

# NOV SLOVENSKI VIŠINSKI SISTEM SVS2010

# NEW SLOVENIAN HEIGHT SYSTEM SVS2010

*Božo Koler, Bojan Stopar, Oskar Sterle, Tilen Urbančič, Klemen Medved*

UDK: 528.38(497.4)  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.02  
Prispelo: 28. 1. 2019  
Sprejeto: 1.3. 2019

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.27-40  
REVIEW ARTICLE  
Received: 28. 1. 2019  
Accepted: 1.3. 2019

## IZVLEČEK

Decembra 2018 je bil uveden nov državni višinski sistem z imenom Slovenski višinski sistem 2010 in oznako SVS2010. Temelji na novi nivelmanski mreži 1. reda, ki je bila večinoma izmerjena v zadnjem desetletju. Za izračun geopotencialnih kot so se hkrati z nivelmanskimi meritvami na reperjih nivelmanske mreže 1. reda izvajale tudi gravimetrične meritve. Na podlagi geopotencialnih kot so bile izračunane normalne višine, ki so sedaj uradne višine v Sloveniji. Uveden je tudi višinski datum, ki je določen na podlagi 18,6-letnih mareografskih opazovanj na mareografski postaji v Kopru s srednjo epoko 10. 10. 2010. Določena je nova višinska referenčna ploskev (model kvazi-geoida) z oznako SLO\_VRP2016/Koper. V novi višinski datum so preračunani vsi nivelmanski poligoni nižjih redov, tako imajo vsi reperji, vodeni v zbirki podatkov geodetskih točk, na novo določene višine v višinskem datumu Koper. Razlika v višini med starim in novim višinskim sistemom znaša od 1,4 do 30,8 centimetra.

## ABSTRACT

In December 2018, a new national height system called the 'Slovenian Height System 2010' was introduced (denoted as 'SVS2010'). It is based on a new levelling network of the first order, which has been measured over the previous decade. For geopotential number computation with simultaneous levelling measurements, gravimetric measurements were carried out on the benchmarks of the first order levelling network. Based on geopotential numbers, normal heights were computed, as they were chosen as the new official type of heights. A new height datum has also been introduced, determined from 18.6 years of sea level observations on the tide gauge station in Koper, Slovenia with the mean epoch 10. 10. 2010. The new height reference surface (quasi-geoid), named 'SLO\_VRP2016/Koper' was determined. All levelling lines of lower orders are recalculated in the new vertical datum, so all benchmarks kept in the dataset of geodetic points have a newly determined height. The differences in heights between the old and the new height systems range from 1.4 cm to 30.8 cm.

## KLJUČNE BESEDE

državni višinski sistem, nova nivelmanska mreža, višinski datum, višinska referenčna ploskev, model kvazi-geoida, gravimetrične meritve

## KEY WORDS

national height system, new levelling network, height datum, height reference surface, quasi-geoid, gravimetric measurements

## 1 UVOD

Konec leta 2018 je vlada Republike Slovenije sprejela Uredbo o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema (Uredba, 2018). Z njo se v Sloveniji uradno uvaja nov državni višinski sistem z imenom Slovenski višinski sistem 2010 in oznako SVS2010. Nadomešča dosedanji Slovenski višinski sistem 2000 z oznako SVS2000, ki ga je določal Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu (ZDGRS, 2014). Uvedba novega višinskega sistema je dolgotrajen postopek, ki zahteva izvedbo veliko strokovnih nalog in aktivnosti ter se ne zgodi ravno pogosto. Z uvedbo novega višinskega sistema bo omogočena tudi kakovostna podpora uporabi sodobnih tehnologij za določanje položaja in višin točk.

## 2 RAZLOGI ZA UVEDBO NOVEGA VIŠINSKEGA SISTEMA

V Sloveniji se je do nedavnega uporabljal višinski sistem z oznako SVS2000, ki pa ima zaradi zgodovinskih in tehničnih razlogov kar nekaj pomanjkljivosti (Koler, Medved in Kuhar, 2007). Na kratko jih povzemamo v nadaljevanju:

- Temeljlj je na višinskem sistemu, ki je bil vzpostavljen v času avstro-ogrske monarhije (konec 19. stoletja). Višine so bile določene v sistemu normalnih ortometričnih višin. Sistem normalnih ortometričnih višin danes velja za zastarel višinski sistem, ki so ga uporabljali v preteklosti, ko so bile meritve težnega pospeška zapletene in dolgotrajne. Za izračun popravkov merjenih višinskih razlik se namesto izmerjenega težnega pospeška uporabljajo izračunane vrednosti oziroma tako imenovani normalni težni pospešek. Normalne ortometrične višine se nanašajo na tako imenovano normalno ničelno nivojsko ploskev (Leismann, Klees in Beckers, 1992).
- Izhodišče starega državnega višinskega sistema je določeno z višinskim datumom Trst. Višinski datum predstavlja ničelna nivojska ploskev oziroma srednja morska gladina, ki je bila določena leta 1875 na podlagi enoletnih mareografskih opazovanj na pomolu Sartorio v Trstu. Iz teorije je znano, da morajo meritve višine morja za določitev srednje morske gladine potekati vsaj 18,6 leta (Rezo, 2010; PCTMSL, 2013). S problemom določitve višinskega datuma avstro-ogrske nivelmanske mreže so se ukvarjali različni strokovnjaki. V literaturi lahko zasledimo različne vrednosti razlik med višinsko ploskvijo, ki je bila določena iz večletnega niza mareografskih opazovanj, s primerjalno ploskvijo, ki je bila prevzeta za višinski datum avstro-ogrske nivelmanske mreže. Razlike znašajo od 8,93 centimetra (Kasumović, 1950) do 18,5 centimetra (Bilajbegović in Marchesini, 1991).
- Realizacijo višinskega sistema je predstavljala določitev višin v osnovni državni nivelmanski mreži. Vanjo so bili vključeni nivelmanski poligoni izmere I. NVN (Nivelman Visoke Natančnosti), ki je potekala po drugi svetovni vojni, izmere II. NVN, ki je potekala v začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja, in nivelmanski poligoni 1. reda, ki so bili izmerjeni po letu 1989 (Koler in Breznikar, 2004). Poleg časovne raznovrstnosti podatkov o nivelmanskih izmerah se moramo zavedati, da je na območju Slovenije prisotno tudi geodinamično dogajanje, ki se kaže v relativno velikih letnih vrednostih vertikalnih premikov (Koler, 2006; Rižnar, Koler in Bavec, 2007). Glede na dejstvo, da so bili podlaga nivelmanske mreže Slovenije nivelmanski poligoni, izmerjeni celo pred več kot 70 leti, je jasno, da obstajajo razlike med dejanskimi višinami reperjev na terenu in podatki, ki so bili vodeni v zbirki podatkov geodetskih točk.
- Višinska referenčna ploskev oziroma model geoida (SLO\_AMG2000/Trst), ki je bil izračunan

