



FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

**Ciljni raziskovalni projekt
V2-2294:**

**Razvoj državnega višinskega
transformacijskega modela med
SVS2000/Trst in SVS2010/Koper**

Zaključno poročilo

Ljubljana, 19. 3. 2024



FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo



FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

PODATKI O PROJEKTU

Naročnik:

**Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in
inovacijsko dejavnost Republike Slovenije**

Bleiweisova cesta 30
1000 Ljubljana

Odgovorna oseba:
dr. Špela Stres, direktor

Sonaročnik

Geodetska uprava Republike Slovenije

Zemljemerska ulica 12
1000 Ljubljana

Odgovorna oseba: Tomaž Petek, v.d. generalni direktor

Izvajalec:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Kongresni trg 12
1000 Ljubljana
Davčna številka: SI98643339
Račun: SI56 0110 0603 0708 865

Odgovorna oseba:
prof. dr. Gregor Majdič, rektor

Vodja projekta: doc. dr. Božo Koler

**FGG****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo**Pogodba:**

Naročnik: Pogodba o (so)financiranju znanstveno raziskovalne dejavnosti v letu 2023, številka 1000-23-0510 (Priloga 2)

Sonaročnik: Pogodba št. 2552-22-000088 o (so)financiranju in izvajanju raziskovalnega projekta z naslovom: »Razvoj državnega višinskega transformacijskega modela med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper« v okviru Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2022«.

Datum: 28. 10. 2022

Številka pogodbe: 2552-22-000088 (aneks 1)

Datum: 10. 08. 2023

Zastopniki pogodbe:

Vodja projekta: doc. dr. Božo Koler

Vsebinski spremljevalec GURS: dr. Klemen Medved

Avtorji:

Božo Koler, Tomaž Ambrožič, Simona Savšek

Sodelujoči v projektu:

doc. dr. Božo Koler

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

doc. dr. Klemen Kregar

doc. dr. Aleš Marjetič

doc. dr. Simona Savšek

doc. dr. Tilen Urbančič

doc. dr. Jernej Tekavec

Asist. dr. Gašper Štebe

mag. Janez Goršič

**KAZALO**

KAZALO	5
KAZALO SLIK	10
KAZALO PREGLEDNIC	8
POJMOVNIK	10
POVZETEK	11
1 DOLOČITEV OKVIRA IN POTREB ZA IZDELAVO VIŠINSKEGA TRANSFORMACIJSKEGA MODELA	13
1.1 Pregled literature in virov	13
1.1.1 Novi višinski sistemi in transformacije višin	13
1.1.2 Interpolacijske metode	20
1.2 Zakonski okvir na področju državnega referenčnega koordinatnega sistema v Sloveniji	21
2 DOLOČITEV RAZLIK VIŠIN REPERJEV MED STARIM IN NOVIM VIŠINSKIM SISTEMOM IN ANALIZA KAKOVOSTI RAZLIK VIŠIN REPERJEV	25
2.1 Pregled obstoječih podatkov o višinah reperjev	25
2.2 Določitev razlik višin reperjev med novim in starim višinskim sistemom	26
2.3 Določitev natančnosti višin reperjev	27
3 IZBIRA REPERJEV, IZDELAVA IN ANALIZA KAKOVOSTI VIŠINSKE TRANSFORMACIJSKE PLOSKVE	32
3.1 Izbira reperjev za izdelavo višinske transformacijske ploskve	32
3.1.1 Podatki za višinsko transformacijsko ploskev na osnovi merjenih višin reperjev v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper – sloj 1.045 reperjev	32
3.1.2 Podatki za transformacijsko ploskev na osnovi merjenih in preračunanih višin reperjev v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper	34
3.2 Izdelava višinske transformacijske ploskve	41
3.3 Analiza kakovosti višinske transformacijske ploskve	43
3.3.1 Analiza kakovosti interpolacijskih metod na osnovi sloja razlik višin na sloju 1.045 reperjev oziroma sloju 2.022 reperjev	43
3.3.2 Analiza kakovosti višinske transformacijske ploskve sloja 2.126 reperjev na osnovi razlik višin na kontrolnih reperjih	44
3.4 Izdelava končne višinske transformacijske ploskve in ploskve za oceno natančnosti višinske transformacijske ploskve	46
3.4.1 Zapis višinske transformacijske ploskve s celično mrežo	48
3.4.2 Izdelava ploskve za oceno natančnosti višinske transformacijske ploskve	48
4 PROGRAMSKI PAKET ZA TRANSFORMACIJO VIŠIN IN NAVODILA ZA UPORABO	50
4.1 Izdelava programskega paketa za transformacijo višin	50



4.1.1 Metoda interpolacije.....	50
4.2 Navodila za uporabo programskega paketa ViTra.....	51
5 ANALIZA KAKOVOSTI KONČNE VIŠINSKE TRANSFORMACIJSKE PLOSKVE (SLO-VTP2024).....	52
5.1 Analiza kakovosti SLO-VTP2024 na točkah za določitev višinske transformacijske ploskve – sloj 2.116 reperjev	52
5.2 Analiza kakovosti SLO-VTP2024 na kontrolnih reperjih	53
5.2.1 Analiza kakovosti na 8.775 kontrolnih reperjih.....	54
5.2.2 Analiza kakovosti na 8.693 kontrolnih reperjih.....	55
5.2.3 Analiza kakovosti na kontrolnih reperjih, ki pripadajo različnemu redu nivelmanske mreže.....	57
5.2.4 Analiza kakovosti na kontrolnih reperjih, ki so stabilizirani v posameznih zankah nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije in po območjih.....	58
5.2.5 Analiza kakovosti na kontrolnih reperjih, ki so stabilizirani v posameznih mestnih nivelmanskih mrežah.....	59
6 DISEMINACIJA REZULTATOV PROJEKTA	61
6.1 Diseminacija na nacionalni ravni	61
6.1.1 Predstavitev poteka dela in rezultatov naročniku.....	61
6.1.2 Spletna stran projekta	61
6.2 Diseminacija za strokovno javnost.....	62
6.2.1 Strokovno/znanstveni članki objavljeni v strokovnih/znanstvenih revijah ali na simpozijih	62
7 ZAKLJUČEK.....	63
8 <i>LITERATURA IN VIRI</i>	65
PRILOGE	68

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Transformacijska ploskev Avstrije za transformacijo višin med starim in višinskim sistemom EVRF2000 - razlika ortometričnih in sferoidnih višin (Vir: BeV, 2020).....	15
Slika 2: Hrvaški transformacijski model HTMV14-v.2 (Vir: Radanović in sod., 2017)	16
Slika 3: Območje Krakova z reperji 1. reda (rdeče) in nižjih redov (črno) (Vir: Ligas in Banasik, 2012).....	17
Slika 4: Mehiška transformacijska ploskev (Vir: Carrera-Hernández, 2020)	19
Slika 5: Transformacijska ploskev za transformacijo višin v lokalnem višinskem sistemu Lyttelton v novi višinski sistem NZVD2013 (Vir: LINZ, 2022).....	20
Slika 6: Nova nivelmanska mreža 1. reda z oznako nivelmanskih poligonov in zank	26
Slika 7: Stara nivelmanska mreža Slovenije.....	28
Slika 8: Skica reperjev, ki so bili vključeni v izmero SVS2000/Trst in SVS2010/Koper – sloj 1.045 reperjev.....	33
Slika 9: Skica z reperji nižjih redov, ki so bili izmerjeni v SVS2000/Trst – sloj 2.022 reperjev	35
Slika 10: Skica razporeditve reperjev za izdelavo transformacijske ploskve v dopolnjeni nivelmanski mreži – sloj 2.126 reperjev	40
Slika 11: Višinske transformacijske ploskve na osnovi uporabljenih interpolacijskih metod.....	42
Slika 12: Histogram porazdelitve razlik višin na 8.700 kontrolnih reperjih.....	45
Slika 13: Prikaz večjih razlik višin na osnovi razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst in višinske transformacijske ploskve – sloj 2.126 reperjev.	46
Slika 14: Višinska transformacijska ploskev na osnovi interpolacijske metode kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu – sloj 2.116 reperjev.....	47
Slika 15: Ploskev za oceno natančnosti določitve SLO-VTP2024	49
Slika 16: Celica višinske transformacijske ploskve z interpolirano točko $T(\lambda, \phi)$	51
Slika 17: Histogram porazdelitve razlik višin na 2.116 reperjih za določitev SLO-VTP2024	53
Slika 18: Histogram porazdelitve razlik višin na 8.775 kontrolnih reperjih.....	54
Slika 19: Prikaz večjih razlik višin na osnovi razlik preračunanih in transformiranih višin v SVS2010/Koper – SLO-VTP2024	55
Slika 20: Histogram porazdelitve razlik višin na 8.693 kontrolnih reperjih	56
Slika 21: Nivelmanske zanke in območja s statističnimi cenilkami.....	58
Slika 22: Izpuščeni reperji na območju Ljubljanskega barja in Zaloga	60



KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Zapis in kakovost višin v podatkovnih zbirkah GURS	23
Preglednica 2: Podatki o številu in % reperjev z višinami v SVS2010/Koper in SVS2000/Trst.....	25
Preglednica 3: Nivelmanski poligoni, ki so bili vključeni v staro in dopolnjeno nivelmansko mrežo in referenčni standardni odklon po izravnavi	29
Preglednica 4: Primer razlike med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst med sosednjimi reperji, ki presega 10 mm (rdeče v besedilu)	32
Preglednica 5: Statistični kazalci za reperje, ki so bili vključeni v izmero SVS2000/Trst in SVS2010/Koper.....	33
Preglednica 6: Dodatni nivelmanski poligoni nižjih redov, ki so bili vključeni v izravnavo stare nivelmanske mreže in referenčni standardni odklon po izravnavi	34
Preglednica 7: Dodatni nivelmanski poligoni nižjih redov, ki so bili vključeni v izravnavo nove nivelmanske mreže in referenčni standardni odklon po izravnavi.....	36
Preglednica 8: Nove nivelmanske linije, ki so bile vključene v izravnavo stare nivelmanske mreže in referenčni standardni odklon po izravnavi	38
Preglednica 9: Analiza razlik nadmorskih višin reperjev med starimi reperji, ki so bili vključeni v staro in novo izmero nivelmanskih linij in novimi reperji (zeleno), ki so bili vključeni v izravnavo stare nivelmanske mreže...	39
Preglednica 10: Statistični kazalci za reperje, ki so bili vključeni v dopolnjeno nivelmansko mrežo in izbrani za izdelavo transformacijske ploskve	40
Preglednica 11: Statistični kazalci za dolžine med sosednjimi reperji, ki smo jih izbrali za izračun transformacijske ploskve	41
Preglednica 12: Statistične cenilke za sloja podatkov z 1.045 in 2.022 razlik višin in uporabljene interpolacijske metode.....	43
Preglednica 13: Statistične cenilke na 8.700 kontrolnih reperjih za sloj 2.022 reperjev za dve uporabljeni interpolacijski metodi	44
Preglednica 14: Statistične cenilke za oceno kakovosti višinske transformacijske ploskve na 8.700 kontrolnih reper jih	45



Preglednica 15: Odstopanja med sosednjimi reperji na območjih, kjer dobimo večje razlike višin na osnovi razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst in višinske transformacijske ploskve.....	46
Preglednica 16: Statistični kazalci za oceno natančnosti SLO-VTP2024	48
Preglednica 17: Statistične cenilke za oceno kakovosti SLO-VTP2024 na 2.116 reperjih.....	53
Preglednica 18: Statistične cenilke za oceno kakovosti SLO-VTP2024 na 8.775 kontrolnih reperjih	54
Preglednica 19: Izločeni reperji glede na red nivelmanskega poligona	56
Preglednica 20: Statistične cenilke za oceno kakovosti SLO-VTP2024 na 8.693 kontrolnih reperjih	57
Preglednica 21: Statistične cenilke za reperje posameznega reda nivelmanskih poligonov	57
Preglednica 22: Statistične cenilke za posamezne nivelmanske zanke in območja.....	59
Preglednica 23: Statistične cenilke za posamezne mestne nivelmanske mreže	60



POJMOVNIK

Nekaj osnovnih pojmov v zvezi s koordinatnimi/višinskimi sistemi in transformacijami med njimi:

- višinski sistem / referenčni koordinatni sistem (angl. height system – HRS / coordinate reference system – CRS) je dejansko vzpostavljen (realiziran) višinski/koordinatni sistem, v katerem so določene višine/koordinate temeljnih geodetskih točk – višinski/koordinatni sistem z definiranim geodetskim datumom;
- SVS2000/Trst je stari slovenski višinski sistem; sistem normalnih ortometričnih višin v višinskem datumu 2000 in z izhodiščem na mareografu v Trstu ... EPSG 5779;
- SVS2010/Koper je novi slovenski višinski sistem; sistem normalnih višin v višinskem datumu 2010 in z izhodiščem na mareografu v Kopru ... EPSG 8690;
- D96/TM je slovenski državni ravninski referenčni koordinatni sistem – slovenska realizacija skupnega evropskega terestričnega referenčnega sistema ETRS89 na podlagi EUREF izmer GPS v letih 1994–1996; geodetski datum 1996, elipsoid GRS80, prečna Mercatorjeva projekcija ... EPSG 3794;
- D96-17/TM je zadnja izboljšava slovenskega državnega ravninskega referenčnega koordinatnega sistema – realizacija ETRS89 na podlagi EUREF izmere GNSS v letu 2016, ki je kombinirana s predhodno realizacijo (D96/TM) – glej zgoraj;
- datumska transformacija (angl. datum transformation) je transformacija koordinat/višin med dvema referenčnima koordinatnima/višinskima sistemoma, ki vključuje spremembo geodetskega datuma;
- SVS2000/Trst \Leftrightarrow SVS2010/Koper je datumska transformacija med starim in novim višinskim sistemom Slovenije;
- SLO-VTP2024 je model datumske transformacije višin med starim in novim višinskim sistemom Slovenije (SVS2000/Trst \Leftrightarrow SVS2010/Koper) – višinska transformacijska ploskev iz leta 2024.



