

Transformacija višin med starim in novim višinskim sistemom

Božo Koler*, Tomaž Ambrožič*, Klemen Kregar*, Dušan Kogoj*, Aleš Marjetič*, Simona Savšek*, Gašper Štebe*, Jernej Tekavec*, Tilen Urbančič**

Povzetek

V prispevku smo predstavili prve rezultate in analizirali kakovost transformacije višin med starim višinskim sistemom SVS2000 (višinski datum Trst) in novim višinskim sistemom SVS2010 (višinski datum Koper) na osnovi višinske transformacijske ploskve za območje Slovenije. Predstavljeni so postopki za pridobitev vhodnih podatkov za določitev višinske transformacijske ploskve. Na osnovi razlik višin reperjev v starem in novem višinskem sistemu, ki so stabilizirani na območju Slovenije, smo določili višinsko transformacijsko ploskev za dva različna niza podatkov in analizirali vpliv različnih interpolacijskih metod na kakovost določitve transformacijske ploskve. Kakovost transformacije višin med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper smo analizirali na nizu kontrolnih reperjev, ki so vključeni v bazo geodetskih točk Geodetske uprave Republike Slovenije in imajo višine določene v SVS2000/Trst in preračunane višine v SVS2010/Koper.

Ključne besede: višinska transformacijska ploskev, višinski sistem, višinski datum, interpolacija, povprečna višina

Key words: height transformation surface, height system, vertical datum, interpolation, average height

Uvod

Z Uredbo o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema (Koler in sod., 2019; Uredba, 2018), ki jo je sprejela Vlada Republike Slovenije, smo konec leta 2018 uvedli novi višinski sistem z oznako SVS2010, ki temelji na višinskem datumu Koper (Sterle in Koler, 2019). Novi višinski sistem je nadomestil star višinski sistem z oznako SVS2000/Trst, ki je temeljil na višinskem datumu Trst. Na območju Slovenije razlika višin med višinskima sistemoma SVS2010/Koper in SVS2000/Trst ni konstantna, ampak so spremembe višin v razponu od 1,4 cm do 30,8 cm (Medved in sod., 2020), kar onemogoča enostavno transformacijo med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper.

Geodetska uprava RS (GURS) in številni drugi upravljavci ter državni organi vodijo različne zbirke prostorskih podatkov, ki vsebujejo georeferencirane podatke vključno z višino, ki je določena v starem višinskem sistemu. Ko obstoječe podatkovne zbirke, ki vsebujejo tudi podatek o nadmorski višini, dopolnjujemo z novimi podatki, kjer so višine določene v novem višinskem sistemu (SVS2010/Koper), pride do razlik v višinah. Podobni problemi so prisotni pri dopolnjevanju starih grafičnih prikazov, ki jih potrebujemo za prostorsko načrtovanje, projektiranje in umeščanje novih objektov v prostoru in ne nazadnje za evidentiranje nepremičnin, ki so jih izdelala različna geodetska podjetja pred letom 2019. Razliko v podatkih lahko odpravimo s transformacijo podatkovnih nizov z višinami iz starega višinskega sistema v nov višinski sistem. Velik problem predstavlja preračun višin na večjih območjih in preračun višin v podatkovnih nizih. S problemom transformacije višin iz SVS2000/Trst v SVS2010/Koper se tako vsak upravljavec podatkovnih nizov ukvarja sam. Tako so višine v podatkovnih nizih transformirane na različne načine in z različnimi

*Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

** Geotočka d.o.o. in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

lokalnimi transformacijskimi modeli. Kakovost tako pridobljenih lokalnih transformacijskih modelov je odvisna od kakovosti določitve višin danih reperjev v obeh višinskih sistemih, njihovega števila in prostorske razporeditve. Problem predstavlja tudi sledljivost transformacije višin, saj uporabljeni postopki za transformacijo višin običajno niso dokumentirani, kar lahko vodi v nove razlike med transformiranimi višinami v podatkovnih nizih.

Zgoraj navedene probleme lahko rešimo in uredimo s kreiranjem enotnega državnega višinskega transformacijskega modela za območje Slovenije, ki bo različnim upravljavcem prostorskih podatkov omogočal enostaven prehod iz starega v nov višinski sistem. Konec leta 2022 je Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) razpisala ciljni raziskovalni projekt V2-2294: Razvoj državnega višinskega transformacijskega modela med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper, ki ga sofinancira GURS. Osnovni namen predlaganega projekta je razvoj višinske transformacijske ploskve za območje Slovenije in programa za interpolacijo, ki bo zainteresiranim uporabnikom omogočil enostavno transformacijo prostorskih podatkov v nov državni višinski sistem SVS2010/Koper.

Pregled podatkovnih zbirk Geodetske uprave Republike Slovenije s podatkom o višinah

Zapis in kakovost višin za posamezno podatkovno zbirko GURS je opredeljena v področni zakonodaji. Analiza zapisov o višinah v podatkovnih zbirkah GURS (Preglednica 1) je pokazala, da razen podatkov o evidenci slovensko-italijanske in slovensko-madžarske meje, kjer so višine prikazane na centimeter, so podatki o ostalih višinah vodeni na decimeter ali nekaj decimetrov, na nekaterih območjih tudi na meter. Višine točk državne meje z Italijo in Madžarsko so določene z GNSS-višinomerstvom, ki jih lahko transformiramo v novi višinski sistem s programom SiVis, preko geoidnih višin (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2019). Glede na kakovost vodenja podatkov o višinah v ostalih podatkovnih zbirkah bi transformacijo v novi višinski sistem lahko izvedli z višinsko transformacijsko ploskvijo za območje Slovenije.

Preglednica 1: Zapis in kakovost višin v podatkovnih zbirkah GURS.