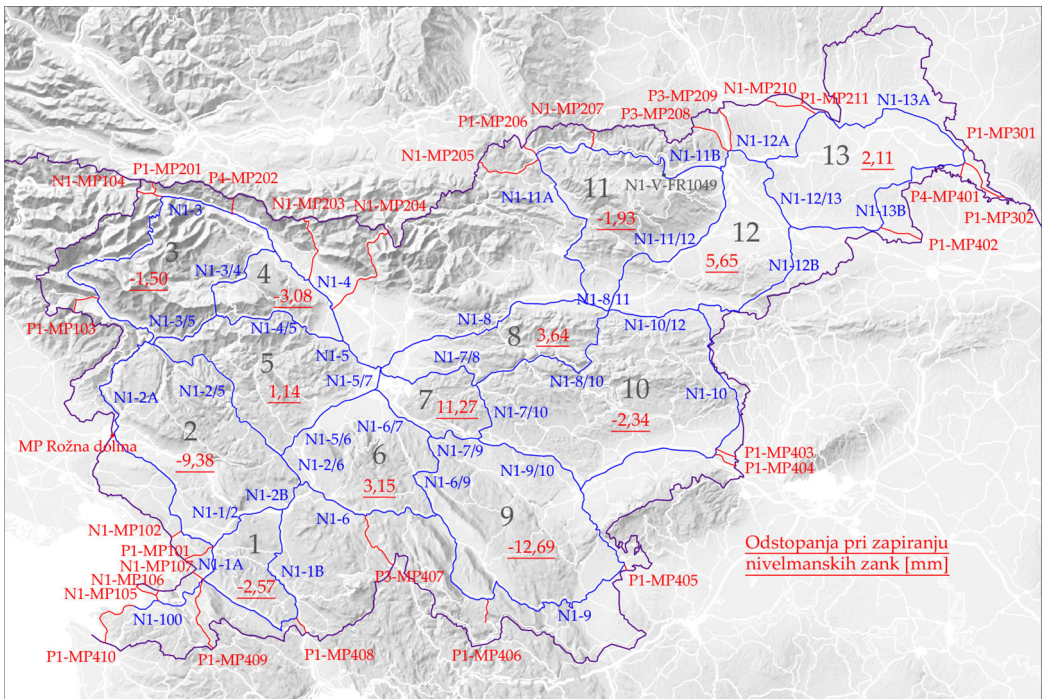
leta 2000, temelji na gravimetričnih meritvah iz 70. let prejšnjega stoletja. Vpet je bil na točke, katerih višine so bile večinoma določene s trigonometričnim višinomerstvom, pred preračunom nivelmanske mreže leta 2000 (Kuhar, 2017), ko so bili vsi reperji na območju Slovenije preračunani v višinski datum Trst. Tako tudi ni znano, v katerem višinskem datumu so bile te točke določene, saj so bile pred preračunom nivelmanskih mrež višine reperjev na Obali določene v višinskem datumu Bakar, ostali reperji na ozemlju Slovenije pa v »višinskem datumu Trst« (Koler et al., 2017). Posledica navedenega je, da z uporabo te višinske referenčne ploskve ni mogoče kakovostno izvajati GNSS-višinomerstva na ozemlju Slovenije (Kuhar et al., 2011). Vse to povzroča težave v vsakdanji geodetski praksi, saj prihaja do odstopanj (»stopnic«) med posameznimi višinami, določenimi na različnih delih Slovenije.

Razlogov za uvedbo novega, sodobnega državnega višinskega sistema je torej kar nekaj. Sprejeta je bila odločitev, da bomo kakovosten višinski sistem vzpostavili na novi nivelmanski in gravimetrični izmeri, zato je bilo nujno izvesti novo izmero osnovne nivelmanske mreže. Ker samo geometrično določene višinske razlike ne omogočajo določitve višin v težnem polju Zemlje, je bilo treba z gravimetričnimi meritvami na reperjih pridobiti vrednosti težnega pospeška. Nivelmanske in gravimetrične meritve so nam omogočile izračun geopotencialnih kot, ki jih potrebujemo za izračun katerekoli vrste tako imenovanih fizikalnih višin (Koler, 1998).

Evropske države uporabljajo višine točk, določene v treh različnih višinskih sistemih. Belgija, Danska, Švica in Italija uporabljajo ortometrične višine, Avstrija in države na ozemlju nekdanje SFRJ uporabljajo normalne ortometrične višine. V združeni evropski nivelmanski mreži (UELN95/98 – United European Levelling Network) so izravnali normalne višine, ki jih uporabljajo tudi v Franciji, Nemčiji, skandinavskih in večini vzhodnoevropskih držav (BKG, 2019). S SVS2010 se v Sloveniji uvajajo normalne višine. To je fizikalno definiran sistem višin, ki ne sloni na nikakršni predpostavki o razporeditvi gostote mas v Zemljini notranjosti. Normalne višine pridobimo tako, da vrednost geopotencialne kote delimo s srednjo vrednostjo normalnega težnega pospeška vzdolž normalne težiščnice med normalnim elipsoidom in teluroidom (Hofmann-Wellenhof in Moritz, 2005; Koler, Medved in Kuhar, 2007). Hkrati je bilo treba določiti novo, kakovostnejšo višinsko referenčno ploskev, ki je v tem primeru kvazi-geoid.

### 3 NOVO OZNAČEVANJE NIVELMANSKIH POLIGONOV IN REPERJEV

Nivelmanske mreže se delijo na višji in nižji red. V višji red so razvrščeni vsi na novo izmerjeni nivelmanski poligoni, na katerih je bila izvedena tudi gravimetrična izmera in so normalne višine, izračunane na podlagi izravnave razlik geopotencialnih kot. V nižji red se razvrstijo vsi stari nivelmanski poligoni nižjega reda, izravnani v višinskem datumu Koper. Pri izračunu višin v novem višinskem sistemu so reperji označeni po enotnem sistemu. Zaradi velikega števila reperjev, ki so bili zajeti v ponovno izmero nivelmanske mreže Slovenije (slika 1), in zapletov, ki bi jih lahko povzročilo ponovno označevanje večine reperjev, so novo številko dobili le na novo stabilizirani reperji in reperji, ki so se podvajali na posameznem nivelmanskem poligonu.