POVZETEK

V Sloveniji smo konec leta 2018 (Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema, 2018) prešli na nov višinski sistem z oznako SVS2010 (EPSG 8690) z višinskim datumom 2010 (Koper), ki nadomešča stari višinski sistem z oznako SVS2000 (EPSG 5779) z višinskim datumom 2000 (Trst) (Koler in sod., 2019, Medved in sod., 2020). Zakonsko podlago za ta prehod daje Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu (UL, 2014). Z uvedbo novega višinskega sistema so se spremenile višine točk na območju Slovenije od -1,4 cm do -30,8 cm. Srednja razlika višin znaša -13,2 cm.

Geodetska uprava RS 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. Posledica uvedbe novega višinskega sistema je, da 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.

V okviru Ciljnega raziskovalnega projekta V2-2294: Razvoj državnega višinskega transformacijskega modela med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper, smo razvili enotni višinski transformacijski model za območje Slovenije, ki ga sestavljajo višinska transformacijska ploskev – SLO-VTP2024, program za transformacijo višin - ViTra in ploskev za oceno natančnosti višinske transformacijske ploskve. Višinski transformacijski model bo različnim upravljavcem prostorskih podatkov omogočal enostaven prehod iz starega v nov višinski sistem.

Višinska transformacijska ploskev je izdelana na osnovi razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst na 2116 reperjih, z interpolacijsko metodo kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu. Zaradi poenotenja različnih ploskev, ki jih vodi GURS, je višinska transformacijska ploskev (SLO-VTP2024) določena s celično mrežo, na enak način kot kvazigeoid AGM2000 in slovenska višinska referenčna ploskev SLO-VRP2016/Koper.

Za transformacijo višin je bil razvit program ViTra za transformacijo višin iz SVS2000/Trst v SVS2010/Koper in obratno. Program ViTra je razvit v okolju MS Visual Studio 2022 v programskem jeziku Visual C++ in zahteva operacijski sistem MS Windows, ki je novejši od Windows XP. Za transformacijo višin so uporabljene optimizirane enačbe bilinearne interpolacije.

Notranja natančnost transformacije višin, ki je bila ocenjena na osnovi razlik med preračunanimi in transformiranimi višinami na 2.116 reperjih, ki smo jih uporabili za



FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

določitev višinske transformacijske ploskve, znaša 3,3 mm. Zunanjo natančnost, ki znaša 9,9 mm, smo ocenili na 8.693 kontrolnih reperjih.

Na osnovi opravljenih analiz kakovosti na kontrolnih reperjih lahko zaključimo, da SLO-VTP2024, ki je vgrajena v program ViTra, omogoča dovolj kakovostno transformacijo višin v zbirkah prostorskih podatkov, ki jih vodi Geodetska uprava Republike Slovenije in številni drugi upravljavci ter državni organi.



1 DOLOČITEV OKVIRA IN POTREB ZA IZDELAVO VIŠINSKEGA TRANSFORMACIJSKEGA MODELA

1.1 Pregled literature in virov

Pregledali smo literaturo in vire, ki obravnavajo uvajanje novih višinskih sistemov, transformacije višin in različne metode interpolacij.

1.1.1 Novi višinski sistemi in transformacije višin

Geodetska uprava RS 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, dopolnujemo 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. Razkorak v podatkih lahko odpravimo s transformacijo podatkovnih nizov z višinami v starem višinskem sistemu v nov višinski sistem. Ker razlika višin med starim višinskim sistemom (SVS2000/Trst) in novim višinskim sistemom (SVS2010/Koper) ni konstantna, ni možno na enostaven način preračunati oziroma transformirati podatkovne zbirke iz starega v nov višinski sistem.

Za transformacijo višin, ki jih pridobimo z višinomerstvom GNSS, je na voljo program SiVis. Program omogoča enostavno transformacijo višin iz starega v nov višinski sistem, na osnovi razlik geoidnih višin med starim geoidom (AGM2000/Trst) in novo višinsko referenčno ploskvijo VRP2016/Koper. Za transformacijo višin potrebujemo podatke izvornih izmer GNSS, ki večinoma niso na voljo. Za transformacijo višin, ki so določene z drugimi metodami izmere ali podatkov o višinah v podatkovnih nizih, omenjeni program ni primeren. Postopek transformacije s programom SiVis je dolgotrajen, velikokrat neizvedljiv (pomankljivi podatki) in ni ekonomsko upravičen. Zelo vprašljiva pa je tudi njegova zanesljivost in kakovost, če transformiramo višine, ki niso določene z izmero GNSS.

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



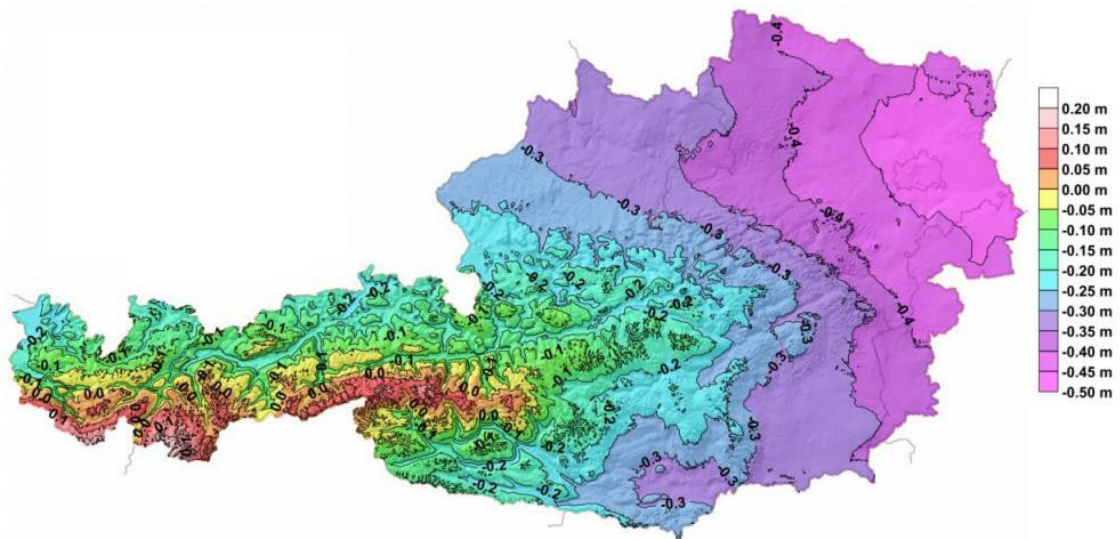
višine v podatkovnih nizih transformirane na različne načine in z različnimi lokalnimi transformacijskimi modeli. Kakovost tako pridobljenih lokalnih transformacijskih modelov je odvisna od kakovosti določitve višin danih reperjev, njihovega števila in prostorske razporeditve. Problem predstavlja tudi sledljivost transformacije višin, saj uporabljeni postopki za transformacijo višin običajno niso dokumentirani, kar lahko vodi v nove razkorake med transformiranimi višinami v podatkovnih nizih.

Dejstvo je, da mora vesten upravljavec prostorskih podatkov pri transformaciji višin iz starega v nov višinski sistem vzpostaviti nadzor nad kakovostjo, predvsem pa pravilnostjo transformacije višin, ki so zabeležene v uradnih evidencah. Zgoraj navedene probleme lahko rešimo in uredimo s kreiranjem enotnega višinskega transformacijskega modela za območje Slovenije, ki ga sestavljajo višinska transformacijska ploskev, program za transformacijo višin in ploskev za oceno natančnosti višinske transformacijske ploskve. Višinski transformacijski model bo različnim upravljavcem prostorskih podatkov omogočal enostaven prehod iz starega v nov višinski sistem.

V številnih državah so v zadnjih letih uvajali nove višinske sisteme, ki so zamenjali stare višinske sisteme. Tako so uvedli nove višinske datume in nove sisteme višin. Običajno so star višinski sistem normalnih ortometričnih višin zamenjali s sodobnim fizikalnim višinskim sistemom, ki temelji na gravimetrični in nivelmanski izmeri. Osnovo predstavljajo geopotencialne kote, ki jih na osnovi normalnega težnostnega pospeška preračunamo v normalne višine.

a) Avstrija

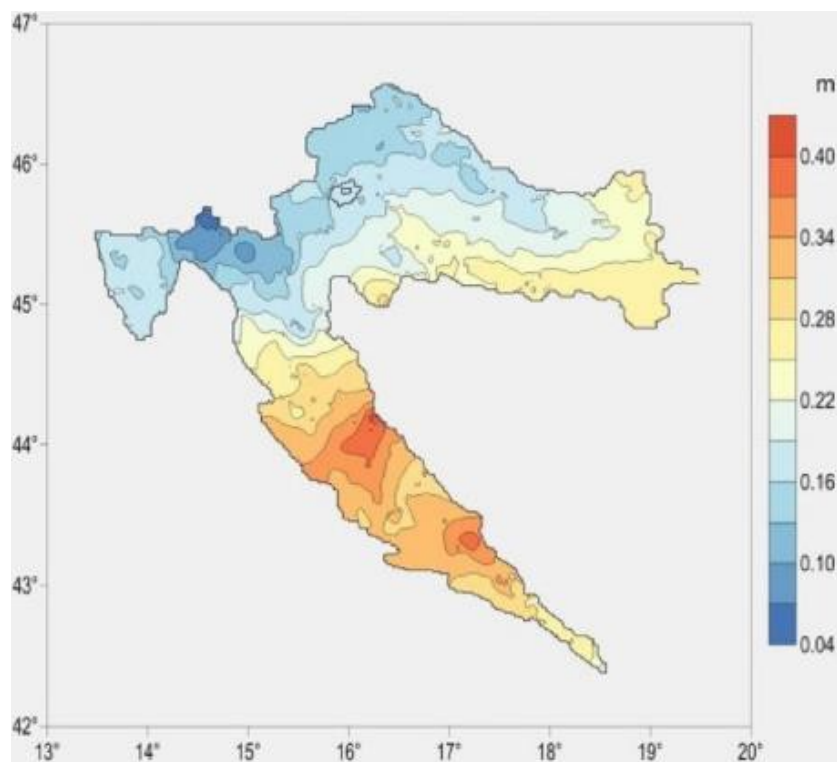
Od leta 2000 so v Avstriji nadmorske višine reperjev podane v EVRF2000 z višinskim datumom Amsterdam in v starem višinskem sistemu v vertikalnem datumu Trst. Višine reperjev v EVRF2000 so določene v višinskem sistemu normalnih in ortometričnih višin. Stare višine reperjev so določene v sistemu sferoidnih višin. Za transformacijo višin so razvili transformacijsko ploskev z velikostjo celice 15" x 22,5" (približno 500 m x 500 m), ki omogoča transformacijo višin z natančnostjo boljšo od ± 5 cm (Slika 1) (BeV, 2020). Transformacijsko ploskev so modelirali za razlike normalnih in sferoidnih višin reperjev, ter razlike ortometričnih in normalnih višin (Briese in sod., 2011).



Slika 1: Transformacijska ploskev Avstrije za transformacijo višin med starim in višinskim sistemom EVRF2000 - razlika ortometričnih in sferoidnih višin (Vir: BeV, 2020)

b) Hrvaška

Republika Hrvaška je leta 2004 star višinski sistem z oznako HHVRS1875, z višinskim datumom Trst (HVRS1875), zamenjala z novim višinskim sistemom HHVRS71 in višinskim datumom, ki je bil določen na osnovi mareografskih opazovanj na mareografih vzdolž vzhodne obale Jadranskega morja z oznako HVRS1971. Za prehod iz starega v novi višinski sistem so izdelali višinski transformacijski model (HTMV08-v.1), na osnovi analize razlik višin na 10.564 reperjih med starim in novim višinskim sistemom. Transformacijska ploskev je izdelana v obliki celične mreže, ki je posledica spremembe višinskega datuma in modela popačenj višin (Razumović in sod. 2013). Transformacijski model so leta 2014 nadgradili s transformacijskim modelom HTMV14-v.2 (Slika 2).



Slika 2: Hrvaški transformacijski model HTMV14-v.2 (Vir: Radanović in sod., 2017)

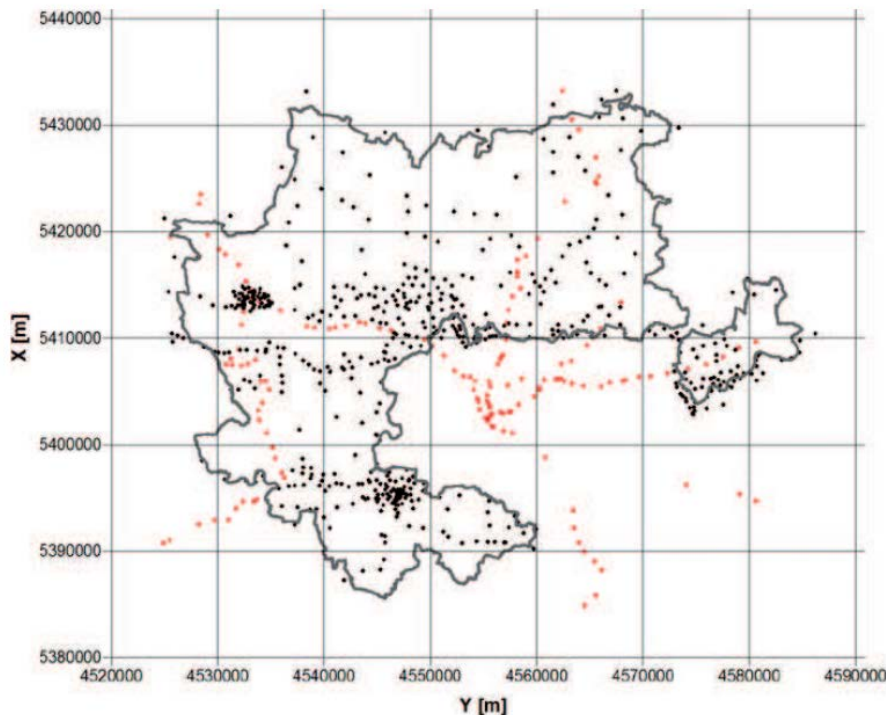
Radanović in sodelavci (2017) so analizirali kakovost transformacije višin s transformacijskim modelom (HTMV08-v.1) in leta 2014 nadgrajenim modelom HTMV14-v.2. Za transformacijo višin iz transformacijskega modela so uporabili bilinearno interpolacijo. Kvaliteto transformacije višin so analizirali na osnovi reperjev, ki so jih uporabili za modeliranje transformacijskega modela (t. i. notranja natančnost je 2,1 mm). Zunanjo natančnost (8,2 mm) so ocenili na osnovi odstopanj na reperjih, ki niso bili vključeni v modeliranje transformacijskega modela. Rezultati so dobri in omogočajo kakovostno transformacijo med starim in novim višinskim sistemom za večino geodetskih podatkov in podatkov, ki so vodeni v podatkovnih nizih.

c) Poljska

Poljska je prav tako uvedla nov višinski sistem. Tako je stari višinski sistem Kronstadt´60 zamenjal novi višinski sistem Kronstadt´86, ki je del državnega prostorskega referenčnega sistema. Način transformacije višin je prepuščen lokalnim skupnostim. Na osnovi analize razlik višin na 150 reperjih v Krakovu so



ugotovili, da je razlika med starim in novim višinskim sistemom od -5,1 cm do -2,8 cm (Slika 3).