Podatkovna zbirka	Zapis/kakovost višin	Opomba
Zemljiški kataster	Koordinate zemljiško-katastrskih točk so zaokrožene na cm. Višina ni obvezen podatek.	https://www.gov.si/drzavni-organi/organi-v-sestavi/geodetska-uprava/zakonodaja-geodetske-uprave/ Višinska koordinata zemljiškokatastrske točke je višina, ki se določi z meritvami, če metoda izmere to omogoča, ali se izračuna na podlagi digitalnega modela višin.
Kataster stavb	Višine stavbe so zapisane v metrih na eno decimalno mesto.	https://www.gov.si/drzavni-organi/organi-v-sestavi/geodetska-uprava/zakonodaja-geodetske-uprave/

Zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture	Določeni so razredi natančnosti: $\sigma_H \leq 0,1 \text{ m}$ $0,1 \text{ m} < \sigma_H < 0,5 \text{ m}$ $0,5 \text{ m} < \sigma_H \leq 1,0 \text{ m}$	https://www.gov.si/drzavni-organi/organi-v-sestavi/geodetska-uprava/zakonodaja-geodetske-uprave/ https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/zbirni-kataster-gospodarske-javne-infrastrukture/
Evidenca državne meje	Višina se vodi na cm oz. m natančno.	V zdaj veljavnih mejnih dokumentih: <ul style="list-style-type: none"> • za slovensko-italijansko državno mejo so višine prikazane z ločljivostjo 1 cm, • za slovensko-avstrijsko državno mejo so višine prikazane z ločljivostjo 1 m, • za slovensko-madžarsko državno mejo so višine prikazane z ločljivostjo 1 cm, • za slovensko-hrvaško državno mejo ni podatka o višini.
Državni koordinatni sistem	Nivelirane višine so zaokrožene na mm, ostale na cm.	Natančnost višin državnih geodetskih točk je odvisna od metode geodetske izmere. Vsi nivelmanski poligoni so preračunani v novi višinski sistem, zato jih ni potrebno transformirati.
Digitalni model višin	Višine v modelu so zaokrožene na cm.	Srednje odstopanje DMR je odvisno od resolucije in je manjše od 0,40 m na odprtem in deloma poraščenem zemljišču, ter 1,20 m na poraščenem zemljišču.
Zbirka topografskih podatkov	Točnost pridobljenih višin je $\pm 1 \text{ m}$ (RMSE).	Točnost je odvisna od vira za pridobivanje topografskih podatkov.
Državna topografska karta 1 : 50 000	Ekvidistanca (E) plastnic je 20 m.	Če so na karti prikazane pomožne plastnice, si sledijo na 10 ($E/2$) ali 5 ($E/4$) metrov.
Državna pregledna karta 1 : 250 000	Ekvidistanca (E) plastnic je 100 m.	Če so na karti prikazane pomožne plastnice, si sledijo na 50 ($E/2$) ali 25 ($E/4$) metrov.
Druge državne pregledne karte	/	Relief je prikazan s senčenjem.

Podatek o višini se pričakovano ne vodi v zbirki vrednotenja nepremičnin, evidenci trga nepremičnin, registru nepremičnin, registru prostorskih enot in registru zemljepisnih imen.

Pregled obstoječih podatkov o višinah reperjev

GURS v bazi geodetskih točk vodi podatke o višinah vseh reperjev, ki so stabilizirani v nivelmanskimi mrežah in poligonih. Višine reperjev so določene v starem (SVS2000/Trst) in novem višinskem sistemu (SVS2010/Koper). V preglednici 2 so zbrani podatki o številu reperjev, ki so razdeljeni v različne redove.

Preglednica 2: Podatki o višinah reperjev v bazi geodetskih točk GURS.

Red nivelmanskega poligona	Reperji		Reperji z višino v obeh višinskih sistemih	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
1	2871	23,9	2135	74,4
2	662	5,5	568	85,8
3	955	7,9	936	98,0
4	2985	24,8	2973	99,6
Mestni	4548	37,8	4477	98,4
Skupaj	12021	100	11089	92,2

Iz preglednice 2 vidimo, da je v bazi geodetskih točk vodenih 12021 reperjev. Pričakovano je največ reperjev mestnih nivelmanskih mrež (37,8 %), 4. reda (24,8 %) in 1. reda (23,9 %). V bazi je zajetih 5,5 % reperjev 2. reda in 7,9 % reperjev 3. reda. Največ reperjev, ki imajo višine določene v starem in novem višinskem sistemu, pripada 4. redu (99,6 %) in najmanj 1. redu (74,4 %). Rezultati so pričakovani, saj je bila nivelmanska mreža 1. reda v celoti sanirana (Slika 2), zato so bili stabilizirani tudi novi reperji, ki višine nimajo določene v starem višinskem sistemu. Reperji nižjih redov so bili preračunani iz starega v novi višinski sistem na osnovi podatkov o starih merjenih višinskih razlikah. Reperji, kjer je bilo odstopanje med dano (navezava) in merjeno višinsko razliko preveliko, za katerikoli red nivelmanske mreže, niso bili preračunani in zato v bazi niso zajeti. Zato pri nižjih redih iz starega v novi višinski sistem nimamo preračunanih vseh reperjev.

Določitev razlik višin reperjev med novim in starim višinskim sistemom za določitev višinske transformacijske ploskve in ocena natančnosti

Razliko nadmorskih višin reperjev, ki jo potrebujemo za določitev višinske transformacijske ploskve na območju Slovenije, izračunamo po naslednji enačbi:

$$\Delta H_{ViTraP} = H_{SVS2010} - H_{SVS2000} \quad (1)$$

V enačbi (1) so:

ΔH_{ViTraP} . . . razlika nadmorskih višin reperjev za določitev višinske transformacijske ploskve,

$H_{SVS2010}$. . . nadmorska višina reperja v novem višinskem sistemu SVS2010/Koper,

$H_{SVS2000}$. . . nadmorska višina reperja v starem višinskem sistemu SVS2000/Trst.

Natančnost določitve višin reperjev v novem in starem višinskem sistemu potrebujemo za oceno natančnosti razlik nadmorskih višin med novim in starim višinskim sistemom. Na osnovi ocene natančnosti določitve razlike višin reperjev bomo določili model za oceno kakovosti transformacijskega modela. Oceno natančnosti razlik višin reperjev si izračunamo po enačbi:

$$\sigma_{\Delta H_{ViTraP}} = \sqrt{\sigma_{H_{SVS2010}}^2 + \sigma_{H_{SVS2000}}^2} \quad (2)$$