Slika 1: Nova nivelmanska mreža 1. reda z oznako nivelmanskih poligonov in zank ter odstopanji pri zapiranju zank.

### 3.1 Višji redovi

Nivelmanska mreža 1. reda vključuje na novo nivelirane nivelmanske poligone 1. reda, slepe nivelmanske poligone za navezavo na nivelmanske mreže sosednjih držav in nekatere nivelmanske poligone za navezavo različnih geodetskih točk višjih redov na nivelmansko mrežo (na primer točke kombinirane geodetske mreže 0. reda, točke gravimetrične mreže).

Da se izognemo podvajanju števil, je nova oznaka reperja sestavljena iz treh delov, na primer N1-6/7-22. Tako je oznaka reperja sestavljena iz črke N (normalne višine oziroma nove višine) in številke reda (1), ki mu pripada. Sledi oznaka poligona, ki vključuje številke nivelmanskih zank, v katerih leži. Zunanji nivelmanski poligoni, ki se nahajajo le v eni zanki, dobijo oznako, ki je sestavljena iz številke zanke in črke, če je takšnih nivelmanskih poligonov več (na primer N1-1A-... in N1-1B-..., slika 1). Vozliščni reperji, ki ležijo na stičišču (vozlišču) nivelmanskih zank, imajo za oznako črko V (na primer N1-V-...). Slepi nivelmanski poligoni za navezavo na nivelmanske mreže sosednjih držav so označeni z MP (mejni prehod) in tekočo številko poligona (na primer N1-MP104-... (Rateče), slika 1). Tretji del oznake reperja pa predstavlja njegova številka, kot se vodi v zbirki podatkov geodetskih točk na Geodetski upravi RS. Ta je ostala enaka, spremenila se je le izjemoma, če je bila podvojena (Stopar et al., 2016).

### 3.2 Nižji redovi

Sistem označevanja je pri starih nivelmanskih poligonih, poligonih NVN, poligonih 1., 2., 3., 4. reda in mestnih nivelmanskih mrež isti kot pri mreži 1. reda. Oznaka poligona se začne s črko P, ki nakazuje,

da je reper oziroma poligon izravnana oziroma preračunan na podlagi starih izmer in torej ni bil vključen v novo izmero nivelmanske mreže (na primer P3-...). V posameznih primerih se pri oznaki nivelmanskega poligona pojavi tudi oznaka PP (na primer PP4-... ali PP5-...), kar pomeni, da so odstopanja med merjenimi višinskimi razlikami in danimi višinskimi razlikami večja od dovoljenega odstopanja za nivelmanske poligone 4. reda ali mestne nivelmanske mreže (RGU, 1981). To so torej približne vrednosti višin, ki jih je treba temu ustrezno tudi obravnavati. Nekateri nivelmanski poligoni so se po potrebi tudi na novo označili (Stopar et al., 2016).

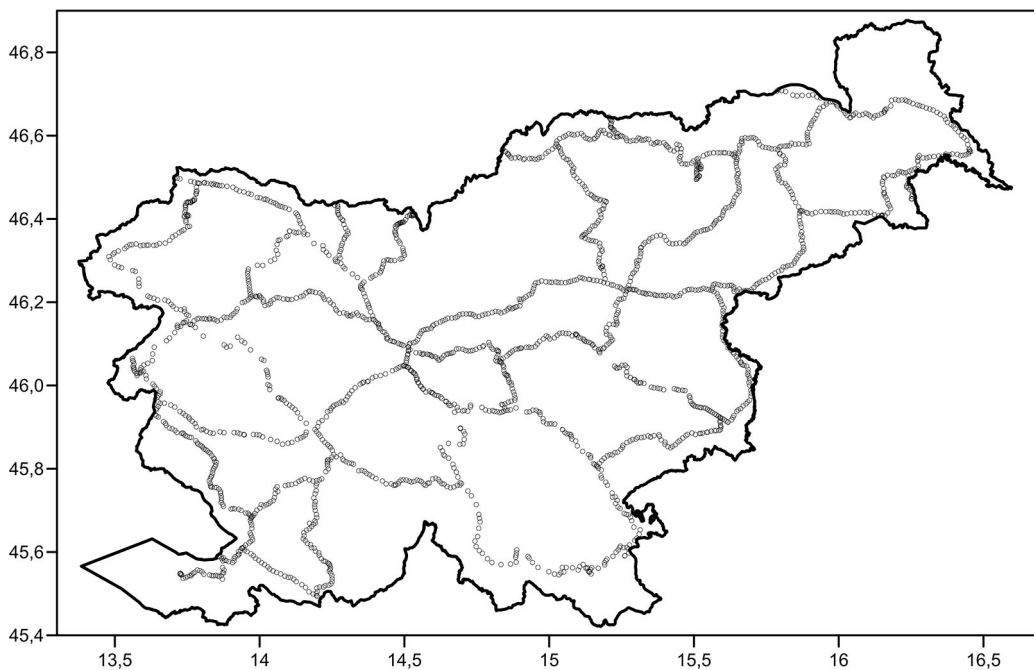
#### 4 IZMERA NOVE NIVELMANSE MREŽE 1. REDA

Že pri izračunu nivelmanske mreže leta 2000, ki je bila temelj slovenskega državnega višinskega sistema SVS2000 v višinskem datumu Trst, je bilo ugotovljeno, da je kakovost obstoječih nivelmanskih izmer močno pogojena s starostjo in natančnostjo izmer (Koler in Breznikar, 2004). Celovito se da težave nepovezanosti (tako imenovanih stopnic) med posameznimi izmerami rešiti samo z novo izmero nivelmanske mreže 1. reda, ki mora biti izvedena v najkrajšem mogočem času, kar je seveda pogojeno z razpoložljivimi finančnimi in kadrovskimi viri. Geodetska uprava RS je zato od leta 2006 naprej sistematično izvajala sanacijo nove nivelmanske mreže 1. reda (Koler, Medved in Kuhar, 2007). Izmera nove nivelmanske mreže 1. reda je bila dokončana leta 2015. Večino meritev so izvedle terenske ekipe Geodetske uprave RS, v zaključnem obdobju pa so sodelovali tudi zunanji izvajalci v okviru projekta Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav, podprojekta Geodetski referenčni sistem, ki se je izvajal med letoma 2013 in 2015 s podporo finančnega mehanizma Evropskega gospodarskega prostora (Projekt EGP, 2013; Režek, 2017).