Slika 3: Območje Krakova z reperi 1. reda (rdeče) in nižjih redov (črno) (Vir: Ligas in Banasik, 2012)

Za transformacijo višin so uporabili polinomski regresijski model, s katerim so dosegli homogenost in zadovoljivo natančnost transformacije višin. Analiza natančnosti transformacije višin je pokazala, da natančnost znaša od 5 do 8 mm (Ligas in Banasik, 2012).

d) Kanada

Kanada je star višinski datum Canadian Geodetic Vertical Datum 1928 (CGVD28) zamenjala z novim višinskim datumom CGVD2013. Leta 2022 bo US National Geodetic Survey zamenjal North American Vertical Datum of 1988 (NAVD 88) z višinsko referenčno ploskvijo, ki temelji na geoidu North American-Pacific Geopotential Datum of 2022 (NAPGD2022). Razlike višin reperjev med starim in novim višinskim datumom znašajo od -65 cm do 55 cm (Natural Resources Canada, 2020). Ali je ta razlika pomembna za uporabnike ali ne, je odvisno od natančnosti višin, ki jih želimo transformirati. Natančnost so razdelili v 3 kategorije:



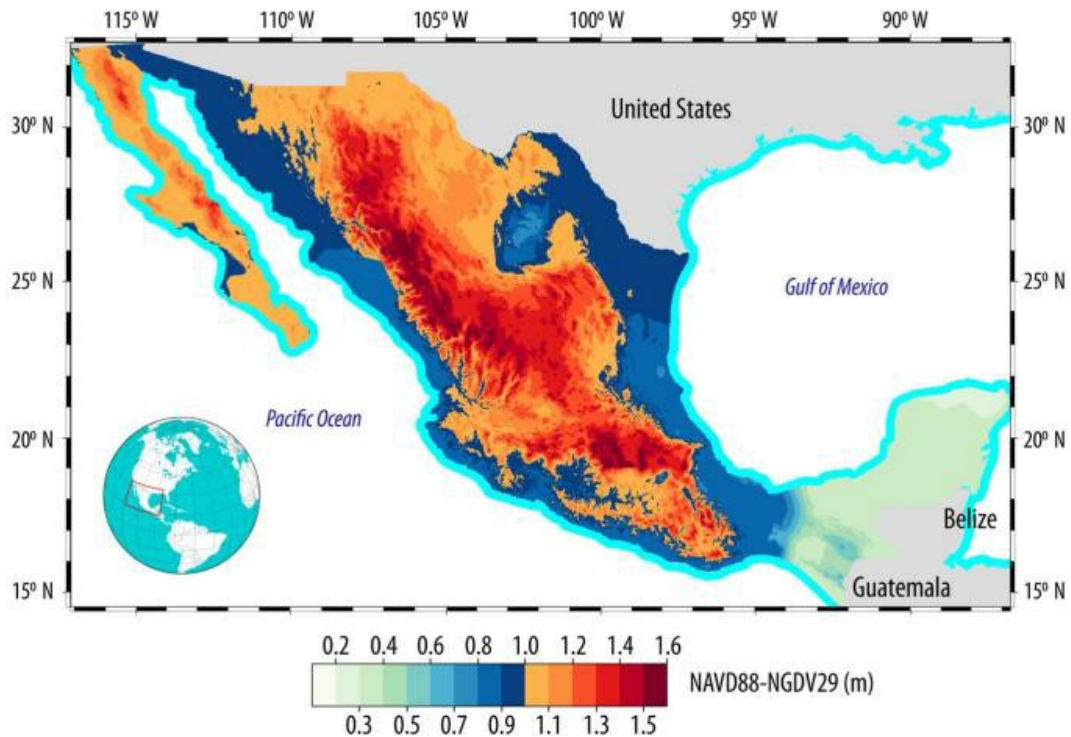
- 1. kategorija: natančnost višin je nekaj metrov (digitalni model višin), kar pomeni, da razlike zaradi uvedbe novega višinskega datuma ni potrebno upoštevati,
- 2. kategorija: natančnost višin do 20 cm na večjih območjih (lidarska snemanja), razliko v višinskem datumu je potrebno upoštevati,
- 3. kategorija: natančnost višin boljša od 2 cm na manjših območjih (n. pr. kataster gospodarske javne infrastrukture). Tudi v tem primeru je potrebno upoštevati razliko med starim in novim višinskim sistemom. Zanimivo je, da priporočajo konstanten zamik na osnovi transformacijskih parametrov.

Zaradi spremembe višinskega datuma, so uvedli priporočila za transformacijo višin iz starega v nov višinski datum na osnovi:

- transformacijskih parametrov, ki jih uporabniki določijo s precizno izmero GNSS na reperjih,
- nacionalnega transformacijskega modela, ki je na voljo različnim uporabnikom (Natural Resources Canada, 2020).

e) Mehika

V Mehiki so leta 2015 stari višinski datum NGVD29 (U.S. National Geodetic Vertical Datum 1929) zamenjali z novi višinskim datumom NAVD88 (North American Vertical datum 1988). Transformacijsko ploskev so določili na osnovi 31.825 razlik višin reperjev, ki so določene v obeh višinskih datumih. Razlike višin znašajo od -40 cm do 150 cm in so manjše ob obali in večje v gorskih predelih (Carrera-Hernández, 2020). Za transformacijo višin so razvili transformacijsko ploskev z velikostjo celične mreže 1' x 1' (1.800 m x 1.800 m). Transformacijsko ploskev so določili z metodo kriging in upoštevanjem zunanjega trenda v okolici (Slika 4). Za transformacijo višin so uporabili bilinearno interpolacijo.



Slika 4: Mehiška transformacijska ploskev (Vir: Carrera-Hernández, 2020)

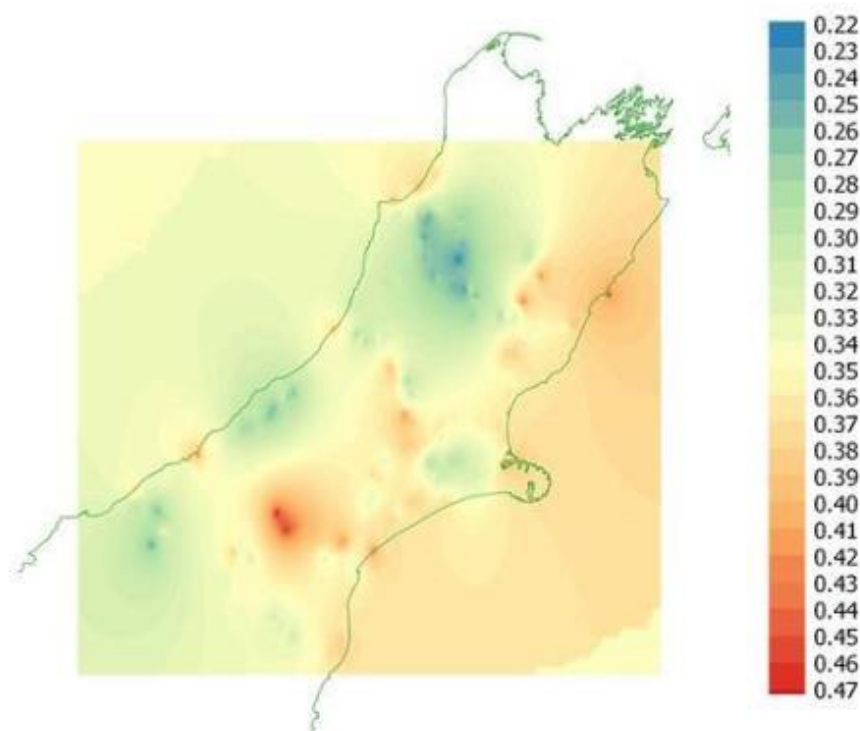
f) Nova Zelandija

Na Novi Zelandiji uporabljajo tri vertikalne datume (Land Information New Zealand – LINZ, 2022):

- »New Zealand Vertikal Datum 2016« (NZVD2016), je nov uradni višinski datum Nove Zelandije in Tasmanije, ki je bil sprejet 1. 7. 2017 in je nadomestil stari višinski datum (NZVD2009). Leta 2016 so določili tudi nov višinski sistem normalnih ortometričnih višin. V nivelmansko mrežo, ki definira nov višinski datum in višinski sistem je vključenih več kot 48.500 točk.
- »Local mean sea level datums« (LVD), ki so bili določeni za posamezne otoke in območja. Uporabljajo 13 lokalnih višinskih datumov. Višinski sistem predstavljajo normalne ortometrične višine, ki temeljijo na izmeri nivelmanskih mrež, ki so jih izvedli v 60. in 70. letih prejšnjega stoletja.
- »New Zealand Geodetic Datum 2000 elipsoidal height NZVD2016« in nov model geoida NVZGeoid2016, ki omogoča transformacijo elipsoidnih višin v normalne ortometrične višine.



Za potrebe transformacije višin so razvili različne transformacijske ploske z velikostjo celične mreže $2' \times 2'$ (3.600 m x 3.600 m), ki omogočajo transformacijo višin med vsemi zgoraj naštetimi višinskimi datumi. Transformacijske ploskve so določene na osnovi razlik višin na kontrolnih točkah, katerih višine so bile določene v vseh treh višinskih datumih. Kakovost transformacije 1 mm in 0,5 ppm, zaradi napake popačenja. V nov višinski datum NZVD2016 so transformirali vse podatkovne nize.



Slika 5: Transformacijska ploskev za transformacijo višin v lokalnem višinskem sistemu Lyttelton v novi višinski sistem NZVD2013 (Vir: LINZ, 2022)

1.1.2 Interpolacijske metode

Ayeni in Samuel, 2014, obravnavata različne interpolacijske metode, ki jih lahko uporabimo za modeliranje višinske transformacijske ploskve. Transformacijska ploskev je tridimenzionalna in jo sestavlja neprekinjeno polje vrednosti po celotnem območju izdelane ploskve. 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.



Kriging je interpolacijska metoda, ki spada med geostatistične metode. Deluje na podlagi modela variograma, ki opisuje stopnjo prostorske odvisnosti prostorskega naključnega polja. Uteži pri tej metodi so izračunane s pomočjo podatkovno vodene funkcije uteži. Ta metoda zagotavlja najboljšo interpolacijo, ko so na voljo dobri modeli variogramov (Arun, 2016). S kakovostjo in z različnimi metodami, ki so prisotni pri geostatističnih metodah modeliranja z metodo kriging, so se ukvarjali tudi Manchuk in Clayton (2007), Ligas in Kulczycki (2014). Po njihovih predlogih bomo dobljene rezultate analizirali v projektu in bodo izhodišče za predlagani projekt. Kriging poleg izračuna interpolirane vrednosti omogoča tudi izračun variance napovedi.

Metoda inverzne razdalje (Inverse distance to weighting) je ena od determinističnih metod interpolacije. Metoda določa vrednosti na osnovi uteži. S to metodo se podatkom določi uteži tako, da vpliv točke upada z oddaljenostjo od vozlišča mreže. Upadanje vpliva z razdaljo določa izbrana funkcija. Večja kot je utež, manj učinka imajo točke interpolacije daleč od vozlišča mreže (Ayeni in Samuel, 2014).

Interpolacijska metoda triangulacije (Triangulation) deluje na osnovi ustvarjanja trikotnikov nepravilne oblike. Točke so povezane tako, da noben trikotnik ne preseka nobenega roba trikotnika. Rezultat izrisa trikotnikov je preplet trikotnikov na izbranem območju interpolacije. Vsak trikotnik določa ravnino nad vozlišči mreže, ki ležijo znotraj trikotnika. Trikotnik definirajo tri podatkovne točke, ki določajo nagib in višino trikotnika (Ayeni in Samuel, 2014).

Urbančič in sod. (2015, 2016) so analizirali vpliv izbire različnih interpolacijskih metod na izračun prostornin zemeljskih mas na osnovi podatkov terestričnega laserskega skeniranja. Navedene interpolacijske metode je mogoče uporabiti tudi za interpolacijo višinske transformacijske ploskve na osnovi razlik višin reperjev med starim in novim višinskim sistemom.

1.2 Zakonski okvir na področju državnega referenčnega koordinatnega sistema v Sloveniji

Po Zakonu o državnem geodetskem referenčnem sistemu iz leta 2014 je državni prostorski koordinatni sistem določen s parametri horizontalne in vertikalne sestavine ter z državno kartografsko projekcijo. Parametri horizontalne sestavine so bili določeni že v istem letu z Uredbo o določitvi parametrov horizontalne sestavine in gravimetričnega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema, imenih teh sestavin in državne kartografske projekcije. Konec leta 2018 je



Vlada Republike Slovenije sprejela še Uredbo o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema, s katero je bil uveden novi državni višinski sistem z imenom Slovenski višinski sistem 2010 in z oznako SVS2010/Koper. Gre za sistem normalnih višin v višinskem datumu Koper, ki je nadomestil stari sistem normalnih ortometričnih višin v višinskem datumu Trst (Slovenski višinski sistem 2000 – SVS2000/Trst). Razlika med višinskim datumom Koper in Trst znaša 16 cm. SVS2010/Koper temelji na novi nivelmanski mreži 1. reda Slovenije, ki je bila večinoma izmerjena v zadnjem desetletju. V novi višinski datum so preračunani vsi nivelmanski poligoni nižjih redov, tako imajo vsi reperji, vodeni v evidenci geodetskih točk Geodetske uprave republike Slovenije, novo določene višine v višinskem datumu Koper. Razlika višin med starim in novim višinskim sistemom znaša od 1,4 cm do 30,8 cm.