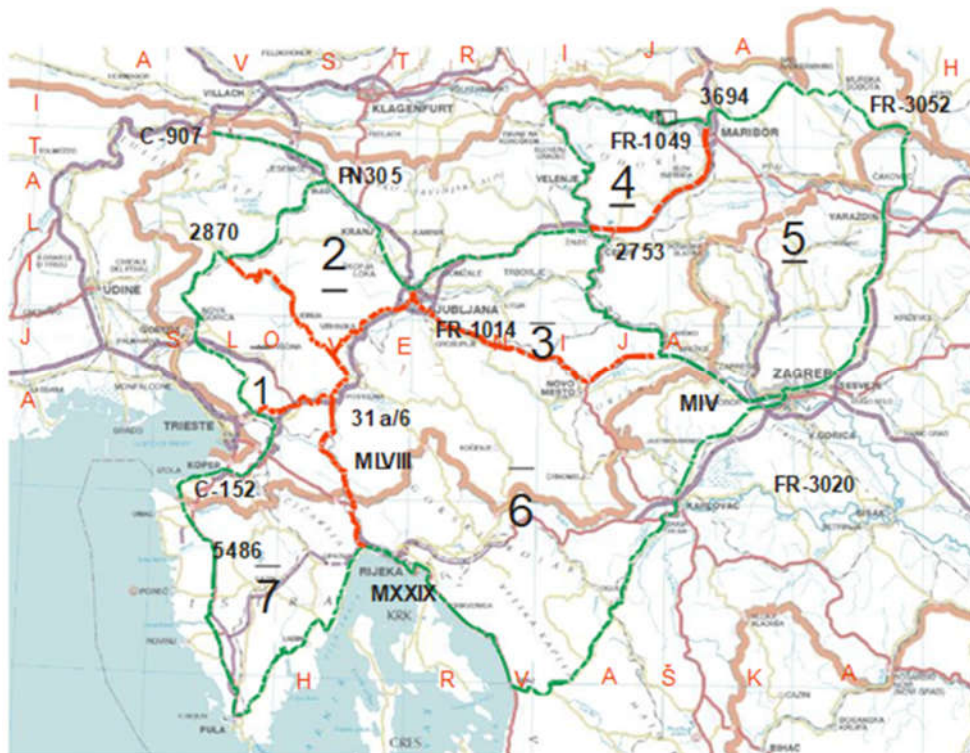
V enačbi (2) so:

$\sigma_{\Delta H_{ViTraP}}$. . . natančnost razlike višin, ki je vhodni podatek za določitev modela natančnosti višinske transformacijske ploskve,

$\sigma_{H_{SVS2010}}$. . . natančnost določitve nadmorske višine reperjev v SVS2010/Koper,

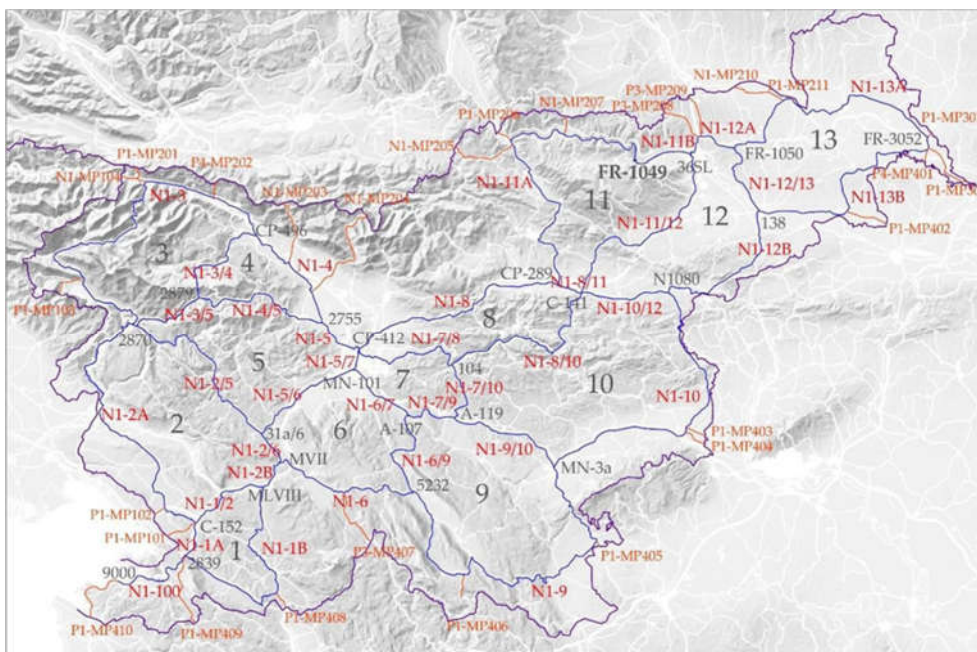
$\sigma_{H_{SVS2000}}$. . . natančnost določitve nadmorske višine reperjev v SVS2000/Trst.

Stara in nova nivelmanska mreža sta bili izravnani s programom VimWin (Ambrožič, 2016). Referenčni standardni odklon po izravnavi stare nivelmanske mreže 1. reda (Slika 1, SVS2000/Trst) znaša 0,86 mm/km in natančnost določitve nadmorskih višin reperjev od 0,12 mm do 11,46 mm.



Slika 1: Stara nivelmanska mreža Slovenije.

Reperji, ki so bili vključeni v izmero in izračun nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije (Slika 2), imajo v bazi geodetskih točk GURS zapisano tudi natančnost določitve nadmorskih višin. Referenčni standardi odklon po izravnavi znaša 0,50 mm/km in natančnost določitve nadmorskih višin reperjev od 0,06 mm do 6,08 mm (Koler in sod., 2019). Izmera nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije (Slika 2) je rezultat sistematične sanacije nivelmanske mreže na območju Slovenije (Koler in sod., 2019). Izmera nove nivelmanske mreže 1. reda je bila uspešno zaključena leta 2015 v okviru projekta »Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav«, podprojekta »Geodetski referenčni sistem«, ki se je izvajal med leti 2013 in 2016 v okviru Finančnega mehanizma Evropskega gospodarskega prostora (Projekt EGP, 2013; Režek, 2017).



Slika 2: Nova nivelmanska mreža 1. reda z oznako nivelmanskih poligonov in zank.

Iz preglednice 2 vidimo, da imamo v bazi geodetskih točk 11089 reperjev, ki imajo višino določeno v obeh višinskih sistemih. Reperje za izdelavo višinskega transformacijskega modela smo izbrali v več korakih, ki so opisani v naslednjem poglavju.