##### 4.1 Gravimetrična izmera na reperjih

Z geometričnim nivelmanom določamo geometrične višinske razlike med višinskimi točkami oziroma reperji. Ker izvajamo nivelmansko izmero v težnostnem polju Zemlje, je izmerjena višinska razlika odvisna od poti niveliranja. Geometrična višinska razlika med dvema točkama je torej odvisna od izbrane poti niveliranja. Praviloma so razlike večje na hribovitih in goratih območjih. Reperjem lahko določimo višine v različnih sistemih višin, ki imajo za izhodišče različne referenčne ploskve (geoid, kvazi-geoid) in so določene na različne načine. Osnova za vse sodobne sisteme višin so geopotencialne višine. Razlike geopotencialnih kot določimo s podatki geometričnega nivelmana (z nivelmanom določenih višinskih razlik) in uporabo izmerjenih vrednosti težnega pospeška na reperjih vzdolž nivelmana (Hofmann-Welnhof in Moritz, 2005; Koler, Medved in Kuhar, 2007).

Za pridobitev podatka o težnem pospešku smo v novi slovenski nivelmanski mreži 1. reda na 85,1 % reperjev izvedli gravimetrično izmero (slika 2). Vse meritve težnega pospeška se navezujejo na osnovno gravimetrično mrežo Slovenije (Medved et al., 2009; Koler, Medved in Kuhar, 2012), ki je bila vzpostavljena leta 2006 in določa gravimetrični del vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema (ZDGRS, 2014). Na sliki 2 so prikazani vsi reperji, na katerih so bile izvedene gravimetrične meritve. Te so se izvajale z relativnima gravimetroma Scintrex CG-3M in CG-5M. Ocena natančnosti izvedenih meritev je  $\pm 50 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  ( $\pm 50 \text{ } \mu\text{Galov}$ ).



Slika 2: Reperji 1. reda, vključeni v gravimetrično izmero.

## 4.2 Analiza kakovosti nove nivelmanske mreže 1. reda

Na sliki 1 je prikazan končni potek nove nivelmanske mreže 1. reda. Sestavljena je iz 13 nivelmanskih zank, ki so sklenjene znotraj ozemlja Slovenije. Skupna dolžina nivelmanskih poligonov je okoli 1960 km, sestavlja jo 2036 reperjev, dodatno pa so v mrežo vključene povezave s sosednjimi državami. Minimalna dolžina nivelmanske zanke je 110,01 km (zanka 1) in maksimalna dolžina 269,83 km (zanka 10). Povprečna dolžina nivelmanske zanke je 174,83 km. Odstopanja normalnih višinskih razlik pri zapiranju nivelmanskih zank znašajo od  $-12,69$  mm (zanka 9) do  $+11,28$  mm (zanka 7). Povprečno odstopanje pri zapiranju nivelmanskih zank znaša  $-0,50$  mm oziroma  $+4,65$  mm, če upoštevamo absolutne vrednosti odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank. Na podlagi zapiranja nivelmanskih zank v nivelmanski mreži 1. reda je bila izračunan a priori standardni odklon meritev ( $\sigma_z$ ), ki znaša 0,48 mm (Stopar et al., 2016).

Če primerjamo odstopanja z dovoljenim odstopanjem, ugotovimo, da ta dosegajo od 2,9 % (zanka 5) do 39,7 % (zanka 7) oziroma povprečno 13,0 % dovoljenega odstopanja za nivelman visoke natančnosti (RGU, 1981). Na podlagi izvedenih analiz lahko ugotovimo, da je bila izmera nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije izvedena kakovostno in da so rezultati odlični.

## 5 NOV SLOVENSKI VIŠINSKI DATUM – VIŠINSKI DATUM KOPER

V preteklosti je bil višinski datum nivelmanskih mrež na območju Slovenije določen na podlagi opazovanj morske gladine na različnih mareografih: Trst, Bakar, Koper, Rovinj, Split in Dubrovnik

(Koler et al., 2017). Pred uvedbo novega državnega višinskega sistema je bila sprejeta odločitev, da se bo novi državni višinski datum nanašal na meritve višine morja na mareografski postaji v Kopru (v nadaljevanju: MP Koper) (Stopar et al., 2016). Kot že omenjeno, višinski datum opredeljuje srednjo morsko gladino, ki je določena na podlagi neprekinjenih mareografskih meritev (meritev višine morja) v trajanju najmanj 18,6 leta. Srednja morska gladina za določitev novega slovenskega višinskega datuma – višinskega datuma Koper – je bila izračunana iz dveh nizov podatkov. Prvi niz podatkov mareografskih meritev se nanaša na obdobje od 21. 5. 1997 do 31. 12. 2005 in je bil pridobljen iz meritev višine morja na stari mareografski postaji. Drugi niz meritev se nanaša na obdobje od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2015 in je bil pridobljen iz meritev na novi MP Koper. Srednji časovni datum (epoha) obeh nizov meritev je 10. 9. 2006, ki pa ne sovпада s srednjo epoho nivelmanske izmere. Ker je bila večina nivelmanskih poligonov (95,9 %) izmerjenih med letoma 2005 in 2015, je smiselno, da kot srednjo epoho višinskega datuma Slovenije izberemo leto 2010, ki sovпада s srednjo epoho nivelmanskih meritev. Srednja morska gladina je tako določena za 10. 10. 2010. V izračunu višinskega datuma Koper smo poleg mareografskih meritev upoštevali tudi rezultate analize stabilnosti MP Koper (Sterle et al., 2017) in hitrosti spreminjanja morske gladine. Novi višinski datum Koper se od starega višinskega datuma Trst razlikuje za 15,5 centimetra, in sicer je na novo določena srednja gladina v Kopru višja, kar pomeni, da so višine na območju Slovenije v SVS2010 manjše kot v SVS2000.