Posledica uvajanja sodobnega višinskega sistema je sprememba višin, ki zahteva tudi transformacijo višin v podatkovnih nizih, to je obravnavano v Koler in sod. (2012, 2019) in Medved in sod. (2020). Metodologija določitve novega višinskega datuma Slovenije je objavljena v Sterle in Koler (2019). Navedena literatura bo služila za predstavitev vzroka in posledic uvedbe novega višinskega sistema v Sloveniji.

Ker razlika višin med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper ni konstantna, ni mogoče na enostaven način preračunati oziroma transformirati podatkovne zbirke iz starega v novi višinski sistem, ki jih uporabljajo na Geodetski upravi Republike Slovenije in številni drugi upravljavci ter državni organi. Ko obstoječe podatkovne zbirke, ki vsebujejo tudi podatek o nadmorski višini, dopolnjujemo z novimi podatki, kjer so višine določene v novem SVS2010/Koper, pride do razlike v višinah. Podobni problemi so prisotni pri dopolnjevanju starih lokacijskih prikazov, ki jih potrebujemo za prostorsko načrtovanje, projektiranje novih objektov v prostoru in ne nazadnje za evidentiranje nepremičnin, ki so bile izdelani pred letom 2019, z novimi podatki.

S problemom transformacije višin iz SVS2000/Trst v SVS2010/Koper se trenutno vsak upravljavec podatkovnih zbirk ukvarja sam. Tako so višine v podatkovnih zbirkah transformirane na različne načine in z različnimi pristopi. 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 zbirkah. Uvedba transformacije na osnovi višinske transformacijske ploskve, ki bi bila razvita za celotno območje Slovenije in ustrezní program, bi različnim upravljavcem podatkovnih zbirk in uporabnikom podatkovnih zbirk omogočal enostavno in enolično transformacijo višin iz starega v novi višinski sistem ali obratno.



1.3 Pregled podatkovnih zbirk Geodetske uprave Republike Slovenije s podatkom o višinah

V preglednici 1 so povzeti zapisi o višinah v podatkovnih zbirkah GURS. Zapis in kakovost višin za posamezno zbirko je opredeljena v področni zakonodaji. Razen podatkov o evidenci slovensko – italijanske in slovensko – madžarske meje, kjer je natančnost določitve višin 1 cm, so podatki o ostalih višinah, ki se vodijo v podatkovnih zbirkah GURS, nizke natančnosti, saj so podatki vodeni na decimeter ali nekaj decimetrov, na nekaterih območjih tudi na meter. Višine točk državne meje z Italijo in Madžarsko so določene z višinomerstvom GNSS, ki jih lahko transformiramo v novi višinski sistem s programom SiVis, z določitvijo geoidnih višin na starem geoidu AGM2000 in novi višinski referenčni ploskvi VRP2016-Koper (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2019). Glede na kakovost vodenja podatkov o višinah v ostalih podatkovnih zbirkah pa bi transformacijo v novi višinski sistem lahko izvedli s 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-sestavu/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-sestavu/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-sestavu/geodetska-uprava/zakonodaja-geodetske-uprave/ https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/zbirni-kataster-gospodarske-javne-infrastrukture/



Podatkovna zbirka	Zapis/kakovost višin	Opomba
Evidenca državne meje	Višina se vodi na cm oz. m natančno.	V zdaj veljavnih mejnih dokumentih: 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 (DMV)	Višine v modelu so zaokrožene na cm.	Srednje odstopanje DMV 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 (DTM)	Točnost pridobljenih višin je ± 1 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.



2 DOLOČITEV RAZLIK VIŠIN REPERJEV MED STARIM IN NOVIM VIŠINSKIM SISTEMOM IN ANALIZA KAKOVOSTI RAZLIK VIŠIN REPERJEV

2.1 Pregled obstoječih podatkov o višinah reperjev

GURS v bazi višin vodi podatke o višinah vseh reperjev, ki so stabilizirani v državnih 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 reperjih, ki so razdeljeni v različne redove.

Preglednica 2: Podatki o številu in % reperjev z višinami v SVS2010/Koper in SVS2000/Trst

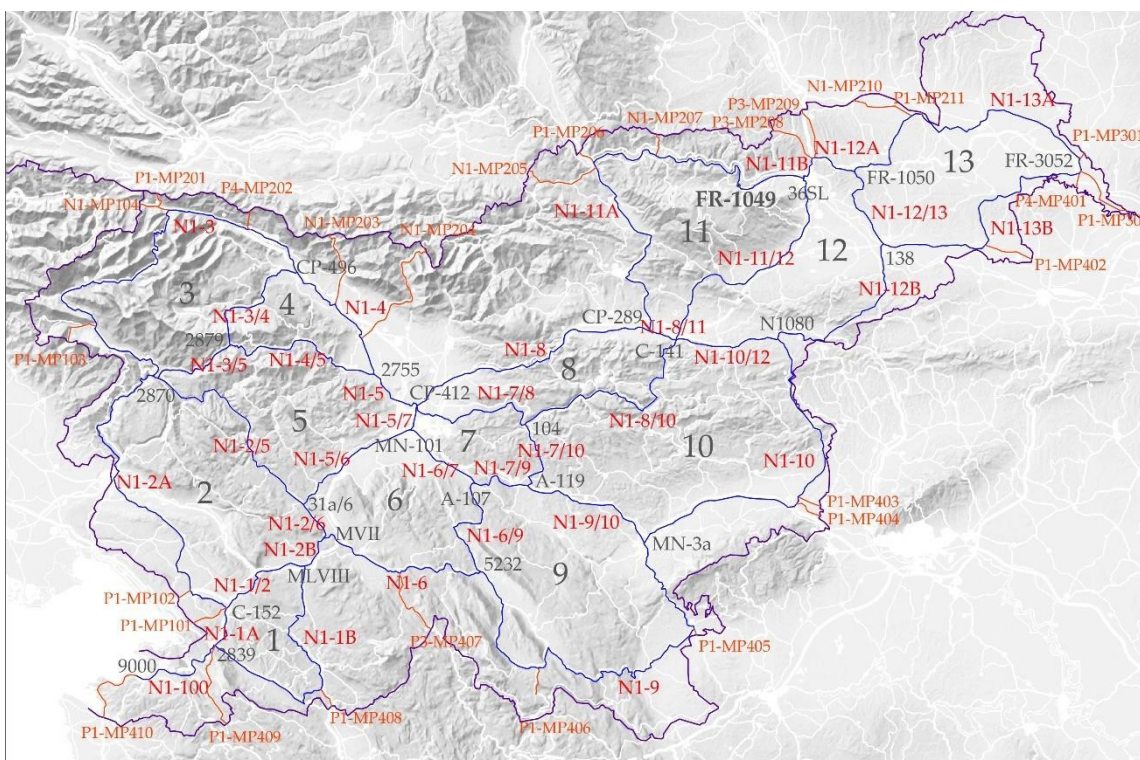
Red nivelmanskega poligona	Reperji		Reperji z višino v obeh višinskih sistemih	
	n	%	n	%
1.	2.871	23,9	2.135	74,4
2.	662	5,5	568	85,8
3.	955	7,9	936	98,0
4.	2985	24,8	2973	99,6
Mestni	4.548	37,8	4477	98,4
Skupaj	12.021	100	11.089	92,2

Iz preglednice 2 vidimo, da je v bazi geodetskih točk vodenih 12.021 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 reperjem 4. reda (99,6 %) in najmanj reperjem 1. reda (74,4 %). Rezultati so pričakovani, saj je bila nivelmanska mreža 1. reda ponovno nivelirana (Slika 6). Stabilizirani so bili novi reperji, ki višine nimajo določene v starem višinskem sistemu. Reperji nižjih redov so bili preračunani iz starega v novi višinski sistem. Reperji, kjer je bilo odstopanje med dano in merjeno višinsko razliko preveliko, za katerikoli red nivelmanske mreže, v bazi niso zajeti. Zato pri nižjih redovih nimamo iz starega v novi višinski sistem preračunanih vseh reperjev.



2.2 Določitev razlik višin reperjev med novim in starim višinskim sistemom

Razlike višin med novim in starim višinskim sistemom lahko določimo za vse reperje, ki so bili vključeni v nivelmanske izmere II. nivelmana visoke natančnosti v letu 1971 in reperje nižjih redov, ki so bili vključeni v nivelmanske izmere v 50. in 60. letih prejšnjega stoletja in izmero nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije (slika 6). Geodetska uprava RS je zato od leta 2006 naprej sistematično izvajala sanacijo nove nivelmanske mreže 1. reda (Koler in sod., 2019). Izmera nove nivelmanske mreže 1. reda je bila uspešno zaključena leta 2015. Večino meritev so izvedle terenske ekipe GURS, 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 leti 2013 in 2016 v okviru Finančnega mehanizma Evropskega gospodarskega prostora (Režek, 2017). V bazi geodetskih točk je 1.213 reperjev, ki so bili vključeni v nivelmansko izmero v starem višinskem sistemu SVS2000/Trst in novem višinskem sistemu SVS2010/Koper.



Slika 6: Nova nivelmanska mreža 1. reda z oznako nivelmanskih poligonov in zank



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

$$\Delta H_{VTP} = H_{SVS2010} - H_{SVS2000} \quad 2.1$$

V enačbi 2.1 so:

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

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

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

2.3 Določitev natančnosti višin reperjev

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 ploskev za oceno kakovosti višinske transformacijske ploskve. Oceno natančnosti razlik višin reperjev si izračunamo po enačbi:

$$\sigma_{\Delta H_{VTP}} = \sqrt{\sigma_{H_{SVS2010}}^2 + \sigma_{H_{SVS2000}}^2} \quad 2.2$$

V enačbi 2.2 so:

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

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

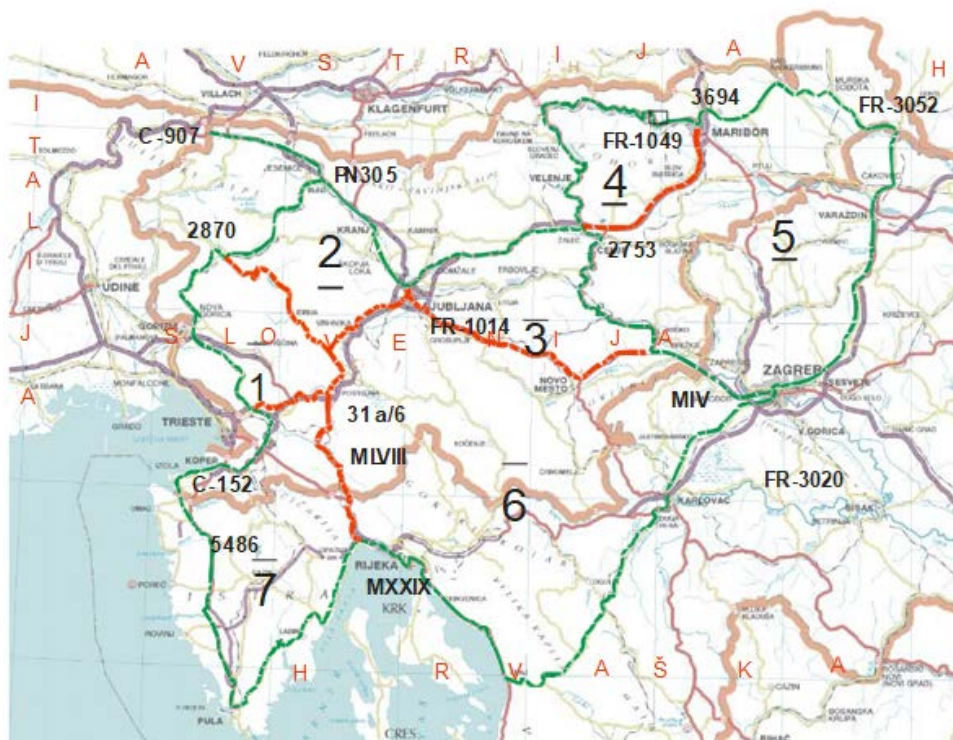
$\sigma_{H_{SVS2000}}$. . . natančnost določitve nadmorske višine reperjev v SVS2000/Trst.

Reperji, ki so bili vključeni v izmero nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije, so bili izravnani s programom VimWin (Ambrožič, 2016) in 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 znaša od 0,06 mm do 6,08 mm (Koler in sod., 2019).

Reperji, ki imajo določeno višino tudi v SVS2000/Trst, v bazi geodetskih točk GURS nimajo zapisane tudi natančnosti določitve višin reperjev. Stara nivelmanska mreža v SVS2000/Trst je bila izravnana z navezavo na fundamentalni reper FR-1048. Izravnani so bili nivelmanski poligoni med vozliščnimi reperji stare nivelmanske mreže



(slika 7). Po izravnavi vozlišč pa so bile izravnane nivelmanske linije na posameznih nivelmanskih poligonih, ki so vključeni v staro nivelmansko mrežo in nivelmanski poligoni nižjih redov.



Slika 7: Stara nivelmanska mreža Slovenije

Natančnost nadmorskih višin reperjev v SVS2000/Trst smo ocenili v naslednjih korakih:

- Izravnavo nivelmanskih linij stare nivelmanske mreže. Referenčni standardni odklon po izravnavi znaša 0,86 mm/km in natančnost določitve nadmorskih višin reperjev znaša od 0,12 mm do 11,46 mm.
- Izravnavo dopolnjene stare nivelmanske mreže z nivelmanskimi linijami nižjih redov, ki so bile vključene v izmero nove nivelmanske mreže 1. reda (preglednica 3).

V preglednici 3 in prilogi 1 so zbrani podatki o nivelmanskih poligonih, ki so bili vključeni v izravnavo stare nivelmanske mreže in referenčni standardni odkloni po izravnavi dopolnjene nivelmanske mreže.