Izbira reperjev za izdelavo višinskega transformacijskega modela

Reperje za izdelavo višinskega transformacijskega modela smo določili v sledečih korakih:

- a) Podatki za transformacijsko ploskev na osnovi merjenih višin identičnih reperjev 1. reda v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper

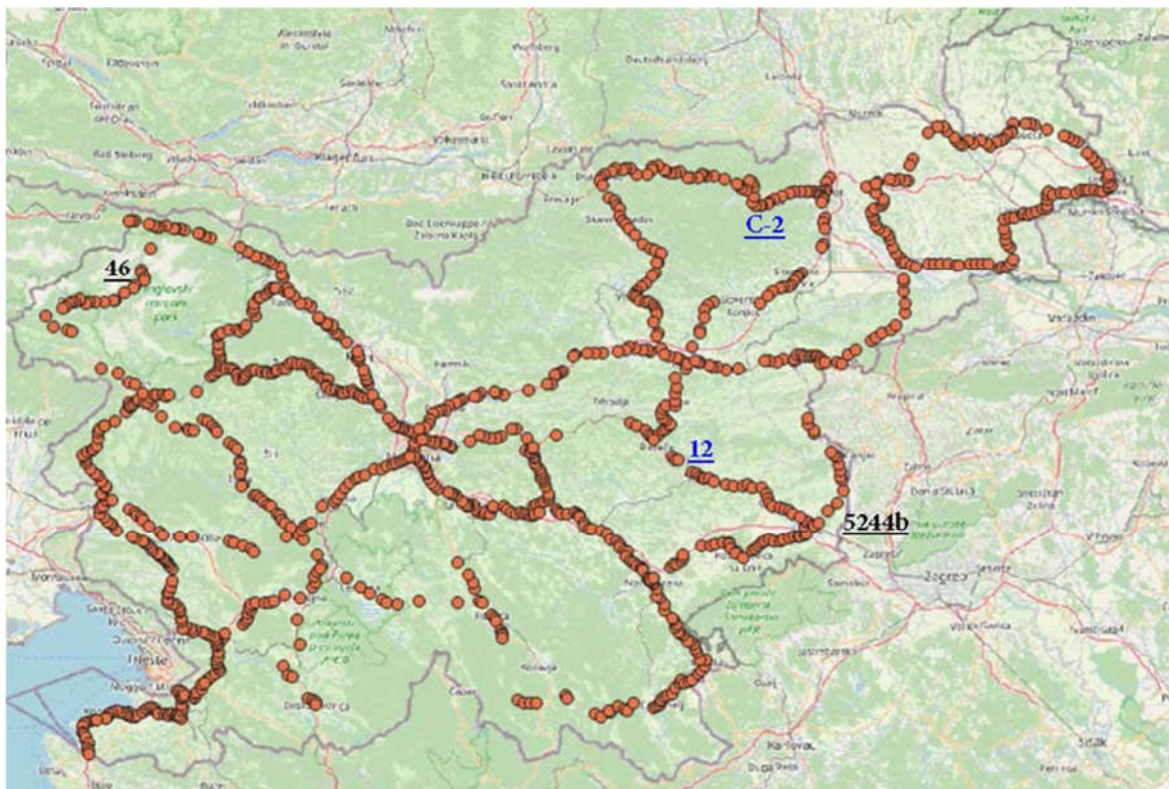
Analiza baze geodetskih točk je pokazala, da je bilo v novo izmero nivelmanske mreže 1. reda Slovenije (Slika 2) vključeno 1231 starih reperjev, ki so bili predhodno vključeni tudi v izmero v starem višinskem sistemu SVS2000/Trst. Na osnovi navzkrižnega preverjanja oziroma analize razlik višin smo izločili 186 reperjev, kjer je razlika med novim in starim višinskim sistemom med sosednjimi reperji presegala 10 mm in ni posledica različne velikosti posedanaj med sosednjimi območji (Preglednica 3). Predvidevamo namreč, da je le ta posledica lokalnih premikov posameznih objektov, v katerih so stabilizirani reperji.

Preglednica 3: Primer razlike med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst med sosednjimi reperji, ki presegala 10 mm (rdeče v besedilu).

Reper	Vgrajen v objekt	$H_{SVS2010}$ [m]	$H_{SVS2000}$ [m]	ΔH_{Tran} [m]
FR-1033	Solkan, ob parkirišču pri žičnici za Sv. Goro	79,3334	79,4447	-0,111
5352	Upravna zgradba Goriških vodovodov	106,6234	106,7357	-0,112
5349	Propust Kobarid – Nova Gorica pri km 106+593	80,8363	80,9640	-0,109
5351	Propust Kobarid – Nova Gorica pri km 109+058	79,5649	79,6735	-0,128
5350a	Steni Kobarid – Nova Gorica pri km 109+290	81,0391	81,1539	-0,115
5349a	Propust Kobarid – Nova Gorica pri km 107+580	82,2320	82,3473	-0,115

5349	Propust Kobarid – Nova Gorica pri km 106+593	80,8363	80,9640	-0,128
5348a	Močnejši robnik ob glavni cesti pri km 105+685	82,0822	82,1925	-0,110
O-41	Propust Kobarid – Nova Gorica pri km 105+034	89,8892	89,9997	-0,111

Tako smo dobili 1045 reperjev nove nivelmanske mreže 1. reda,, ki so bili že predhodno vključeni v izmero SVS2000/Trst ter naknadno še v SVS2010/Koper in predstavljajo osnovo za določitev višinske transformacijske ploskve (Slika 3).



Slika 3: Skica identičnih reperjev, ki so bili vključeni v izmeri SVS2000/Trst in SVS2010/Koper, (Vir slikovne podlage: GoogleMaps).

V preglednici 4 so zbrane statistične cenilke o razlikah višin med novim in starim višinskim sistemom in natančnosti razlike višin, ki jo izračunamo po enačbi (2).

Preglednica 4: Statistične cenilke za reperje, ki so bili vključeni v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper.

	Reper	Niv. pol./Kraj	ΔH_{ViTraP} [m]	Reper	Niv. pol./Kraj	$\sigma_{\Delta H_{ViTraP}}$ [mm]
Maks.	5244b	N1-12B/Podplat	-0,014	12	N3-51/Breg	13,8
Min.	46	N-3/Trenta	-0,240	C-2	N1-11B/Smolnik pri Rušah	0,1
Sred.			-0,129	Sred.		9,2

Iz preglednice 4 vidimo, da znašajo razlike višin med novim in starim višinskim sistemom na 1045 reperjih od -0,014 m do -0,240 m in srednja razlika višin -0,129 m. Natančnost

določitve razlike višin znaša od 0,1 mm do 13,8 mm in srednja vrednost natančnosti je 9,2 mm. Navedeni reperji iz preglednice 4 so tudi prikazani na sliki 3.