## 6 IZRAČUN NORMALNIH VIŠIN REPERJEV

Izračun višin reperjev v SVS2010 v višinskem datumu Koper je bil izveden v dveh korakih. V prvem je bila izravnana nivelmanska mreža 1. reda z navezavami na sosednje države in nekaterimi drugimi slepimi poligoni, v drugem koraku pa se je izvedel preračun starih nivelmanskih poligonov nižjih redov v višinski datum Koper.

### 6.1 Izravnava nivelmanske mreže 1. reda

V nivelmanski mreži 1. reda smo izravnali razlike geopotencialnih kot. Za normalni reper mreže je izbran avstro-ogrski fundamentalni reper z oznako N1-V-FR1049 (slika 3), ki je stabiliziran v bližini Ruš pod Pohorjem (slika 1) in je predstavljal normalni reper že v slovenskem višinskem sistemu SVS2000 z višinskim datumom Trst. Geopotencialna kota normalnega reperja N1-V-FR1049 je bila določena z izravnavo nivelmanske mreže 1. reda z danim reperjem mareografa MP Koper z oznako N1-MPKP-9000. Geopotencialna kota reperja mareografa N1-MPKP-9000 pa je bila določena z izravnavo nivelmanske mreže MP Koper, z navezavo na srednjo morsko gladino, ki določa višinski datum Koper. Sledila je ponovna izravnava razlik geopotencialnih kot v nivelmanski mreži 1. reda z danim normalnim reperjem N1-V-FR1049. Rezultat so izravnane geopotencialne kote vseh reperjev nivelmanske mreže 1. reda s pripadajočimi standardnimi odkloni. Vse izravnave so se izvajale s programom VimWin (Ambrožič in Turk, 2016). Po izravnavi smo geopotencialne kote reperjev nivelmanske mreže 1. reda uporabili za izračun normalnih višin reperjev.



Slika 3: Normalni reper nivelmanske mreže 1. reda, N1-V-FR1049.

Referenčni standardni odklon a posteriori (po izravnavi nivelmanske mreže 1. reda) in po preračunu geopotencialnih kot v normalne višine ( $\sigma_0$ ) znaša 0,50 mm. Standardni odkloni normalnih višin reperjev znašajo od 0,06 mm do 6,08 mm, srednji standardni odklon normalnih višin reperjev v nivelmanski mreži 1. reda pa znaša 4,24 mm (Stopar et al., 2016). Po naši oceni so dosežene natančnosti višin zelo dobre.

## 6.2 Izravnava nivelmanskih poligonov nižjih redov v višinskem datumu Koper

Ker se višinska datuma Koper in Trst razlikujeta (glej poglavje 5), je bilo treba tudi nivelmanske poligone nižjih redov izravnati v višinskem datumu Koper. Tako so bile višine vseh reperjev na ozemlju Slovenije, ki so vodeni v zbirki podatkov geodetskih točk na Geodetski upravi RS (PREG, 2018), določene v novem višinskem datumu Koper. Po izravnavi nivelmanske mreže 1. reda se je lahko izvedla izravnava delov nivelmanskih poligonov NVN in 1. reda, ki niso bili vključeni v novo izmero, in izravnava nivelmanskih poligonov nižjih redov. Izravnavo lahko izvedemo, če imajo reperji za navezavo predhodno določeno višino v višinskem datumu Koper. Za izravnavo nivelmanskih poligonov nižjih redov smo uporabili podatke iz starih nivelmanskih izmer, ki so bili uporabljeni že pri izravnavi nivelmanskih mrež Slovenije leta 2000 v višinskem datumu Trst (Koler in Vardjan, 2003).

Pri izravnavi smo nivelmanske poligone razvrstili v ustrezne rede glede na odstopanje med merjeno višinsko razliko v poligonu in dano višinsko razliko ter dovoljeno odstopanje, ki je predpisano v Pravilniku o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981). Če je razlika med merjeno in dano višinsko razliko manjša od dovoljenega odstopanja za red nivelmanskega poligona, v katerega je razvrščen, potem nivelmanski poligon ohrani isti red ter tudi svojo številko. Če pa je razlika



večja, se poligon razvrsti v ustrezen nižji red (preglednica 1) in se mu dodeli nova številka. Če reperji za navezavo niso bili vključeni v novo izmero nivelmanske mreže 1. reda Slovenije, ker so bili uničeni, so se nivelmanski poligoni navezali na prvi ohranjeni reper, ki je bil zajet v novo izmero na podlagi merjenih višinskih razlik iz predhodne izmere.

Preglednica 1: Analiza izravnav nivelmanskih poligonov nižjih redov

Red nivel. polig.	1. red		2. red		3. red		4. red		Mestne mreže		Odstopanje večje od dovoljenega		Skupaj št.
	Št.	%	Št.	%	Št.	%	Št.	%	Št.	%	Št.	%	
NVN	24	32,4	6	8,1	33	44,6	11	14,9	/	/	0	0,0	74
1. red	50	33,8	13	8,8	62	41,9	22	14,9	/	/	1	0,7	148
2. red	/	/	26	32,9	20	25,3	29	36,7	/	/	4	5,1	79
3. red	/	/	/	/	51	57,3	34	38,2	/	/	4	4,5	89
4. red	/	/	/	/	/	/	174	75,3	/	/	57	24,7	231
Mestne	/	/	/	/	/	/	/	/	80	89,9	9	10,1	89

V izravnavo je bilo vključenih 710 nivelmanskih poligonov. 75 (10,6 %) nivelmanskih poligonov presega dovoljeno odstopanje za 4. red ali mestne nivelmanske mreže (Koler, 2019). Na podlagi preračuna lahko tudi ugotovimo, da so višine reperjev nivelmanskih poligonov nižjih redov slabe kakovosti. Ker so bile izmere izvedene pred 50 in več leti (razen NVN in posameznih odsekov nivelmanskih poligonov 1. reda), takšen rezultat tudi ni presenetljiv.

## 7 ZBIRKA PODATKOV GEODETSKIH TOČK

Vse nove višine reperjev v SVS2010 v višinskem datumu Koper so registriranim uporabnikom dostopne prek spletne aplikacije Geodetske uprave RS (PREG, 2018). Vsi reperji imajo še vedno shranjene tudi višine v SVS2000 v višinskem datumu Trst, ki se vodijo kot arhivski podatek. V zbirki se trenutno vodi 12.961 reperjev, od katerih pa je veliko uničenih. Številni reperji imajo nepopolne topografije, zato se na Geodetski upravi RS izvaja tudi sistematičen pregled reperjev nižjih redov na terenu. Na vzorcu 1940 do sedaj pregledanih reperjev smo ugotovili, da je stanje relativno slabo, saj je uničena skoraj tretjina reperjev (29,0 %). Prav tako so evidentirane napačne horizontalne koordinate reperjev (17,7 %), ki se ob pregledu določijo na novo. Posodobijo in dopolnijo se tudi skice na topografijah (42,8 %).