Preglednica 3: Nivelmansi poligoni, ki so bili vključeni v staro in dopolnjeno nivelmansko mrežo in referenčni standardni odklon po izravnavi

Datoteka	$\hat{\sigma}_{0i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivelmansi poligon	
		Red	Številka
Mreza	0,86	NVN	2, 3, 4, 5, 6, 11, 12
		1.	22, 24, 25, 26
S_1+3_29a	0,83	1.	1-3, 2-4, 14-6, 17-2, 19-2
		3.	29a
S_1-5+5-63	1,52	1.	5
		Mestni	63, 77
S_1-7-1+9	0,88	1.	7-1, 9
S_1-9+10	0,70	1.	9, 10
		2.	23
		4.	37
		Mestni	57
S_1-14-1	1,16	1.	14-1, 14-4, 22-3
S_1-36+2-26	0,86	1.	36
		2.	26
S_1-41	0,82	1.	41
S_1-46	0,96	1.	46
S_1-49	0,82	1.	49
S_1-50	1,00	1.	50
S_2-2+3	0,86	2.	2, 3
		4.	163
		Mestni	15, 92
S_2-4	0,82	2.	4
S_2-5	2,45	2.	5, 5a, 5b
S_2-5(03)	2,46	2.	5(03)
S_2-8	0,86	2.	8
S_2-9	0,82	2.	9
S_2-21+5-28	0,89	2.	21, 21b
		Mestni	28, 33, 35
S_2-25	0,83	2.	25
S_5-2	0,86	Mestni	2
S_5-36	0,86	Mestni	36
S_5-41	0,86	Mestni	41
S_3_1a+32	1,88	3.	1a, 32
S_3-41	0,82	3.	41

... se nadaljuje



Datoteka	$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivelmansi poligon	
		Red	Številka
S_4	0,86	4.	37, 82, 91, 161
S_4-187+190	1,05	4.	187, 190, 192
S_bar	1,23	Mestni	Izmere Ljubljanskega barja v različnih letih, 29
S_5-3	0,86	Mestni	3-55, 3-81
S_5	0,86	Mestni	8, 11, 25, 29, 75
S_5-6+16	0,82	Mestni	6(02), 16
S_5-56	0,86	Mestni	56

Referenčni standardni odklon po izravnavi dopolnjene stare nivelmanske mreže se ni spremenil ($\hat{\sigma}_0 = 0,86$ mm/km), če so bili v izravnavo vključeni slepi nivelmansi poligoni. V primeru, ko so vključene dodatne nivelmanske linije v nivelmansi mreži povzročile dodatno zapiranje nivelmanskih zank, je to vplivalo na referenčni standardni odklon po izravnavi nivelmanske mreže. Referenčni standardni odkloni so se spremenili od 0,70 mm/km (2-23) do 2,46 mm/km (2-5(03)). Spremembe referenčnih standardnih odklonov so v mejah dopustnega, saj podatki o natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev služijo za določitev ploskve kakovosti transformacijske ploskve. Ker se s spremembo referenčnega standardnega odklona spremeni ocena natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev, smo ocene natančnosti nadmorskih višin reperjev preračunali po naslednji enačbi:

$$\sigma_{H_i}^{Pre} = \sigma_{H_i}^{Izr} \cdot \frac{\hat{\sigma}_0^{SVS2000}}{\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}} \quad 2.3$$

V enačbi 2.3 so:

$\sigma_{H_i}^{Pre}$. . . preračunana ocena natančnosti določitve višin reperjev po izravnavi dopolnjene stare nivelmanske mreže,

$\sigma_{H_i}^{Izr}$. . . ocena natančnosti določitve višin reperjev po izravnavi dopolnjene stare nivelmanske mreže,

$\hat{\sigma}_0^{SVS2000}$. . . referenčni standardni odklon po izravnavi stare nivelmanske mreže,

$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$. . . referenčni standardni odklon po izravnavi dopolnjene stare nivelmanske mreže.



FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

S preračunom natančnosti višin reperjev za dodane nivelmanske poligone dosežemo, da na oceno natančnosti višin reperjev vplivajo le natančnosti višin navezovalnih reperjev, katerih natančnost je bila predhodno določena z izravnavo stare nivelmanske mreže.



3 IZBIRA REPERJEV, IZDELAVA IN ANALIZA KAKOVOSTI VIŠINSKE TRANSFORMACIJSKE PLOSKVE

3.1 Izbira reperjev za izdelavo višinske transformacijske ploskve

Pri izbiri reperjev za izdelavo višinske transformacijske ploskve smo poskušali doseči enakomerno porazdelitev reperjev na območju Slovenije. Zato smo starim reperjem (1.231), ki so bili vključeni v izmero nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije, dodali še nove reperje, kjer smo nadmorsko višino v SVS2000/Trst izračunali z vključevanjem novo merjenih višinskih razlik v staro nivelmansko mrežo oziroma stari višinski sistem 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 4).

Preglednica 4: Primer razlike med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst med sosednjimi reperji, ki presega 10 mm (rdeče v besedilu)

Reper	Vgrajen v objekt	$H_{SVS2010}$ [m]	$H_{SVS2000}$ [m]	ΔH_{VTP} [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

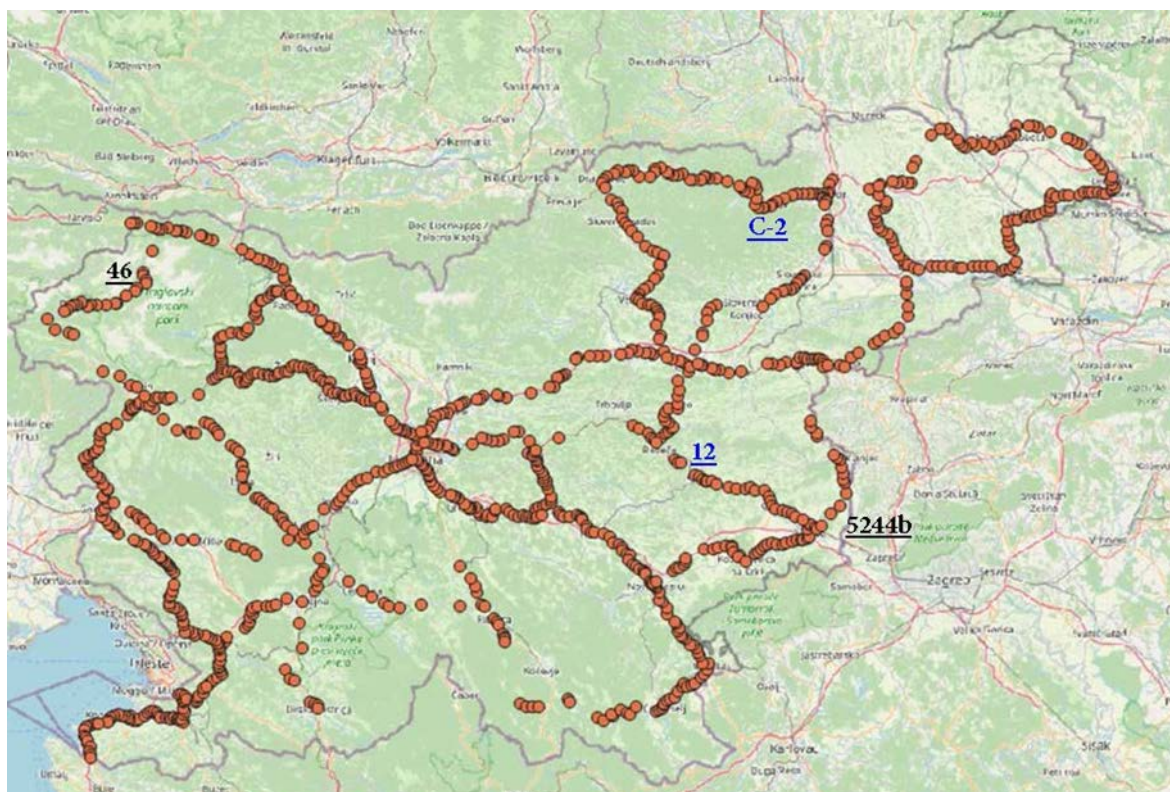
Reperje za izdelavo višinske transformacijske ploskve smo izbrali v več korakih, ki so opisani v spodnjih podpoglavjih.

3.1.1 Podatki za višinsko transformacijsko ploskev na osnovi merjenih višin reperjev v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper – sloj 1.045 reperjev

Analiza baze geodetskih točk je pokazala, da je bilo v novo izmero nivelmanske mreže 1. reda Slovenije (Slika 6) vključenih 1.231 starih reperjev, ki so bili predhodno vključeni tudi v izmero v starem višinskem sistemu SVS2000/Trst. Podatki o



nivelmanskih poligonih, ki so bili dodatno vključeni v staro nivelmansko mrežo (slika 7), so zbrani v preglednici 3. Ker smo po križni analizi (glej Poglavje 3.1) izpustili 186 reperjev, je tako ostalo 1.045 reperjev, ki predstavljajo osnovo za določitev višinske transformacijske ploskve. Razporeditev reperjev, ki so bili vključeni v izmero SVS2000/Trst in SVS2010/Koper, je prikazana na sliki 8.



Slika 8: Skica reperjev, ki so bili vključeni v izmero SVS2000/Trst in SVS2010/Koper – sloj 1.045 reperjev

V preglednici 5 so zbrani podatki o razlikah višin med novim in starim višinskim sistemom in natančnosti transformacije višin, ki jo izračunamo po enačbi 2.2.

Preglednica 5: Statistični kazalci za reperje, ki so bili vključeni v izmero SVS2000/Trst in SVS2010/Koper

	Reper	Niv. pol./Kraj	ΔH_{VTP} [m]	Reper	Niv. pol./Kraj	$\sigma_{\Delta H_{VTP}}$ [mm]
Maks.	5244b	N1-12B/Podplat	- 0,014	12	N3-51/Breg	13,79
Min.	46	N-3/Trenta	- 0,240	C-2	N1-11B/Smolnik pri Rušah	0,13
Sred.			- 0,129			9,24



Iz preglednice 5 vidimo, da znašajo razlike višin med novim in starim višinskim sistemom od -0,014 m do -0,240 m in srednja razlika -0,129 m. Natančnost določitve razlike višin znaša od 0,13 mm do 13,79 mm in srednja 9,24 mm.

3.1.2 Podatki za transformacijsko ploskev na osnovi merjenih in preračunanih višin reperjev v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper

Iz slike 8 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 (glej poglavje 3.3). Tudi v tem primeru za stare višine reperjev nimamo na voljo ocen natančnosti določitve nadmorskih višin, zato smo ocene natančnosti izračunali podobno, kot je opisano zgoraj. Dopolnitev podatkov smo izvedli v naslednjih korakih:

- a) Ocena natančnosti določitve nadmorskih višin dodatnih nivelmanskih poligonov nižjih redov, ki so bili vključeni v izmero SVS2000/Trst – sloj 2.022

Dodatne nivelmanske poligone nižjih redov smo vključili v izravnavo stare nivelmanske mreže 1. reda (slika 9) in tako dobili sloj z 2.022 reperji (slika 9). Iz slike 9 vidimo, da so reperji bolj enakomerno porazdeljeni po celotnem območju Slovenije.

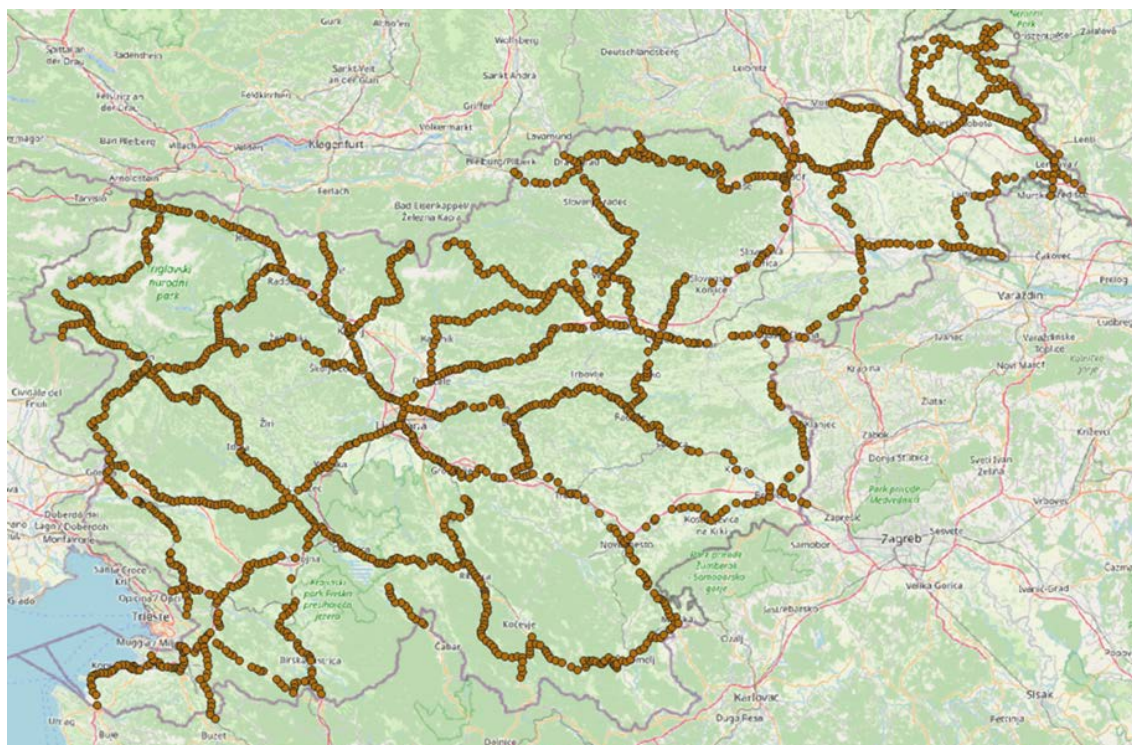
Preglednica 6: Dodatni nivelmanski poligoni nižjih redov, ki so bili vključeni v izravnavo stare nivelmanske mreže in referenčni standardni odklon po izravnavi

Datoteka	$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivelmanski poligon	
		Red	Številka
D_NVN	0,86	NVN	2(06), 3-1(06), 3-a, 6-1(97),
D_1-mejni	0,86	1.	MP103, MP105, MP406
D_MP203+	0,86	NVN	5A, 5B, 11G, 11F
D_MP210	0,86	NVN	11E
D_1-6-2	0,86	1.	6-2
D_1-4b	0,86	1.	4b
D_1-7-6+8	0,86	1.	6a, 7-6, 7-8
D_1-16-7	1,23	1.	16-7, 22-3
D_1-42+43	1,08	1.	42, 43
D_1-36	0,86	1.	36
		Mestni	5

... se nadaljuje



Datoteka	$\hat{\sigma}_{0i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivelmanski poligon	
		Red	Številka
D_MP101+	0,86	1.	MP101
		3.	42b
D_MP105+	0,82	1.	MP105, MP408
D_MP406	0,86	1.	MP406
D_2-5	1,58	2.	5, 5c
		4.	88
		Mestni	62
D_2-13+3-12	0,87	2.	13
		3.	12
D_3-42b	0,86	3.	42b
D_2-mejni	0,86	3.	MP208, MP209, MP407, 34
D_3-49+V15	1,01	3.	49, V15
D_4-30a	1,02	4.	30a, 30b
		Mestni	31
D_4-50+	1,01	4.	50
D_4-59+	0,86	4.	59, 115
D_4-116+	2,17	4.	116, 118, 119
D_5-13	0,87	Mestni	13
D_5-4	1,14	Mestni	4
D_mm2	0,82	Mikromreža	2



Slika 9: Skica z reperji nižjih redov, ki so bili izmerjeni v SVS2000/Trst – sloj 2.022 reperjev



V preglednici 6 in prilogi 2 so zbrani podatki o nivelmanskih poligonih, ki so bili vključeni v izravnavo stare nivelmanske mreže in referenčni standardni odkloni po izravnavi dopolnjene nivelmanske mreže.