- b) Dopolnjeni podatki za izračun transformacijske ploskve na osnovi preračunanih višin reperjev nižjih redov v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper

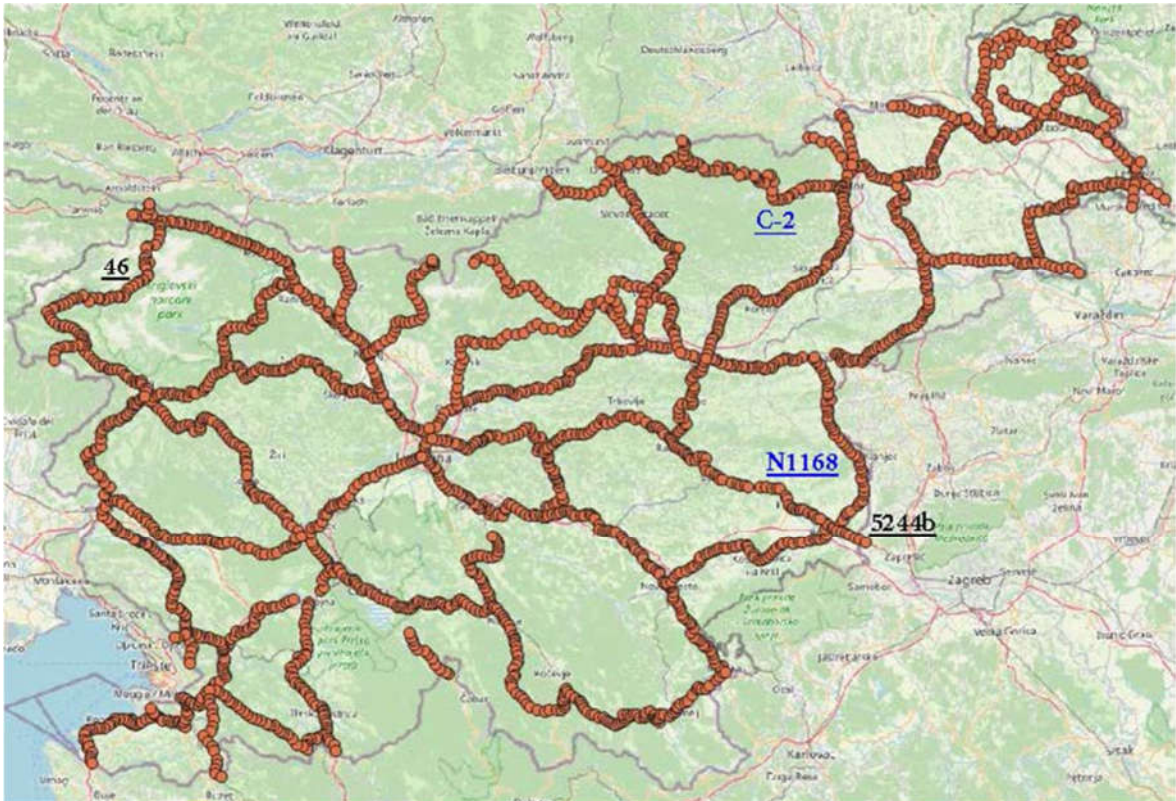
Iz slike 3 vidimo, da so podatki za izdelavo transformacijske ploskve neenakomerno porazdeljeni na območju Slovenije, zato smo se odločili, da osnovne podatke dopolnimo z dodatnimi podatki, ki bodo omogočili izdelavo bolj kakovostne transformacijske ploskve. V izravnavo stare nivelmanske mreže 1. reda (Slika 1) smo vključili dodatne nivelmanske poligone nižjih redov. Iz slike 4 vidimo, da so bili v izravnavo vključeni nivelmanski poligoni do posameznih mejnih prehodov, stari nivelmanski poligoni in novo izmerjeni nivelmanski poligoni 2. reda (N2-59: Nova Gorica – Kalce in N2-45: Šoštanj – Šempeter) in 3. reda (N3-51: Zidani most – Brežice).

Da bi dosegli čim bolj enakomerno porazdelitev reperjev, smo med stare reperje dodali tudi nove reperje, ki so bili zajeti v izmero nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije. Ker ti reperji nimajo znane nadmorske višine v SVS2000/Trst, smo novo merjene višinske razlike nivelmanskih linij vključili v izravnavo stare nivelmanske mreže (Slika 1). Izravnane nadmorske višine v starem višinskem sistemu SVS2000/Trst smo uporabili za izračun razlik nadmorskih višin. Pri tem smo pazili, da so bile razlike skladne z razlikami višin, ki so bile določene za posamezna območja na starih reperjih (Preglednica 5), ki so imeli višino določeno v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper.

Preglednica 5: Razlike nadmorskih višin reperjev na starih reperjih in novih reperjih (zeleno), ki so bili vključeni v izravnavo stare nivelmanske mreže.

Reper	$H_{SVS2010}$ [m]	$\sigma_H^{SVS2010}$ [mm]	$H_{SVS2000}$ [m]	$\sigma_H^{SVS2000}$ [mm]	ΔH_{ViTraP} [m]	$\sigma_{\Delta H_{ViTraP}}$ [mm]
5407a	485,5064	4,9	485,6278	9,4	-0,121	10,6
5408	483,4450	4,9	483,5644	9,4	-0,119	10,6
N215	482,1861	4,9	482,3090	9,4	-0,123	10,5
N214	485,2734	4,9	485,3968	9,4	-0,123	10,5
N213	481,5141	4,9	481,6379	9,4	-0,124	10,5
C-83	480,2874	4,9	480,4106	9,4	-0,123	10,6
CP-539	502,0420	4,9	502,1651	9,4	-0,123	10,6

Iz preglednice 5 vidimo, da so razlike med nadmorskimi višinami med sosednjimi starimi in novimi reperji manjše od 5 mm, kar je bil pogoj za izbor dodatnih reperjev za izračun transformacijske ploskve in se lepo vključujejo v podatke o razlikah višin na starih reperjih. Za izdelavo višinske transformacijske ploskve je bilo tako izbranih 2126 reperjev (Slika 4).



Slika 4: Skica razporeditve reperjev za izdelavo višinske transformacijske ploskve v dopoljeni nivelmanski mreži (Vir slikovne podlage: GoogleMaps).

V preglednici 6 so zbrane statistične cenilke o reperjih, ki so bili izbrani za izdelavo višinske transformacijske ploskve.

Preglednica 6: Statistične cenilke za reperje, ki so bili vključeni v dopoljeno nivelmansko mrežo in izbrani za izdelavo višinske transformacijske ploskve.

	Reper	Niv. pol./Kraj	ΔH_{ViTraP} [m]	Reper	Niv. pol./Kraj	$\sigma_{\Delta H_{ViTraP}}$ [mm]
Maks.	5244b	N1-12B/Podplat	-0,014	N1168	N3-51/Sevnica	15,2
Min.	46	N-3/Trenta	-0,240	C-2	N1-11B/Smolnik pri Rušah	0,1
Sred.			-0,130			9,3

Iz preglednice 6 vidimo, da znašajo razlike višin med novim in starim višinskim sistemom na 2126 reperjih od $-0,014$ m do $-0,240$ m, kot je predstavljeno v preglednici 6, in srednja razlika $-0,130$ m, ki se je minimalno spremenila glede na vrednost v preglednici 5 ($-0,129$ m). Natančnost določitve razlike višin znaša od 0,1 mm do 15,2 mm in srednja vrednost natančnosti je 9,3 mm. Tudi v tem primeru so razlike majhne glede na vrednosti v preglednici 5. Reperji navedeni v preglednici 6 so tudi prikazani na sliki 4.

