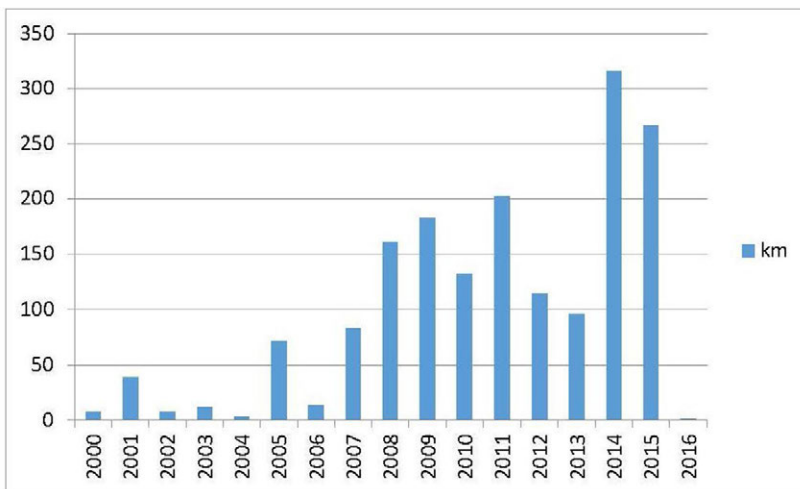
velik skok v višinskem pomiku, zato sta tudi vektorja hitrosti za ta reperja relativno velika ( $-0,79 \pm 0,06$  mm/leto za reper N1-MPKP-9004 in  $-0,64 \pm 0,07$  mm/leto za reper MA01). Predvidevamo, da je to posledica urejanja obale v okolici MP Koper iz leta 2013. Zato smo vektorje hitrosti višinskih pomikov izračunali za obdobje 2001–2013 in dobili vrednosti od  $-0,46 \pm 0,05$  mm/leto (reper N1-MPKP-5486 in MA01) do  $-0,49 \pm 0,06$  mm/leto (reper N1-MPKP-9004), kar je razumljivo glede na bližino objektov, v katerih so reperi, in dejstvo, da vsi objekti zelo verjetno stojijo na podobni podlagi (Sterle et al., 2017). V preglednici 5 so zbrani podatki, s katerimi smo iz srednje morske gladine, določene na podlagi mareografskih opazovanj, izločili posedanje mareografa.

Preglednica 5: Izračun srednje morske gladine brez posedanja mareografa

Srednja morska gladina	2223,5 ± 2,0 mm
$v_{N1-MPKP-9004}$	-0,49 ± 0,06 mm/leto
Število let: (2001_3–2015_12)	14,75 leta
$\Delta H_{N1-MPKP-9004}$	-7,2 ± 0,9 mm
Srednja morska gladina z upoštevanjem posedanja mareografa	2216,3 ± 2,2 mm

#### 4.5 Izračun končnega višinskega datuma Slovenije

V novem višinskem datumu Slovenije je bila izravnana tudi nova nivelmanska mreža 1. reda Slovenije, ki je bila izmerjena v letih od 2000 do 2015. Na sliki 7 je prikazan obseg izmer nivelmanskih poligonov, ki smo jih izvedli v posameznem letu. S slike 7 vidimo, da smo do leta 2006, za katero je izračunana srednja morska gladina, izmerili malo nivelmanskih poligonov (154,01 kilometra oziroma 7,8 %). Večina nivelmanskih poligonov (95,9 %) je bila izmerjena v obdobju 2005–2015. Zato je smiselno, da novi višinski datum Slovenije izračunamo za leto 2010.



Slika 7: Izmere nivelmanskih poligonov 1. reda po letih.

Na podlagi hitrosti spreminjanja morske gladine, ki smo jo zmanjšali za hitrost posedanja MP Koper, smo izračunali končni višinski datum Slovenije za dan 10. 10. 2010 (preglednica 6).