Referenčni standardni odklon po izravnavi dopolnjene stare nivelmanske mreže se ni spremenil ($\hat{\sigma}_0 = 0,86$ mm/km), če so bili v izravnavo vključeni slepi nivelmanski poligoni. V primeru, ko so vključene dodatne nivelmanske linije v nivelmanski mreži povzročile dodatno zapiranje nivelmanskih zank, je to vplivalo na referenčni standardni odklon po izravnavi nivelmanske mreže. Referenčni standardni odkloni so se spremenili od 0,82 mm/km (MP105, MP408 in mikromreža mm-2) do 2,17 mm/km (4-116, 4-118 in 4-119). Spremembe referenčnih standardnih odklonov so v mejah dopustnega, saj podatki o natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev služijo za določitev ploskve kakovosti transformacijske ploskve. Ker se s spremembo referenčnega standardnega odklona spremeni ocena natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev, smo ocene natančnosti nadmorskih višin reperjev preračunali po enačbi 2.3.

b) Ocena natančnosti določitve nadmorskih višin dodatnih nivelmanskih poligonov nižjih redov v SVS2010/Koper

Dodatne nivelmanske poligone nižjih redov smo vključili v izravnavo nove nivelmanske mreže 1. reda (slika 6), da smo dobili oceno natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev v SVS2010/Koper. V preglednici 7 in prilogi 3 so zbrani podatki o nivelmanskih poligonih, ki so bili vključeni v izravnavo nove nivelmanske mreže in referenčni standardni odkloni po izravnavi dopolnjene nivelmanske mreže.

Preglednica 7: Dodatni nivelmanski poligoni nižjih redov, ki so bili vključeni v izravnavo nove nivelmanske mreže in referenčni standardni odklon po izravnavi

Datoteka	$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivelmanski poligon	
		Red	Številka
N_1-mejni	0,48	1.	MP302, MP104, MP106, MP107, MP-201, MP-206, MP-211, MP-301
N_2-mejni	0,50	1.	MP102, MP402, MP403, MP406, MP-408, MP-409, MP-410
N_MP101	0,50	1.	MP101
N_2-45	0,52	2.	45

... se nadaljuje



Datoteka	$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivemanski poligon	
		Red	Številka
N_2-59	0,52	2.	59
N_2-13+3-12	0,50	2.	13
		3.	12
N_3-mejni	0,50	3	MP208, MP209, MP407, 34
N_3-51	0,91	3.	51
N_3-21+	0,69	3.	21
		4.	116
N_MP401	0,50	4.	MP401
N_4-59+	0,50	4	59, 115

Iz preglednice 7 vidimo, da so bili v izravnavo vključeni nivemanski poligoni do posameznih mejnih prehodov, stari nivemanski poligoni in novo izmerjeni nivemanski poligoni 2. reda (45 in 59) in 3. reda (51). Referenčni standardni odklon po izravnavi dopolnjene nove nivemanske mreže se ni spremenil ($\hat{\sigma}_0 = 0,50$ mm/km), če so bili v izravnavo vključeni slepi nivemanski poligoni. V primeru, ko so vključene dodatne nivemanske linije v nivemanski mreži povzročile dodatno zapiranje nivemanskih zank, je to vplivalo na referenčni standardni odklon po izravnavi nivemanske mreže. Referenčni standardni odkloni so se spremenili od 0,48 mm/km (mejni prehodi MP302, MP104, MP106, MP107, MP-201, MP-206, MP-211, MP-301) do 0,91 mm/km (novo izmerjeni poligon N3-51). Spremembe referenčnih standardnih odklonov so v mejah dopustnega, saj podatki o natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev služijo za določitev ploskve kakovosti transformacijske ploskve. Ker se s spremembo referenčnega standardnega odklona spremeni ocena natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev, smo ocene natančnosti nadmorskih višin reperjev preračunali po naslednji enačbi:

$$\sigma_{H_i}^{Pre} = \sigma_{H_i}^{Izr} \cdot \frac{\hat{\sigma}_0^{SVS2010}}{\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}} \quad 3.1$$

V enačbi 3.1 so:

$\sigma_{H_i}^{Pre}$. . . preračunana ocena natančnosti določitve višin reperjev po izravnavi dopolnjene stare nivemanske mreže,

$\sigma_{H_i}^{Izr}$. . . ocena natančnosti določitve višin reperjev po izravnavi dopolnjene stare nivemanske mreže,



$\hat{\sigma}_0^{SVS2010}$. . . referenčni standardni odklon po izravnavi nove nivelmanske mreže 1. reda,

$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$. . . referenčni standardni odklon po izravnavi dopolnjene nove nivelmanske mreže.

S preračunom natančnosti višin reperjev za dodane nivelmanske poligone dosežemo, da na oceno natančnosti višin reperjev vplivajo le natančnosti višin navezovalnih reperjev, katerih natančnost je bila predhodno določena z izravnavo nove nivelmanske mreže 1. reda.

c) Izračun nadmorskih višin novih reperjev v SVS2000/Trst in ocena natančnosti določitve višin reperjev – sloj 2.126 reperjev

Iz slike 9 vidimo, da imamo na posameznih delih nivelmanskih poligonov še območja, kjer nimamo podatkov o razlikah višin reperjev med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst. Da bi dosegli čim bolj enakomerno porazdelitev reperjev, smo med stare reperje dodali 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 nivelmanske linije vključili v izravnavo stare nivelmanske mreže. Nivelmanske linije smo vključevali po posameznih nivelmanskih zankah (slika 6), kar omogoča nadzor nad kakovostjo. Dodali smo tudi nivelmanske linije na novih nivelmanskih poligonih N2-59 (Nova Gorica – Ajdovščina – Col – Kalce) in N3-51 (Zidani most – Brežice, preglednica 8 in priloga 4) in tako dobili sloj 2.126 reperjev (slika 10).

Preglednica 8: Nove nivelmanske linije, ki so bile vključene v izravnavo stare nivelmanske mreže in referenčni standardni odklon po izravnavi

Datoteka	$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivelmanski poligon	
		Red	Številka
S_Z1	1,60	1.	1A, 1B, 1/2
S_Z2	1,70	1.	2A, 2B, 2/5, 2/6
S_Z3-1	1,65	1.	3 (do 2700 – Spodnje Rute), 3/4, 3/5
S_Z3-2	2,26	1.	3
S_Z4	1,12	1.	4
S_Z5	0,82	1.	5/6
S_Z6	2,25	1.	6, 6/7, 6/9
S_Z7	1,10	1.	7/8, 7/9
S_Z8-1	0,95	1.	8/10 (do 5220c – Suhadol)

... se nadaljuje



Datoteka	$\hat{\sigma}_{0_i}^{Izr}$ [mm/km]	Nivelmansi poligon	
		Red	Številka
S_Z8-2	1,83	1.	8, 8/10
S_Z9	2,63	1.	9
S_Z10	1,70	1.	10, 9/10, 10/12,
S_Z11	2,11	1.	11A, 11B
S_Z12-1	1,76	1.	12B
S_Z12-2	1,27	1.	12A, 11/12 (do MN-622 – Hoče), 12/13
S_Z12-3	1,93	1.	11/12
S_Z13	1,43	1.	13A, 13B
S_100	0,97	1.	100
S_N2-59	2,30	2.	59
S_N3-51	0,86	3.	51

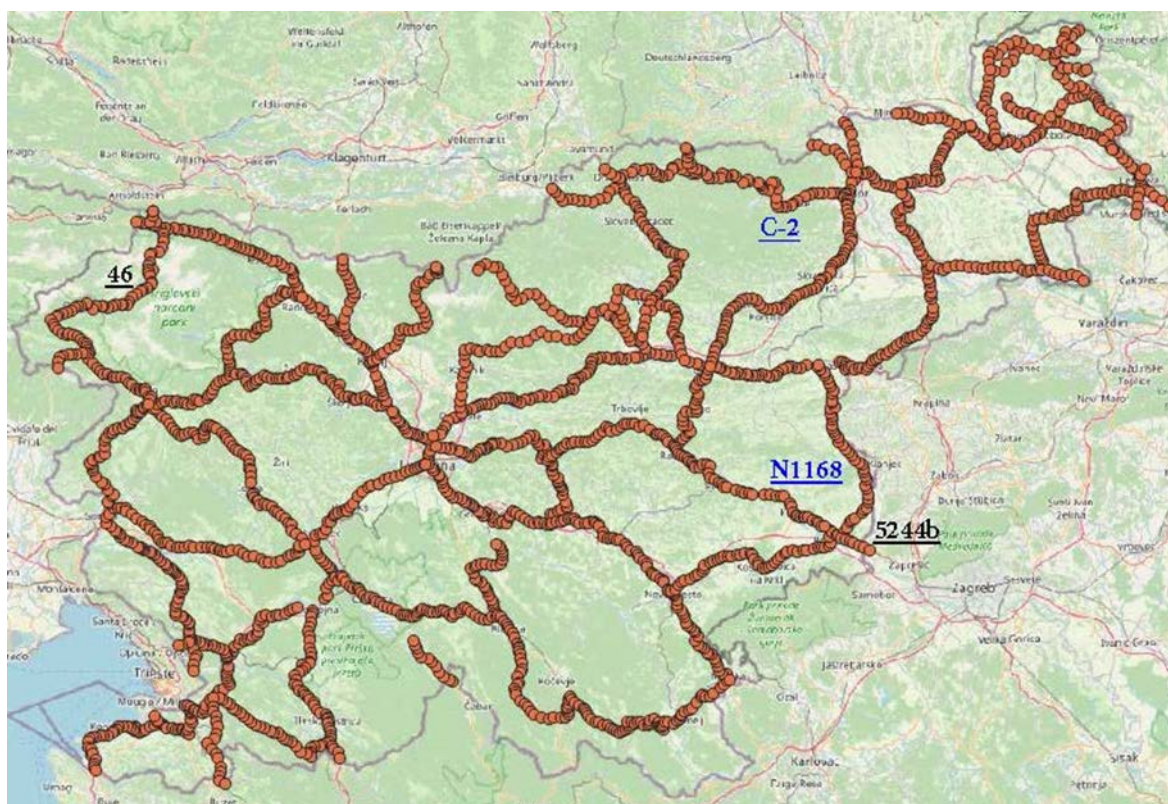
Iz preglednice 8 vidimo, da se referenčni standardni odklon po izravnavi dopolnjene stare nivelmanske mreže ni spremenil ($\hat{\sigma}_0 = 0,86$ mm/km), če so bili v izravnavo vključeni slepi nivelmansi poligoni. V primeru, ko so bile dodatne nivelmanske linije vključene med starimi (danimi) reperji, je to vplivalo na referenčni standardni odklon po izravnavi nivelmanske mreže. Referenčni standardni odkloni so se spremenili od 0,82 mm/km (v 5. nivelmansi zanki (slika 6), datoteka S_Z5) do 2,30 mm/km (v novo izmerjenem poligonu N2-59). Spremembe referenčnih standardnih odklonov so v mejah pričakovanega in dopustnega, saj smo novo izmerjene višinske razlike vključevali v staro nivelmansko mrežo. Ker se s spremembo referenčnega standardnega odklona spremeni ocena natančnosti določitve nadmorskih višin reperjev, smo ocene natančnosti nadmorskih višin reperjev preračunali po enačbi 3.1. 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 9), ki so imeli višino določeno v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper.

Preglednica 9: Analiza razlik nadmorskih višin reperjev med starimi reperji, ki so bili vključeni v staro in novo izmero nivelmanskih linij in novimi reperji (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_{VTP} [m]	$\sigma_{\Delta H_{VTP}}$ [mm]
5407a	485,5064	4,9	485,6278	9,4	-0,121	10,6
N215	4821861	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



Iz preglednice 9 vidimo, da so razlike med nadmorskimi višinami med sosednjimi starimi in novimi reperi 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 2.126 reperjev. Razporeditev reperjev je prikazana na sliki 10.



Slika 10: Skica razporeditve reperjev za izdelavo transformacijske ploskve v dopoljnjeni nivelmanski mreži – sloj 2.126 reperjev

V preglednici 10 so zbrani statistični podatki o reperjih, ki so bili izbrani za izdelavo transformacijske ploskve.