Z dopolnjevanjem osnovnih podatkov za izračun višinske transformacijske ploskve (Slika 3), smo zgostili podatke med starimi reperji in dosegli, da je srednja dolžina med reperji, ki so služili za izdelavo višinske transformacijske ploskve, okoli 1 km (Preglednica 7).

Preglednica 7: Statistični kazalci za dolžine med sosednjimi reperji, ki smo jih izbrali za izračun višinske transformacijske ploskve.

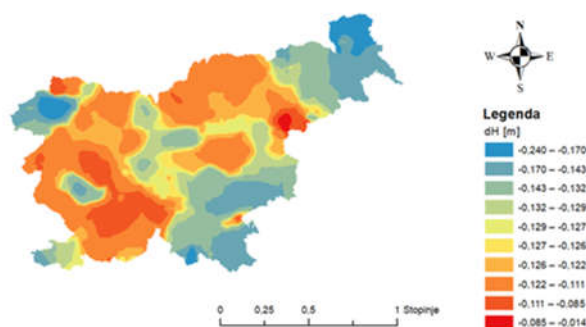
Statistični kazalci	Nivelmanski poligon	d [m]
Maksimalna	N3-P21	2331,6
Minimalna	MP201	123,0
Srednja		952,9

Izdelava višinske transformacijske ploskve

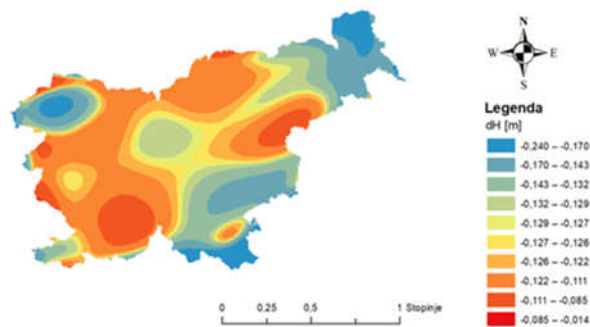
Ploskev, ki jo dobimo z različnimi interpolacijskimi metodami, je tridimenzionalna in jo sestavlja zvezno polje vrednosti po celotnem območju izdelane ploskve. Podatki interpolacije predstavljajo površino ploskve kot mrežo celic enakih velikosti. Glede na horizontalne koordinate e , n je določen podatek za tretjo koordinato (ΔH). Funkcija površinske interpolacije je, da ustvari neprekinjeno ploskev iz vrednosti, ki predstavljajo vhodni podatek. Za izdelavo ploskve obstaja več različnih interpolacijskih metod. Metode interpolacij lahko razvrstimo v dve skupini, in sicer na interpolacije na osnovi determinističnih metod ter na osnovi geostatističnih metod. Deterministične metode določajo vrednosti na podlagi vhodnih podatkov in določenih matematičnih enačb, medtem ko geostatistične metode temeljijo na statističnih modelih, ki vključujejo avtokorelacijo (Ayeni in Samuel, 2014).

Obdelava podatkov je potekala v okolju ArcGIS z orodjem Geostatistical Wizard, kjer so zbrane vse uveljavljene metode prostorske interpolacije podatkov. Višinski transformacijski model smo izdelali na osnovi razlik višin točk na 1045 reperjih (sloj 1045, Slika 3) in 2126 reperjev (sloj 2126, Slika 4). Višinska transformacijska ploskev je bila izdelana s štirimi determinističnimi metodami interpolacije (metoda inverzne razdalje – angl. Inverse distance weighting, globalna polinomska interpolacija – angl. Global polynomial interpolation, lokalna polinomska interpolacija – angl. Local polynomial interpolation in radialne bazne funkcije – angl. Radial basis functions), ter metodo kriging in kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu, ki sta geostatistični metodi (Slika 5).

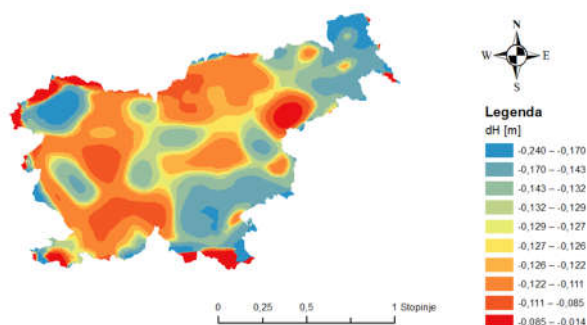
Metoda inverzne razdalje



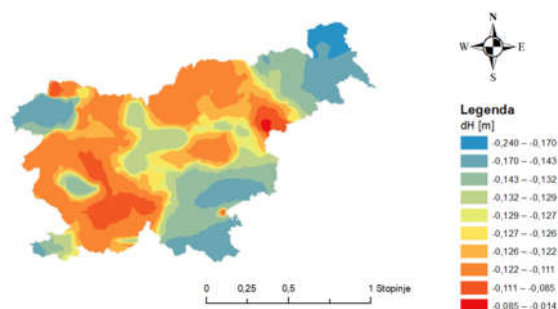
Globalna polinomska interpolacija



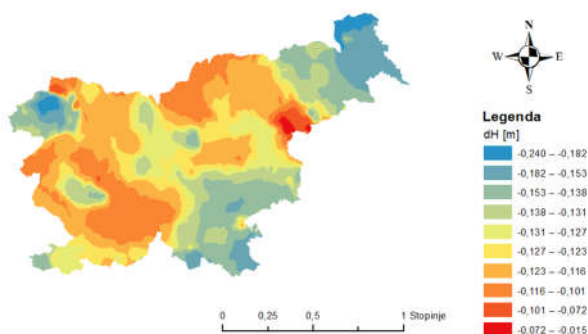
Lokalna polinomska interpolacija



Radialne bazne funkcije



Kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu



Slika 5: Višinski transformacijski modeli na osnovi uporabljenih interpolacijskih metod.

Iz slike 5 vidimo, da se višinske transformacijske ploskve, izdelane z različnimi interpolacijskimi metodami, nekoliko razlikujejo. Kakovost višinskega transformacijskega modela, ki je določen z različnimi interpolacijskimi metodami, lahko ocenimo na osnovi analize kakovosti.