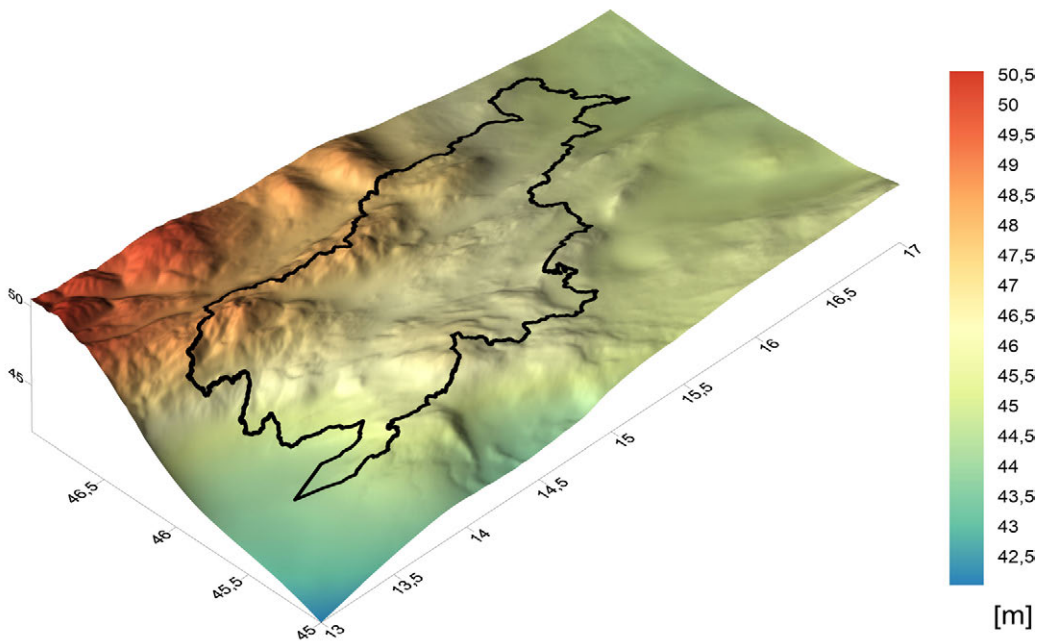
## 8 DOLOČITEV NOVE VIŠINSKE REFERENČNE PLOSKVE

Nova višinska referenčna ploskev za Slovenijo je model kvazi-geoida Slovenije, ki je bil izračunan v sodelovanju z norveško geodetsko upravo v okviru projekta Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav (Projekt EGP, 2013). Gre za gravimetrični model kvazi-geoida, ki je bil izračunan z enačbami Stokes/Molodensky, s tehniko FFT (angl. *fast fourier transform*) in na podlagi globalnega geopotencialnega modela EGM08 (Omang, 2016). Pri izračunu so bili uporabljeni vsi obstoječi gravimetrični podatki: stari gravimetrični podatki nekdanje SFRJ za območje Slovenije in dela Hrvaške, gravimetrični podatki obmejnega območja v Italiji, Avstriji in na Madžarskem, kot tudi podatki nove gravimetrične izmere za območje osrednje Slovenije (Medved, Kuhar in Koler, 2019), gravimetrični podatki za reperje nivelmanske mreže 1. reda in podatki osnovne gravimetrične mreže.

Za določitev višinske referenčne ploskve v državnem višinskem sistemu Slovenije (SVS2010) je bil gravimetrični model kvazi-geoida vpet na 66 kakovostno določenih tako imenovanih GNSS/nivelman točk. Te so enakomerno razporejene po celotnem ozemlju Slovenije. Na vseh točkah za vpetje so elipsoidne višine določene na podlagi vsaj 36-urnih stacionarnih GNSS-meritev, normalne višine pa z nivelmansko izmero z navezavo na nivelmansko mrežo 1. reda. Tako določena višinska referenčna ploskev je izhodišče za določitev normalnih (nadmorskih) višin na območju Slovenije. Med drugim omogoča določitev nadmorskih višin s tako imenovanim GNSS-višinomerstvom.

Z uvedbo normalnih višin ter določitvijo modela kvazi-geoida je treba prilagoditi tudi terminologijo. Razliko med elipsoidno in ortometrično višino točke imenujemo geoidna višina ali geoidna ondulacija ( $N$ ), ki predstavlja oddaljenost med ploskvama elipsoida in geoida. Ko je v uporabi sistem normalnih višin, je oddaljenost med ploskvama elipsoida in kvazi-geoida tako imenovana anomalija višine ( $\zeta$ ), za katero pa se v zadnjem času vse bolj uveljavlja termin kvazi-geoidna višina (Hofmann-Wellenhof in Moritz, 2005; Kuhar et al., 2011).