Preglednica 10: Statistični kazalci za reperje, ki so bili vključeni v dopolnjeno nivelmansko mrežo in izbrani za izdelavo transformacijske ploskve

	Reper	Niv. pol./Kraj	ΔH_{VTP} [m]	Reper	Niv. pol./Kraj	$\sigma_{\Delta H_{VTP}}$ [mm]
Maks.	5244b	N1-12B/Podplat	-0,014	N1168	N3-51/Sevnica	15,24
Min.	46	N-3/Trenta	-0,240	C-2	N1-11B/Smolnik pri Rušah	0,13
Sred.			-0,130			9,30



Iz preglednice 10 vidimo, da znašajo razlike višin med novim in starim višinskim sistemom od -0,014 m do -0,240 m, kot v preglednici 5 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 0,13 mm do 15,24 mm in srednja 9,30 mm. Tudi v tem primeru so razlike majhne glede na vrednosti v preglednici 5.

Tako smo sistematično zgostili podatke med starimi reperji in dosegli, da je srednja dolžina med reperji, ki so služili za izdelavo transformacijske ploskve, okoli 1 km (preglednica 11 in priloga 5). V mestnih nivelmanskimi mrežah, kjer je dolžina nivelmanskimi linij krajša, smo z izpuščanjem vmesnih reperjev dosegli, da je minimalna dolžina med sosednjima reperjema okoli 300 m, razen na mikromrežah na mejnih prehodih z Avstrijo (preglednica 11).

Preglednica 11: Statistični kazalci za dolžine med sosednjimi reperji, ki smo jih izbrali za izračun transformacijske ploskve

Statistični kazalci za dolžine	Nivelmanski poligon	Nivelmanska linija	d [m]
Maksimalna	N3-P21	7252 - 7252a	2331,59
Minimalna	MP201	C-739-A-55293	123,04
Sredina			952,83

3.2 Izdelava višinske transformacijske ploskve

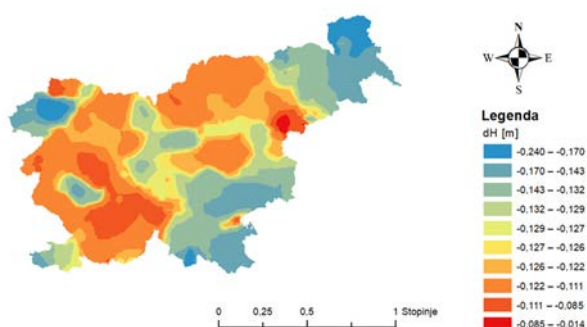
Ploskev, ki jo dobimo z različnimi interpolacijskimi metodami, je tridimenzionalna in jo sestavlja neprekinjeno polje vrednosti po celotnem območju izdelane ploskve. Podatki interpolacije predstavljajo površino ploskve kot mrežo celic enakih velikosti. Glede na horizontalne koordinate e , n je določen podatek za tretjo koordinato. Funkcija površinske interpolacije je, da ustvari neprekinjeno ploskev iz vrednosti, ki predstavljajo vhodni podatek.

Podatke o razlikah višin na reperjih smo iz Excelovega formata pretvorili v dva sloja GIS v formatu SHP. Obdelava podatkov je potekala v okolju ArcGIS z orodjem Geostatistical Wizard, kjer so zbrane vse uveljavljene metode prostorske interpolacije podatkov. Višinsko transformacijsko ploskev smo izdelali na osnovi razlik višin točk na 1.045 reperjih (sloj 1.045 reperjev, slika 8) in 2.022 reperjih (sloj 2.022 reperjev, slika 9). Podatki za izdelavo višinske transformacijske ploskev so zbrani v prilogi 6. Višinska transformacijska ploskve je bila izdelana s štirimi determinističnimi metodami

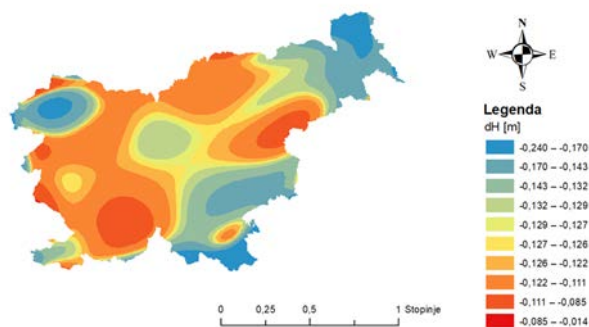


interpolacije (metoda inverzne razdalje – Inverse distance weighting (IDW), globalna polinomska interpolacija – Global polynomial interpolation (GPI), lokalna polinomska interpolacija – Local polynomial interpolation (LPI) in radialne bazne funkcije – Radial basis functions), ter metodo kriging in kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu (Slika 11).

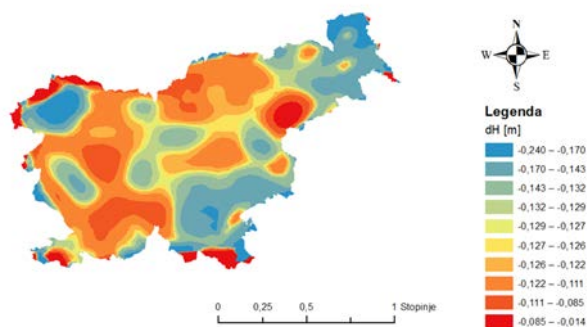
Metoda inverzne razdalje



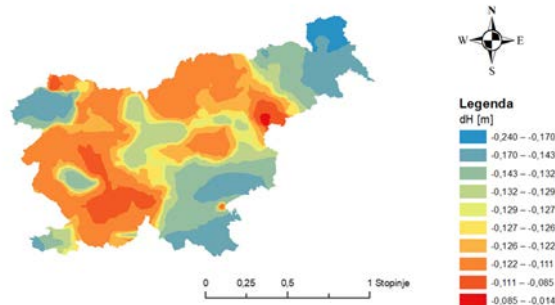
Globalna polinomska interpolacija



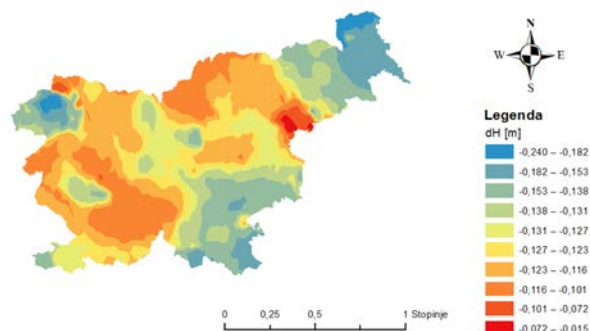
Lokalna polinomska interpolacija



Radialne bazne funkcije



Kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu



Slika 11: Višinske transformacijske ploskve na osnovi uporabljenih interpolacijskih metod

Iz slike 11 vidimo, da se višinske transformacijske ploskve izdelane z različnimi interpolacijskimi metodami nekoliko razlikujejo.



3.3 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.

3.3.1 Analiza kakovosti interpolacijskih metod na osnovi sloja razlik višin na sloju 1.045 reperjev oziroma sloju 2.022 reperjev

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 12 in priloga 7).

Preglednica 12: Statistične cenilke za sloja podatkov z 1.045 in 2.022 razlik višin in uporabljene interpolacijske metode

Interpolacijska metoda	Statistične cenilke	Sloj 1.045	Sloj 2.022
Metoda inverzne razdalje	Srednje odstopanje [mm]	0,034	-0,011
	RMSE [mm]	6,64	6,94
Globalna polinomska interpolacija	Srednje odstopanje [mm]	-0,036	-0,008
	RMSE [mm]	11,75	11,70
Lokalna polinomska interpolacija	Srednje odstopanje [mm]	-0,088	0,017
	RMSE [mm]	9,29	8,73
Radialne bazne funkcije	Srednje odstopanje [mm]	-0,026	-0,009
	RMSE [mm]	6,88	6,96
Kriging	Srednje odstopanje [mm]	0,016	0,017
	RMSE [mm]	6,63	6,24
Kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu	Srednje odstopanje [mm]	-0,017	-0,005
	RMSE [mm]	6,36	6,17

Iz preglednice 12 vidimo, da so razlike med srednjimi odstopanji majhne in da so vse statistične cenilke za sloj 2.022 boljše, razen za metodo inverzne razdalje, kjer je *RMSE* za sloj 2.022 večji kot za sloj 1.045. Vendar tudi v tem primeru razlika ni bistvena. Iz preglednice 12 tudi vidimo, da pri metodi kriging z dodanim vplivom smeri na



variogramu dobimo najmanjše srednje odstopanje (-0,005 mm), najmanjši *RMSE* (6,17 mm).

Analizo kakovosti smo za sloj 2.022 naredili še na 8.700 kontrolnih reperjih za interpolacijski metodi inverzne razdalje in kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu, saj imata najmanjši *RMSE* med vsemi interpolacijskimi metodami (preglednica 12). Iz razlik se izračunajo statistične cenilke, ki jih uporabimo za oceno kakovosti interpolirane ploskve (preglednica 13 in priloga 8).

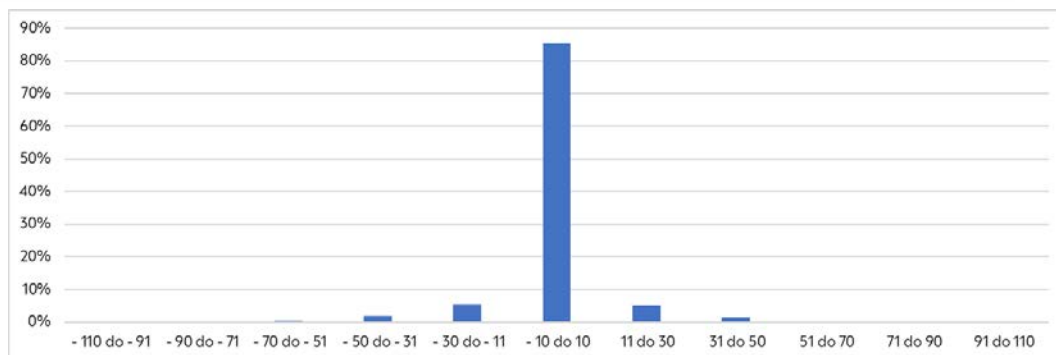
Preglednica 13: Statistične cenilke na 8.700 kontrolnih reperjih za sloj 2.022 reperjev za dve uporabljeni interpolacijski metodi

Interpolacijska metoda	Statistične cenilke [mm]			
	Min.	Maks.	Sred.	σ_{Tran}
Metoda inverzne razdalje	-99,2	103,2	0,31	11,66
Kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu	-99,9	90,5	0,29	11,47

Iz preglednice 13 vidimo, da so razlike med primerjanima interpolacijskima metodama minimalne. Na osnovi opravljene analize kakovosti lahko zaključimo, da je višinska transformacijska ploskve, ki je izračunan za sloj 2.022 z metodo kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu in, ki vsebuje dodatne podatke o razliki višin reperjev, najboljši. V naslednjem koraku smo z metodo kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu, izdelali še višinsko transformacijsko ploskev za 2.126 reperjev – sloj 2.126 reperjev.

3.3.2 Analiza kakovosti višinske transformacijske ploskve sloja 2.126 reperjev na osnovi razlik višin na kontrolnih reperjih

Kakovost višinske transformacijske ploskve smo kontrolirali tudi za sloj 2.126 reperjev na 8.700 kontrolnih reperjih, ki imajo višino določeno v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper. Izračunali smo razliko višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst (enačba 2.1) 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 višinske transformacijske ploskve (slika 12 in preglednica 14).



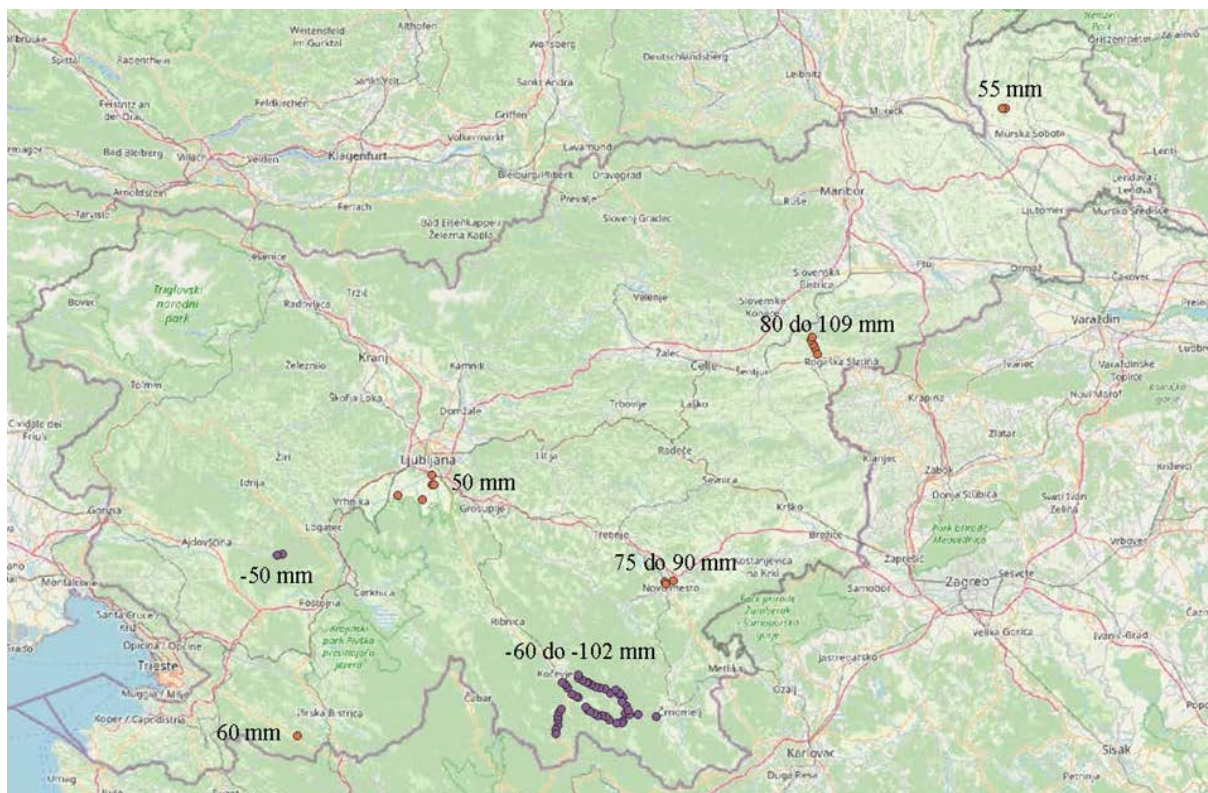
Slika 12: Histogram porazdelitve razlik višin na 8.700 kontrolnih reperjih

Iz slike 12 vidimo, da je večina razlik višin na kontrolnih reperjih med -10 mm in 10 mm (84,2 %) in 96 % med -30 mm do 30 mm.