Preglednica 6: Izračun končnega višinskega datuma Slovenije za 10. 10. 2010

Srednja morska gladina z upoštevanjem posedanja MP Koper (10. 9. 2006 – preglednica 4)	2216,3 ± 2,2 mm
$V_{SMG+mareograf}$	6,30 ± 0,4 mm/leto
$V_{N1-MPKP-9004}$	-0,49 ± 0,06 mm/leto
$V_{SMG}$	5,81 ± 0,4 mm/leto
Število let (2006_09_10–2010_10_10)	4,09 leta
$\Delta_{SMG}$	23,8 ± 1,6 mm
<b>Srednja morska gladina za 10.10.2010</b>	<b>2240,1 ± 2,3 mm</b>

## 5 SKLEP

Uradne višine v Sloveniji so bile določene v višinskem datumu Trst, opredeljenem leta 1875 v času Avstro-Ogrske na podlagi enoletnih opazovanj morske gladine na mareografu, ki je postavljen na pomolu Sartorio v Trstu.

Leta 1957 so v Kopru postavili mareograf, ki je bil vključen v mrežo mareografov, razporejenih vzdolž vzhodne jadranske obale. Srednja morska gladina v Kopru je bila določena na podlagi srednje morske gladine, določene na mareografu v Bakru za leto 1933. Tako so bile višine reperjev na območju Kopa in v okolici določene v višinskem datumu Bakar 1933, saj naj bi bila srednja morska gladina določena na podlagi mareografskih opazovanj v Bakru, višinski datum nivelmanske mreže visoke I.NVN na območju nekdanje države SFRJ.

Nivelmanska mreža II. NVN, ki je bila izmerjena v 70. letih prejšnjega stoletja, je bila navezana na normalni reper, ki je bil stabiliziran v mestecu Maglaj v Bosni in Hercegovini, njegova višina pa je bila določena na podlagi srednje morske gladine, dobljene iz mareografskih opazovanj na mareografih, ki so postavljeni vzdolž vzhodne jadranske obale. Višine reperjev na območju Slovenije niso bile nikoli določene kot uradne višine v višinskem datumu Maglaj 1971, saj se je Slovenija osamosvojila in je bilo nesmiselno višine preračunati na reper, ki ni stabiliziran v Sloveniji.

Leta 2000 so bile višine reperjev nivelmanskih mrež na območju Slovenije preračunane v višinski datum Trst 1875, na območju Slovenije realiziran z višino reperja FR 1049, ki se nahaja ob železniški progi v bližini Ruš in je bil vključen v avstro-ogrsko nivelmansko izmero. Z izravnavo nivelmanske mreže Slovenije leta 2000 in preračunom vseh preostalih nivelmanskih poligonov so bile višine reperjev na območju Slovenije prvič določene v enotnem višinskem datumu Trst 1875.

Po letu 2000 smo začeli novo izmero nivelmanske mreže 1. reda Slovenije. V okviru projekta Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav, ki ga je s finančno podporo finančnega mehanizma EGP 2009–2014 izvajal Geodetska uprava RS v partnerstvu z norveško geodetsko upravo in islandsko geodetsko upravo, je bil določen tudi višinski datum Koper 2010, ki je prvo enotno slovensko izhodišče za določitev višin na območju Slovenije. Pri določitvi višinskega datuma smo upoštevali niz mareografskih opazovanj od 21. 5. 1997, od 17<sup>h</sup>, do 31. 12. 2015, do 23<sup>h</sup>. Pri izravnavi popravljenih mareografskih opazovanj z X0-filtrom smo upoštevali tudi uteži, saj je bil niz opazovanj od 21. 5. 1997 do 31. 12. 2005 pridobljen na starem mareografu in je slabše kakovosti kot niz opazovanj, pridobljen na novem mareografu. Srednja morska gladina je bila tako izračunana za 10. 9. 2006. Izračunali smo

tudi hitrost spreminjanja morske gladine v Kopru. Nadalje smo upoštevali posedanje mareografa, ki smo ga izločili iz srednje morske gladine, izračunane iz mareografskih opazovanj. Izmera nove nivelmanske mreže Slovenije je potekala v letih od 2000 do 2015. Ker je bila večina nivelmanskih linij izmerjena od 2005. do 2015., smo se odločili, da višinski datum izračunamo za 10. 10. 2010. Pri tem smo upoštevali hitrost spreminjanja morske gladine, popravljeno za hitrost posedanja mareografa v Kopru.

**Zahvala**

Prispevek je nastal na podlagi rezultatov projektov Vzpostavljanje evropskega referenčnega sistema v Sloveniji ter Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav, ki sta bila podprta s finančnim mehanizmom EGP, sredstvi Geodetske uprave Republike Slovenije ter raziskovalnega programa ARRS P2-0227 Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije.