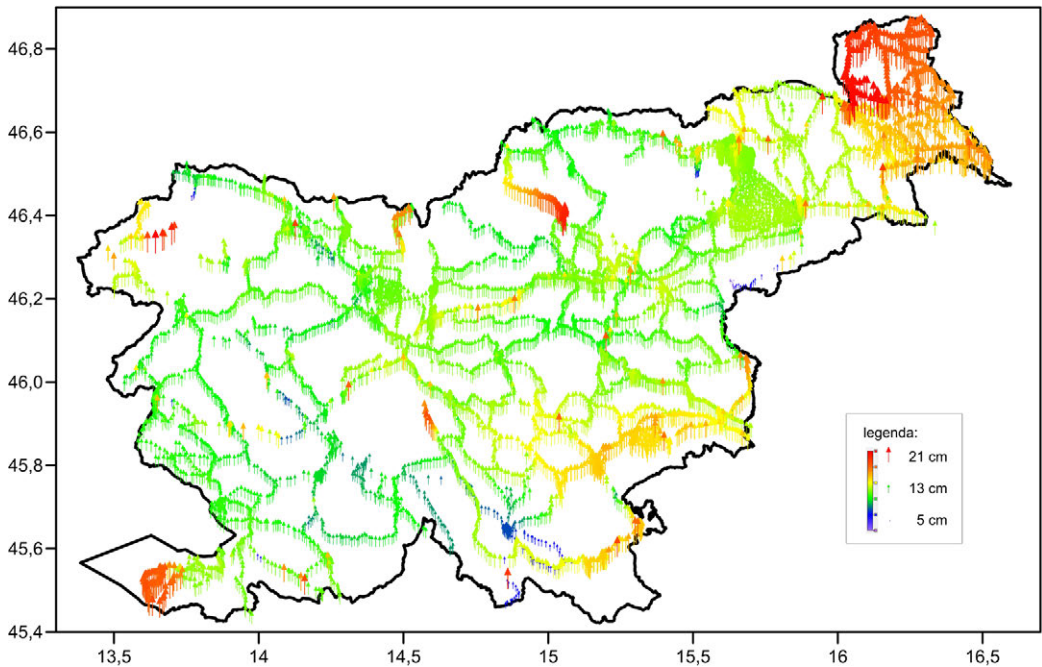
Oznaka nove **SLO**venske **Višinske Referenčne Ploskve**, ki je bila določena **2016** v višinskem datumu **Koper**, je SLO\_VRP2016/Koper. Podatki nove slovenske višinske referenčne ploskve so na voljo v obliki celične mreže za območje od  $45^\circ$  do  $47^\circ$  severne geografske širine s korakom  $0,0083333^\circ$  ( $30''$ ) in od  $13^\circ$  do  $17^\circ$  vzhodne geografske dolžine s korakom  $0,012500^\circ$  ( $45''$ ) oziroma velikostjo celice približno  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ . Najmanjša kvazi-geoidna višina na območju Slovenije znaša  $42,157 \text{ m}$ , največja  $50,608 \text{ m}$ , povprečna vrednost je  $46,162 \text{ m}$  (Omang, 2016). Na sliki 4 je prikazana nova višinska referenčna ploskev SLO\_VRP2016/Koper.



Slika 4: Nova višinska referenčna ploskev, SLO\_VRP2016/Koper.

## 9 RAZLIKE VIŠIN REPERJEV V SVS2000 IN SVS2010

Razlika vrednosti višin reperjev med SVS2000 in SVS2010 na ozemlju Slovenije ni konstantna. Za prehod med njima tudi ni mogoča enostavna transformacija, saj so razlike višin med obema sistemoma odvisne od več dejavnikov. Poleg samega zamika višinskih datumov Trst in Koper so razlike višin odvisne od lokacije, nadmorske višine, načina izračuna normalnih in normalnih ortometričnih višin, vertikalnih premikov na posameznih območjih, starosti posameznih nivelmanskih izmer in tudi napak v predhodnih izmerah in navezavah posameznih nivelmanskih poligonov nižjih redov. Ob zavedanju, da se je nivelmanska mreža Slovenije v SVS2000 merila/dopolnjevala več kot 70 let, to niti ni presenetljivo. Na sliki 5 so prikazane razlike višin med starim (SVS2000) in novim višinskim sistemom (SVS2010).



Slika 5: Razlike višin reperjev SVS2000 (datum Trst) – SVS2010 (datum Koper).

S slike 5 je razvidno, da so vse razlike pozitivne, torej so višine reperjev v višinskem datumu Koper manjše kot višine v višinskem datumu Trst. Razlike vrednosti višin reperjev v starem in novem višinskem sistemu so glede na geografsko lego neenakomerno razporejene, predvsem pa so vezane na posamezne nivelmanske poligone. Izračunane razlike nakazujejo, da stari višinski sistem ni bil homogene kakovosti ter da so se med posameznimi poligoni pojavile »stopnice«. Na podlagi analize, opravljene na Geodetski upravi RS, znašajo razlike med višinami reperjev (12750) v obeh sistemih od 1,4 cm do 30,8 cm. Povprečna razlika višin vseh reperjev, ki so vodeni v zbirki podatkov geodetskih točk, je 13,2 cm, mediana pa 13,1 cm. Če primerjamo samo višine reperjev (1558), ki so vključeni v nivelmanske poligone 1. reda, znaša razlika od 5,3 cm do 21,0 cm in povprečna razlika 12,8 cm. Najmanjše razlike višin se pojavljajo v okolici Kočevja in največje na Goričkem (slika 5).

## 10 SKLEP

V Sloveniji je uveden nov državni višinski sistem z oznako SVS2010, ki je enoten, homogen, znane kakovosti in je realiziran na območju celotne države. Izpolnjuje vse zahteve za kakovostno izvedbo vseh vrst geodetskih del in omogoča pridobivanje podatkov s sodobnimi merskimi tehnologijami. Višine reperjev v višinskem sistemu SVS2010 so določene v višinskem datumu Koper, ki je določen s srednjo višino morja v Kopru, kar pomeni, da bo pomembno prispeval k varnemu načrtovanju posegov v priobalnem območju.

Razlika nadmorskih višin med starim in novim višinskim sistemom znaša med 1,4 in 30,8 centimetrov. Ker gre za relativno majhne spremembe, se pojavlja vprašanje, ali je treba izvesti transformacijo vseh podatkovnih zbirk v novi višinski sistem. Pred transformacijo je vsekakor treba analizirati kakovost višin v podatkovnih zbirkah, ki bo pokazala, ali je transformacija potrebna za nadaljnjo uporabo podatkov. Menimo, da ni smiselno spreminjati višin v kartografskih prikazih manjših meril (na primer plastnic, višin naselij). Vsekakor pa je treba višinskemu sistemu nameniti veliko pozornosti pri najnatančnejših inženirsko-geodetskih delih, kjer je podatek o višini bistvenega pomena. Prav tako je treba višinski sistem navajati pri geodetskih posnetkih in načrtih, kjer lahko napačno navajanje in interpretiranje podatkov o višinah povzroči materialno škodo.

V geodetski praksi se za določitev položaja točk večinoma uporablja GNSS-izmera. V višinskem smislu je pri teh meritvah seveda bistvena tudi uporaba višinske referenčne ploskve, ki omogoča izračun/določitev nadmorskih višin v državnem višinskem sistemu. Glede na to, da je nova višinska referenčna ploskev (SLO\_VRP2016/Koper) v novem višinskem sistemu (SVS2010) bistveno boljše kakovosti kot stara (SLO\_AMG2000/Trst) v prejšnjem višinskem sistemu (SVS2000), je verjetno v nekaterih primerih smiselno uporabiti izvirne podatke meritev (elipsoidne višine) in ponovno izračunati nadmorske višine z uporabo nove višinske referenčne ploskve SLO\_VRP2016/Koper.