Analiza kakovosti višinske transformacijske ploskve

Na osnovi analize kakovosti različnih višinskih transformacijskih ploskev je bila izbrana tudi končna metoda interpolacije. Analizo kakovosti smo izvedli v več korakih.

- a) Analiza kakovosti interpolacijskih metod na osnovi sloja razlik višin na 1045 oziroma 2126 reperjih

Analizo kakovosti različnih višinskih transformacijskih ploskev, smo izvedli z navzkrižnim preverjanjem, ki v vsaki iteraciji odstrani eno točko iz določitve ploskve in nato primerja vrednost ploskve z merjeno vrednostjo. Iz razlik se izračunajo statistične cenilke, ki jih uporabimo za oceno kakovosti interpolirane ploskve (Preglednica 8).

Preglednica 8: Statistične cenilke za sloja podatkov z 1045 in 2126 razlik višin in uporabljene interpolacijske metode.

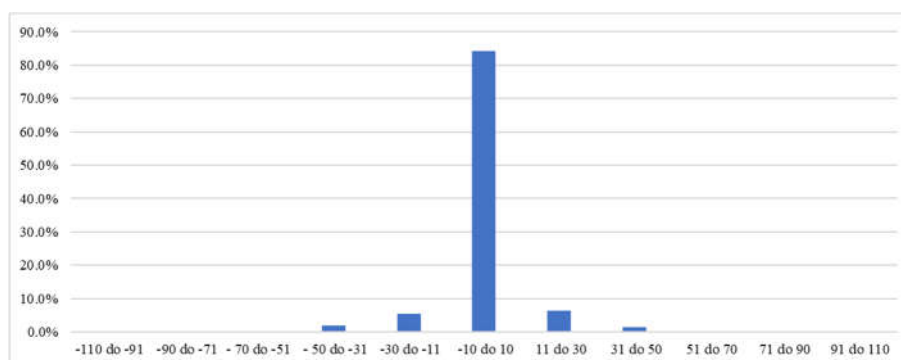
Interpolacijska metoda	Statistične cenilke	Sloj 1045 reperjev	Sloj 2126 reperjev
Metoda inverzne razdalje	Srednje odstopanje [mm]	0,0336	-0,0112
	RMSE [mm]	6,64	6,94
Globalna polinomska interpolacija	Srednje odstopanje [mm]	-0,0358	-0,0082
	RMSE [mm]	11,75	11,70

Lokalna polinomska interpolacija	Srednje odstopanje [mm]	-0,0876	0,0166
	RMSE [mm]	9,29	8,73
Radialne bazne funkcije	Srednje odstopanje [mm]	-0,0260	-0,0086
	RMSE [mm]	6,88	6,96
Kriging	Srednje odstopanje [mm]	0,0157	0,0168
	RMSE [mm]	6,63	6,24
Kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu	Srednje odstopanje [mm]	-0,0171	-0,0050
	RMSE [mm]	6,36	6,17

Iz preglednice 8 vidimo, da so razlike med srednjimi odstopanji majhne in da so vse statistične cenilke za sloj 2126 reperjev boljše, razen za metodo inverzne razdalje, kjer je RMSE za sloj 2126 reperjev večji, kot za sloj 1045 reperjev. Vendar tudi v tem primeru razlika ni bistvena. Iz preglednice 8 tudi vidimo, da pri metodi kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu dobimo najmanjše srednje odstopanje (-0,0050 mm) in najmanjši RMSE (6,17 mm). Na osnovi opravljene analize kakovosti lahko zaključimo, da je višinski transformacijski model, ki je izračunan z metodo kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu in sloj 2126 reperjev, ki vsebuje dodatne podatke o razliki višin reperjev, najboljši.

b) Analiza kakovosti višinske transformacijske ploskve na osnovi razlik višin na kontrolnih reperjih

Kakovost izbrane višinske transformacijske ploskve smo kontrolirali tudi na 8700 kontrolnih reperjih, ki imajo višino določeno tako v SVS2000/Trst kot v SVS2010/Koper. Izračunali smo razliko višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst (Enačba (1)) in jo primerjali z razliko višin, ki smo jo dobili iz višinske transformacijske ploskve. Na osnovi razlike med izračunano in interpolirano razliko višin na kontrolnih reperjih, smo ocenili kakovost višinskega transformacijskega modela (Slika 6 in Preglednica 9).



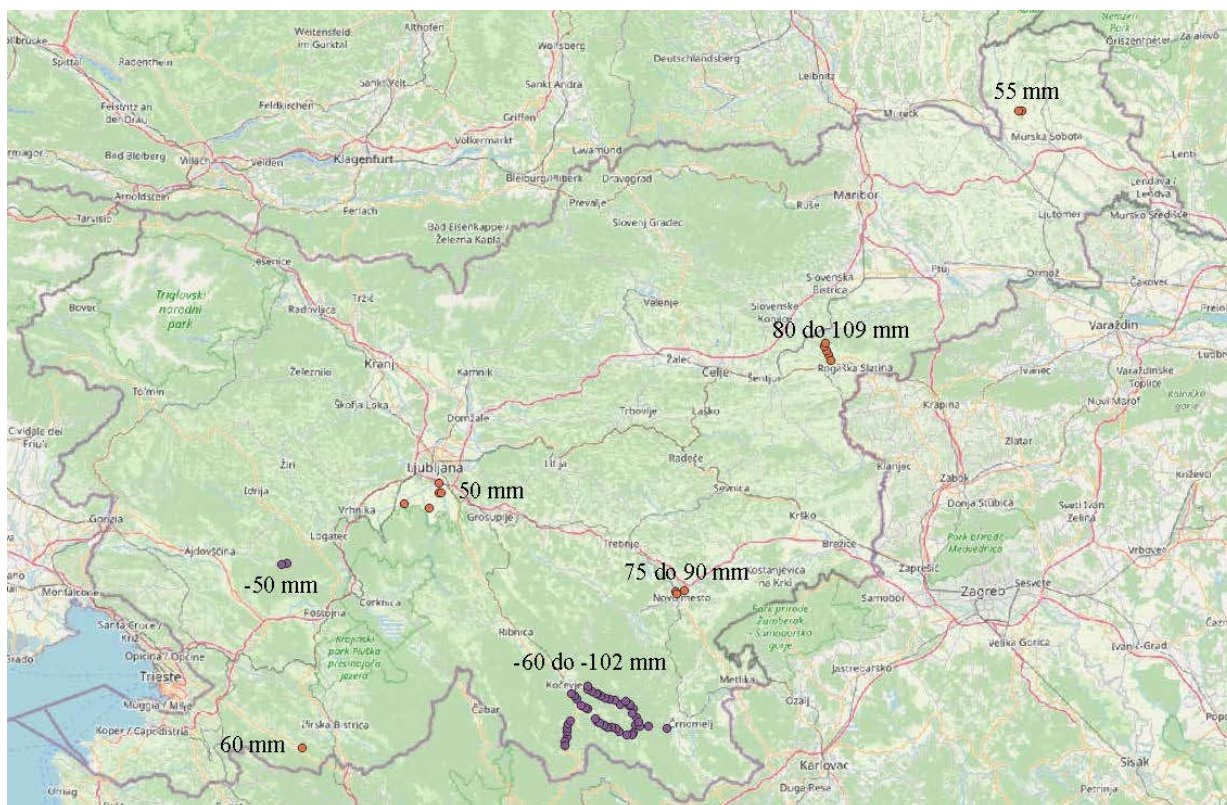
Slika 6: Histogram porazdelitve razlik višin na kontrolnih reperjih.