**Literatura in viri:**

Bevis, M., Scherer, W., Merrifield, M. (2002). Technical issues and recommendations related to the installation of continuous GPS stations at tide gauges. *Marine Geodesy*, 25, 87–99. DOI: <https://doi.org/10.1080/014904102753516750>

Blewitt, G., Altamimi, Z., Davis, J., Gross, R., Kuo, C., Lemoine, F., Neilan, R., Plag, H. P., Rothacher, M., Shum, C. K., Sideris, M. G., Schöne, T., Tregoning, P., Zerbini, S. (2010). Geodetic observations and global reference frame contributions to understanding sea-level rise and variability. V J. A. Church, P. L. Woodworth, T. Aarup, W. S. Wilson (ur.), *Understanding sea-level rise and variability*, str. 256–284. London, UK: Wiley-Blackwell. [http://www.mari-odu.org/people/hplag/pubs/2006\\_blewitt\\_etal\\_WCRP\\_Paris.pdf](http://www.mari-odu.org/people/hplag/pubs/2006_blewitt_etal_WCRP_Paris.pdf), pridobljeno 11. 5. 2017.

Bradshaw, E., Woodworth, P.L., Hibbert, A., Bradley, L. J., Pugh, D. T., Fane, C., Bingley, R. M. (2016). A Century of Sea Level Measurements at Newlyn, Southwest England. *Marine Geodesy*, 39 (2), 115–140. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490419.2015.1121175>

Braitenberg, C., Mariani, P., Tunini, L., Grillo, B., Nagy, I. (2011). Vertical crustal motions from differential tide gauge observations and satellite altimetry in southern Italy. *Journal of Geodynamics*, 51 (4), 233–244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.09.003>

Buble, G., Bennett, R. A., Hreinsdóttir, S. (2010). Tide gauge and GPS measurements of crustal motion and sea level rise along the eastern margin of Adria. *Journal of Geophysical Research*, 115, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JB006155>

Cazenave, A., Bonnefond, P., Mercier, F., Dominh, K., Toumazou, V. (2002). Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges. *Global and Planetary Change*, 34, 59–86. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00106-6)

Church, J. A., White, J. W. (2011). Sea-level rise from the late 19<sup>th</sup> to the early 21<sup>st</sup> century. *Surveys in Geophysics*, 32, 585–602. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>

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. 2017.

Deo, M. N., Govind, R., El-Mowafy, A. (2013). The Stability of Tide Gauges in the South Pacific Determined from Multiepoch Geodetic Levelling, 1992 to 2010. *Marine Geodesy*, 36 (3), 261–284. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490419.2013.786003>

Fletcher, R. A. (2000). Existing operational oceanography, *Coastal Engineering*, 41 (1–3), 13–40. Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping – Permanent Committee on Tides and Mean Sea Level (2013). *Australian Tides Manual*, version 4.3. [http://www.icsm.gov.au/tides/Australian\\_Tides\\_Manual\\_V4.3.pdf](http://www.icsm.gov.au/tides/Australian_Tides_Manual_V4.3.pdf), pridobljeno 19. 4. 2017.

Gill, S., Weston, N., Smith, D. (2015). NOAA Guidance Document for Determination of Vertical Land Motion at Water Level Stations Using GPS Technology. NOAA Technical Report NOS 139, Silver Spring, Maryland. [https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/NOS\\_Tech\\_report\\_139.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/NOS_Tech_report_139.pdf), pridobljeno 23. 5. 2017

Han, G., Ma, Z., Chen, N., Yang, J., Chen, N. (2015). Coastal sea level projections with improved accounting for vertical land motion. *Scientific Reports*, 5, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep16085>

Hannah, J. (2010). The Difficulties in Using Tide Gauges to Monitor Long-Term Sea Level Change. [https://www.fig.net/resources/monthly\\_articles/2010/july\\_2010/july\\_2010\\_hannah.pdf](https://www.fig.net/resources/monthly_articles/2010/july_2010/july_2010_hannah.pdf), pridobljeno 10. 12. 2016.

Intergovernmental Oceanographic Commission (1985). *Manual on Sea level measurement and interpretation, Volume I – Basic Procedures*. UNESCO. [https://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/ioc\\_14i.pdf](https://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/ioc_14i.pdf), pridobljeno 18. 2. 2016.

Koler, B. (1994). Višinski datumi nivelmanskih mrež Slovenije. *Geodetski vestnik*, 38 (1), 11–15.