Pri uvajanju novega višinskega sistema v prakso pa je bistveno predvsem to, da vodimo tudi (meta)podatek o višinskem sistemu, v katerem podajamo višine točk. V nasprotnem lahko nastane zmeda, pojavijo se nejasnosti in napake, kar ima lahko dolgoročne škodljive posledice.

## Zahvala

Prispevek je nastal na podlagi rezultatov projektov Vzpostavlanje 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:**

Ambrožič, T., Turk, G. (2016). Navodila za uporabo programa Vim. Win, Ver. 5.1, marec 16. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Biljavec, A., Marchesini, C. (1991). Jugoslavenski vertikalni datum i preliminarno povezivanje nove Jugoslavenske nivelmanske mreže s avstrijskom i talijanskom. *Geodetski list*, 45 (7–9), 223–248.

BKG (2019). Height datum relations: European national height reference systems. <https://evrs.bkg.bund.de/Subsites/EVRS/EN/Projects/HeightDatumRel/height-datum-rel.html>, pridobljeno 11. 2. 2019.

Hofmann-Wellenhof, B., Moritz, H. (2005). *Physical geodesy*. Dunaj, New York: Springer.

Kasumović, M. (1950). Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula. *Geodetski list*, 4, 243–256.

Koler, B. (1998). Višine točk v različnih višinskih sistemih. *Geodetski vestnik*, 42 (3), 277–285.

Koler, B. (2006). Vertical Movements in Slovenia from Leveling Data. V N. Pinter et al. (ur.), *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*. Nato Science Series: IV. Earth and Environmental Sciences, št. 61, str. 223–236. Dordrecht: Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/1-4020-4235-3\\_15](https://doi.org/10.1007/1-4020-4235-3_15)

Koler, B. (2019). Podrobno poročilo o ponovni izravnavi nivelmanskih poligonov nižjih redov v višinskem datumu Koper. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Koler, B., Breznikar, A. (2004). Računska obrada nivelmanske mreže Republike Slovenije. *Geodetski list*, 58 (81), 4, 277–285.

Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2007). Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 51 (4), 777–792. [http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4\\_777-792.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4_777-792.pdf)

Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2012). The New Fundamental Gravimetric Network of Slovenia. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47 (3), 271–286. DOI: <https://doi.org/10.1556/AGeod.47.2012.3.1>

Koler, B., Urbančič, T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B., Sterle, O. (2017). Pregled višinskih datumov Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2016. Zbornik predavanj, 22, 93–102. [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)

Koler, B., Vardjan, N. (2003). Analiza stanja nivelmanskih mrež Republike Slovenije. *Geodetski vestnik*, 47 (3), 251–262. [http://www.geodetski-vestnik.com/47/3/gv47-3\\_251-262.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/47/3/gv47-3_251-262.pdf)

Kuhar, M. (2017). Pot do novega modela geoida v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 61 (2), 187–200. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2017.02.187-200>

Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O. C. D., Solheim, D. (2011). Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. *Geodetski vestnik*, 55 (2), 226–234. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.226-234>

Leismann, M., Klees, R., Beckers, H. (1992). Untersuchungen verschiedener Höhensysteme, dargestellt an einer Testschleife in Rheinland-Pfalz. München: Bayerische Akademie der Wissenschaften.

Medved, K., Kuhar, M., Koler, B. (2019). Regional gravimetric survey of central Slovenia. *Measurement*, 136, 395–404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.065>

Medved, K., Kuhar, M., Stopar, B., Koler, B. (2009). Izravnava opazovanj v osnovni gravimetrični mreži Republike Slovenije. *Geodetski vestnik*, 53 (2), 223–237. [http://www.geodetski-vestnik.com/53/2/gv53-2\\_223-238.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/53/2/gv53-2_223-238.pdf)

Omang, O. C. D. (2016). Geoid of Slovenia 2016. Interno poročilo. Hønefoss: Norwegian Mapping Authority.

PCTMSL (2013). Australian Tide Manual. Special Publication No. 9, Version 5.0. Permanent Committee on Tide and Mean Sea Level. [https://www.icsm.gov.au/sites/default/files/SP9\\_v5.0\\_OCT2018.pdf](https://www.icsm.gov.au/sites/default/files/SP9_v5.0_OCT2018.pdf), pridobljeno 24. 1. 2019.

PREG (2018). <http://prostor3.gov.si/preg/>, pridobljeno 20. 12. 2018.

Projekt EGP (2013). Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav. <http://www.gurs-egp.si/>, pridobljeno 20. 12. 2018.

Rezo, M. (2010). Značenje i primjena fizikalnih parametara u modernom pristupu geodetskim radovima državne izmjere. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.

Režek, J. (2017). Ob zaključku projekta »Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav«. *Geodetski vestnik*, 61 (1), 115–124. [http://www.geodetski-vestnik.com/61/1/gv61-1\\_rezek.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/61/1/gv61-1_rezek.pdf)

RGU (1981). Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk. Ljubljana: Republiška geodetska uprava.

Rižnar, I., Koler, B., Bavec, M. (2007). Recentna aktivnost regionalnih geoloških struktur v zahodni Sloveniji = Recent activity of the regional geologic structures in western Slovenia. *Geologija*, 50 (1), 111–120. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2007.009>

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>

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., Brič, V., Triglav Čekada, M., Karničnik, I., Janežič, M., Oven, K. (2016). Implementacija kombinirane geodetske mreže in višinske komponente ESRS v državni geodetski referenčni sistem. Projekt, št. 2433-13-0003. Končno poročilo, sklop 1, 216 str. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Uredba (2018). Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. Uradni list RS, št. 80/2018.

ZDGRS (2014). Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list RS, št. 25/2014.

RECEZIRANI ČLANKI | PEER-REVIEWED ARTICLES



Koler B., Stopar B., Sterle O., Urbančič T., Medved K. (2019). Nov slovenski višinski sistem SVS2010, 63 (1), 27-40.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.27-40>

**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

**prof. dr. Bojan Stopar**

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

**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

**asist. dr. Tilen Urbančič, univ. dipl. inž. geod.**

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

**mag. Klemen Medved, univ. dipl. inž. geod.**

Geodetska uprava Republike Slovenije  
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
e-naslov: klemen.medved@gov.si