Iz slike 6 vidimo, da razlika višin na kontrolnih reperjih sledi normalni porazdelitvi in da je večina razlik višin na kontrolnih reperjih med -10 mm in 10 mm (84,2 %).

Preglednica 9: Statistične cenilke za oceno kakovosti višinskega transformacijskega modela.

Interpolacijska metoda	Statistične cenilke	Sloj 2126 reperjev
Kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu	Minimalno odstopanje [mm]	-102
	Štev. reperjev z odst. od -50 mm do -102 mm	47 (0,5 %)
	Maksimalno odstopanje [mm]	109
	Štev. reperjev z odst. od 50 mm do 109 mm	16 (0,2 %)
	Srednje odstopanje [mm]	14
	RMSE [mm]	11,7

Iz preglednice 9 vidimo, da znaša minimalno odstopanje -102 mm, podobne velikosti je tudi maksimalno odstopanje, 109 mm. Na 47 kontrolnih reperjih (0,5 %) je odstopanje med -50 mm do -102 mm in na 16 kontrolnih reperjih (0,2 %) od 50 mm do 109 mm. V obeh primerih je odstotek kontrolnih reperjev zanemarljiv vendar, če jih prikažemo na kartografski podlagi (Slika 7) lahko ugotovimo, da je večina reperjev z negativno razliko na območju Kočevskega Roga in s pozitivno razliko na območju med Poljčanami in Rogaško Slatino.



Slika 7: Prikaz večjih razlik višin na osnovi razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst in višin reperjev iz višinskega transformacijskega modela (Vir slikovne podlage: GoogleMaps).

Zaključek

V prispevku je prikazan način izbora reperjev z razlikami višin med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper. Z dopolnjevanjem podatkov osnovnih reperjev (sloj 1045 reperjev), ki so bili vključeni v izmero stare in nove nivelmanske mreže, smo dobili niz podatkov (sloj 2126 reperjev), ki so enakomerno porazdeljeni na območju Slovenije, saj povprečna dolžina med reperji znaša okoli 1 km. Ocenjujemo, da je to zadostna gostota reperjev za določitev transformacijske ploskve.

Iz obeh slojev podatkov smo z različnimi interpolacijskimi metodami določili višinske transformacijske ploskve, ki se nekoliko razlikujejo med seboj. Na osnovi analize kakovosti določitve višinske transformacijske ploskve, ki je bila izvedena na obeh slojih podatkov, smo prišli do zaključka, da je najboljša višinska transformacijska ploskev za sloj 2126 reperjev, ki je določena z interpolacijsko metodo kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu.

Kakovost izbrane višinske transformacijske ploskve smo testirali na 8700 kontrolnih reperjih, ki imajo višine določene v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper. Primerjali smo razlike višin na kontrolnih reperjih z razlikami višin, ki jih dobimo iz višinske transformacijske ploskve. Analiza je pokazala, da je 84,2 % razlik višin v območju od -10 mm do 10 mm, srednja razlika znaša 14 mm in RMSE 11,7 mm. Največ reperjev z negativno razliko (-60 mm do -102 mm) dobimo na območju Kočevskega Roga in s pozitivno razliko (80 mm do 109 mm) na območju med Poljčanami in Rogaško Slatino. Nadaljnje analize bodo pokazale, ali so te razlike posledica slabih vhodnih podatkov za določitev višinske transformacijske ploskve na teh območjih.

Zaključimo lahko, da so prvi rezultati in analize kakovosti transformacije višin med SVS2000 (višinski datum Trst) in SVS2010 (višinski datum Koper) na osnovi višinske transformacijske ploskve za območje Slovenije vzpodbudni.

Zahvala

Raziskava je nastala v okviru ciljnega raziskovalnega projekta V2-2294: Razvoj državnega višinskega transformacijskega modela med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper, ki sta ga sofinancirali Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Ministrstvo za naravne vire in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije.

Literatura in viri

- Ambrožič, T. (2016). Navodila za uporabo programa VimWin ver. 5.1, mar. 16.
- Ayeni, B., Samuel, K. J. 2014. An evaluation of digital elevation modeling in GIS and Cartography. *Geo-spatial Information Science* 17, 2: 139-144. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10095020.2013.772808?needAccess=true>
- Koler, B., Stopar, B., Sterle, O., Urbančič, T., Medved, K. (2019). Nov slovenski višinski sistem SVS2010. *Geodetski vestnik* 63, 1: 27-40. http://www.geodetski-vestnik.com/63/1/gv63-1_koler.pdf
- Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. (2019). Navodila za uporabo programa za pretvorbo višin med višinskimi sistemi RS – SiVis-v2.0, maj 2019. <http://sitranet.si/sivis.html>
- Medved, K., Kozmus Trajkovski, K., Berk, S., Stopar, B., Koler, B. (2020). Uvedba novega slovenskega višinskega sistema (SVS2010). *Geodetski vestnik* 64, 1: 33-42. http://www.geodetski-vestnik.com/64/1/gv64-1_medved.pdf
- Projekt EGP (2013). Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav. <http://www.gurs-egp.si/>.

- 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.
- Sterle, O., Koler, B. (2019). Določitev novega višinskega datuma Slovenije. Geodetski vestnik 63 1: 13-26. http://www.geodetski-vestnik.com/63/1/gv63-1_sterle.pdf.
- Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. (2018). Uradni list Republike Slovenije, štev. 80/2018. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2018-01-3854?sop=2018-01-3854>