Koler, B., Urbančič, T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B., Sterle, O. (2017). Pregled višinskih datumov Slovenije. V M. Kuhar (ur.), *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2016: Zbornik del (str. 93–98)*, 22. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2017/8%20SZGG\\_2017\\_Koler\\_in\\_drugi\\_povzetek.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2017/8%20SZGG_2017_Koler_in_drugi_povzetek.pdf), pridobljeno 18. 2. 2016.

Meyssignac, B., Cazenave, A. (2012) Sea level: a review of present-day and recent-past changes and variability. *Journal of Geodynamics*, 58, 96–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.03.005>

- Míguez, B. M., Testut, L., Wöppelmann, G. (2012). Performance of modern tide gauges: towards mm-level accuracy. *Scientia Marina*, 76, 221–228. DOI: <https://doi.org/10.3989/scimar.03618.18A>
- Orlić, M., Pasarić, M. (2000). Sea-level changes and crustal movements recorded along the east Adriatic coast. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C – Geophysics & Space Physics*, 23, 4, 351–364.
- Parker, A., Ollier, C. D. (2016). Coastal planning should be based on proven sea level data. *Ocean & Coastal Management*, 124, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.02.005>
- Petit, G., Luzum, B. (2010). IERS Conventions (2010). IERS Tehnično poročilo, 36. IERS Convention Centre: 197 str. <ftp://tai.bipm.org/iers/conv2010/tn36.pdf>.
- Prognozirano plimovanje morja 2017 (2017). Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje. [http://www.arso.gov.si/vode/morje/Plima2017\\_a5.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/morje/Plima2017_a5.pdf), pridobljeno 19. 4. 2017.
- Rezo, M. (2010). Značenje i primjena fizikalnih parametara u modernom pristupu geodetskim radovima državne izmjere. Doktorska disertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- Santamaría-Gómez, A., Bouin, M.-N., Wöppelmann, G. (2012). Improved GPS Data Analysis Strategy for Tide Gauge Benchmark Monitoring. V S. Kenyon et al. (ur.), *Geodesy for Planet Earth* (str. 11–18), International Association of Geodesy Symposia 136. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20338-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20338-1_2)
- Schöne, T., Schön, N., Thaller, D. (2009). IGS Tide Gauge Benchmark Monitoring Pilot Project (TIGA): scientific benefits. *Journal of Geodesy*, 83, 249–261. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0269-y>
- Sterle, O., Kuhar, M., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Urbančič, T., Koler, B. (2017). Ocena vertikalne stabilnosti mareografske postaje Koper. *Geodetski vestnik*, 61 (4), 527–540. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2017.04.527-540>
- Strojan, I. (2011). Višina in temperatura morja v letu 2011. <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Visina%20in%20temperatura%20morja%20v%20letu%202011.pdf>, pridobljeno 10. 12. 2016.
- Tervo, M., Poutanen, M., Koivula, H. (2007). Tide gauge monitoring using GPS. V P. Tregoning (ur.), C. Rios (ur.). *Dynamic Planet—Monitoring and Understanding a Dynamic Planet with Geodetic and Oceanographic Tools*. IAG Symposium—Volume 130 (str. 75–79). Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-49350-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-540-49350-1_13)
- Vilibić, I., Orlić, M., Čupić, S., Domijan, N., Leder, N., Mihanović, H., Pasarić, M., Pasarić, Z., Srdelić, M., Strinić, G. (2005). A new approach to sea level observations in Croatia. *Geofizika*, 22, 21–57.
- Woodworth, P. L., Rickards, L. J., Pérez, B. (2009). A survey of European sea level infrastructure. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9 (3), 927–934. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-927-2009>
- Wöppelmann, G., Zerbini, S., Marcos, M. (2006). Tide gauges and Geodesy: a secular synergy illustrated by three present-day case studies. *C. R. Geoscience*, 338, 980–991. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.07.006>



Sterle O., Koler B. (2019). Določitev novega višinskega datuma Slovenije. *Geodetski vestnik*, 63 (1), 13–26.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.13-26>

**asist. dr. Oskar Sterle, univ. dipl. inž. geod.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
e-naslov: oskar.sterle@fgg.uni-lj.si

**doc. dr. Božo Koler, univ. dipl. inž. geod.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
e-naslov: bozo.koler@fgg.uni-lj.si