Preglednica 14: Statistične cenilke za oceno kakovosti višinske transformacijske ploskve na 8.700 kontrolnih reperjih

Statistične cenilke	Sloj 2.126
Minimalno odstopanje [mm]	-102
Število reperjev z odst. od -50 mm do -102 mm	47 (0,54 %)
Maksimalno odstopanje [mm]	109
Število reperjev z odst. od 50 mm do 109 mm	16 (0,18 %)
Srednje odstopanje [mm]	0,01
σ_{viTra} [mm]	11,66

Iz preglednice 14 (priloga 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 13), 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 13: Prikaz večjih razlik višin na osnovi razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst in višinske transformacijske ploskve – sloj 2.126 reperjev

3.4 Izdelava končne višinske transformacijske ploskve in ploskve za oceno natančnosti višinske transformacijske ploskve

Dodatna analiza vhodnih podatkov je pokazala odstopanja med ΔH_{Tran} med reperji na omenjenih območjih (preglednica 15 in priloga 10), ki smo jih za določitev končne višinske transformacijske ploskve izpustili.

Preglednica 15: Odstopanja med sosednjimi reperji na območjih, kjer dobimo večje razlike višin na osnovi razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst in višinske transformacijske ploskve

N2-59: Ajdovščina – Col			
Reper	$H_{SVS2010}$ [m]	$H_{SVS2000}$ [m]	ΔH_{Tran} [m]
N1267	443,7849	443,9281	-0,143
N1269	571,6283	571,7483	-0,120
5	615,1328	615,2766	-0,144

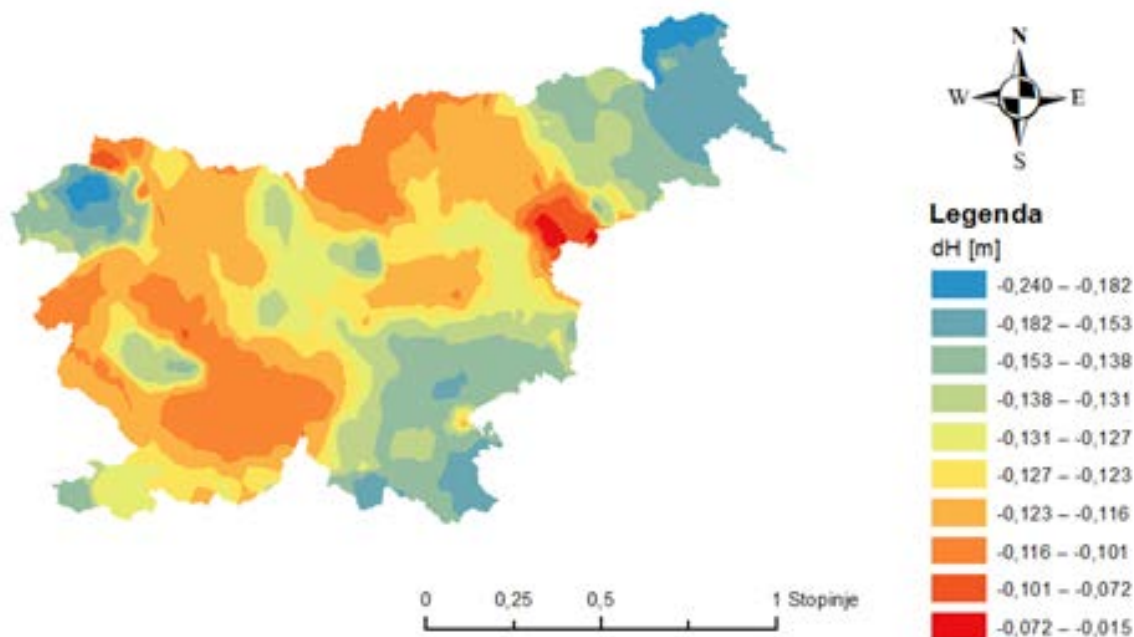
... se nadaljuje



N4-P91: Podplat – Tekačevo			
Reper	$H_{SVS2010}$ [m]	$H_{SVS2000}$ [m]	ΔH_{Tran} [m]
5244d	222,2270	222,3523	-0,125
5244b	230,7400	230,7545	-0,014
1	237,8567	237,8755	-0,019
2	245,0306	245,0465	-0,016
3	255,0199	255,0444	-0,024
4	266,5728	266,5974	-0,025
5	245,7315	245,77840	-0,047

N1-MP406: Petrinja			
Reper	$H_{SVS2010}$ [m]	$H_{SVS2000}$ [m]	ΔH_{Tran} [m]
167	547,4792	547,61600	-0,137
25	546,3794	546,5715	-0,192
203	539,8766	540,0687	-0,192
300	536,3200	536,5121	-0,192
201	530,4858	530,6779	-0,192

Končna višinska transformacijska ploskev je določena na osnovi 2.116 razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst, na osnovi interpolacijske metode kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu – sloj 2116 (slika 14 in priloga 11).



Slika 14: Višinska transformacijska ploskev na osnovi interpolacijske metode kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu – sloj 2.116 reperjev



3.4.1 Zapis višinske transformacijske ploskve s celično mrežo

Zaradi poenotenja različnih ploskev, ki jih vodi GURS, je višinska transformacijska ploskev določena na enak način, kot kvazigeoid AGM2000 in slovenska višinska referenčna ploskev SLO-VRP2016/Koper:

1. Območje: od 45° do 47° severne geografske širine, ter od 13° do 17° vzhodne geografske dolžine.
2. Velikost celične mreže: 30" x 45" ($d\phi, d\lambda$) cca 925 m x 925 m (dn, de).
3. Koordinate celične mreže so podane v decimalnih stopinjah s korakom 0,008333333333333° (ϕ) x 0,0125° (λ).
4. Celična mreža se začne s točko v skrajnem levem kotu spodaj (jugo-zahodna točka) in za eno širino poda vse dolžine.
5. Število stolpcev je število dolžin in število vrstic je število širin: 321 (stolpcev) in 241 (vrstic).

Celična mreža je zapisana v *.txt formatu. Višinsko transformacijsko ploskev smo poimenovali SLO-VTP2024. Akronim pomeni SLOvenska Višinska Transformacijska Ploskev iz leta 2024.

3.4.2 Izdelava ploskve za oceno natančnosti višinske transformacijske ploskve

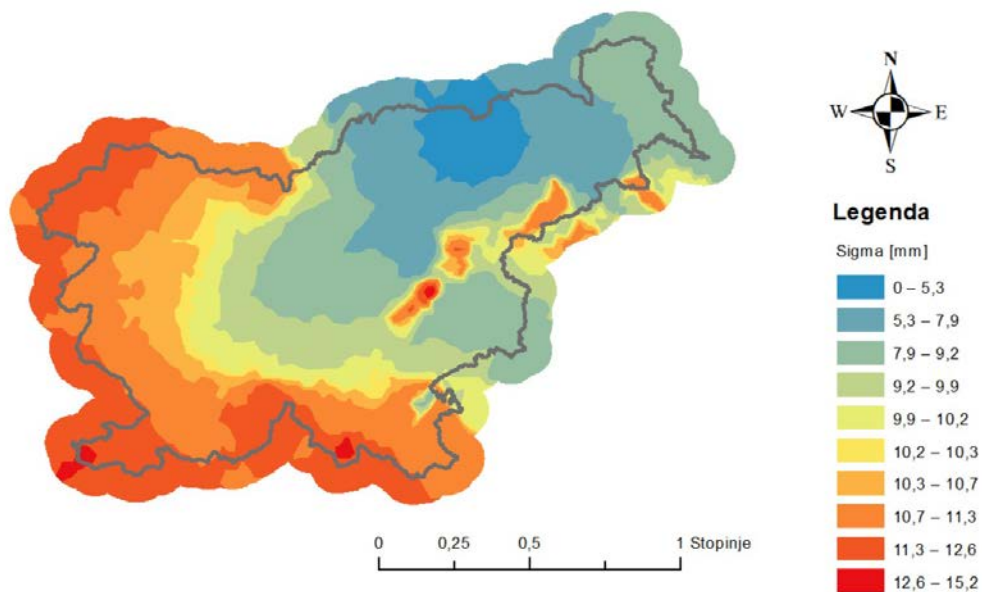
Podatki za izdelavo in ploskev za oceno natančnosti SLO-VTP2024 so zbrani v prilogi 12. Kakovost razlike višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst smo ocenili po enačbi 2.2. V preglednici 16 so zbrani statistični podatki o natančnosti določitve razlik višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst na reperjih, ki so bili izbrani za izdelavo SLO-VTP2024.

Preglednica 16: Statistični kazalci za oceno natančnosti SLO-VTP2024

Reper	Niv. pol./Kraj	$\sigma_{\Delta H_{Trans}}$ [mm]
N1168	N3-51/Sevnica	15,24
C-2	N1-11B/Smolnik pri Rušah	0,13
	Srednja vrednost	9,25



Na sliki 15 je prikazana ploskev za oceno natančnosti SLO-VTP2024, ki sega preko državne meje, da točke, ki se nahajajo blizu državne meje, ne bi padle izven ploskve.



Slika 15: Ploskev za oceno natančnosti določitve SLO-VTP2024



4 PROGRAMSKI PAKET ZA TRANSFORMACIJO VIŠIN IN NAVODILA ZA UPORABO

4.1 Izdelava programskega paketa za transformacijo višin

V okviru projekta smo razvili program ViTra za transformacijo višin iz SVS2000/Trst v SVS2010/Koper in obratno. Akronim pomeni Višinska Transformacija. Program ViTra je razvit v okolju MS Visual Studio 2022 v programskem jeziku Visual C++ in zahteva operacijski sistem MS Windows, ki je novejši od Windows XP. Program ViTra (priloga 13) podpira naslednje oblike vhodnih datotek:

- datoteke SHP (ArcView Shapefile Format),
- datoteke CSV (MS DOS, ločeno z vejico ali s podpičjem),
- datoteke TXT (MS DOS, ločeno s tabulatorji ali presledki, tudi datoteke PRN),
- datoteke XYZ (tudi datoteke ASC).

4.1.1 Metoda interpolacije

Za transformacijo višin so uporabljene optimizirane enačbe bilinearne interpolacije (Press, W. H. in ost., 1992). Za interpolirano točko $T(\lambda, \phi)$ (slika 16) višinsko razliko med starim in novim višinskim referenčnim sistemom izračunamo po enačbi:

$$\Delta H(\lambda, \phi) = \frac{1}{d\lambda \cdot d\phi} [\lambda_0 + d\lambda - \lambda \quad \lambda - \lambda_0] \begin{bmatrix} \Delta H_{Tran}^{LS} & \Delta H_{Tran}^{LZ} \\ \Delta H_{Tran}^{DS} & \Delta H_{Tran}^{DZ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_0 + d\varphi - \varphi \\ \varphi - \varphi_0 \end{bmatrix} \quad 4.1$$

kjer so:

$T(\lambda, \phi)$. . . interpolirana točka,

$LS(\lambda_0, \varphi_0)$. . . jugozahodni vogal celice, v kateri se nahaja interpolirana točka,

$d\lambda$. . . dolžina celice ($45'' = 1^\circ/80 = 0,0125^\circ$),

$d\phi$. . . širina celice ($30'' = 1^\circ/120 = 0,0083^\circ$),

ΔH_{Tran}^{LS} . . . razlika višin v jugozahodnem vogalu celice transformacijske ploskve,

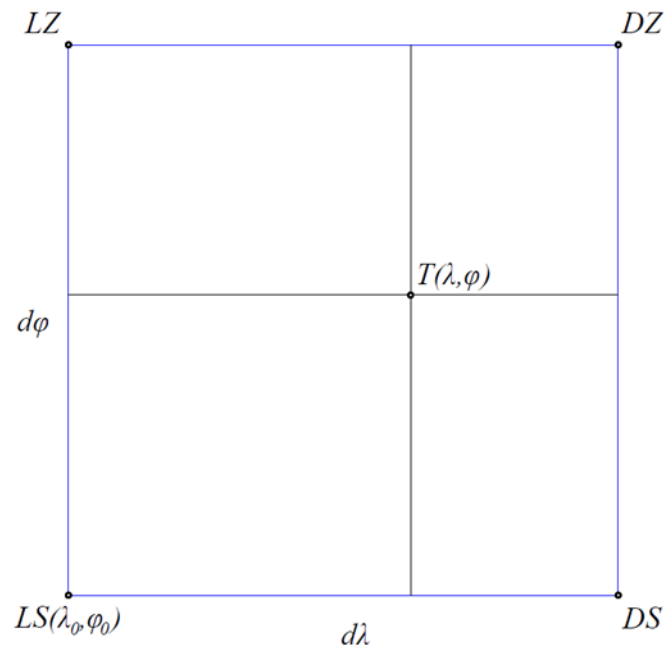
ΔH_{Tran}^{LZ} . . . razlika višin v severozahodnem vogalu celice višina transformacijske ploskve,

ΔH_{Tran}^{DS} . . . razlika višin v jugovzhodnem vogalu celice višinske transformacijske ploskve,

ΔH_{Tran}^{DZ} . . . razlika višin v severovzhodnem vogalu celice višinske transformacijske ploskve in



$\Delta H(\lambda, \varphi)$. . . razlika višin v interpolirani točki $T(\lambda, \varphi)$ višinske transformacijske ploskve.



Slika 16: Celica višinske transformacijske ploskve z interpolirano točko $T(\lambda, \varphi)$

Transformacijo iz starega višinskega sistema SVS2000/Trst v nov višinski sistem SVS2010/Koper izračunamo po sledeči enačbi:

$$H_{SVS2010} = H_{SVS2000} + \Delta H(\lambda, \varphi) \quad 4.2$$

oziroma, ko gre za transformacijo iz novega v stari višinski sistem (SVS2010/Koper → SVS2000/Trst) po enačbi:

$$H_{SVS2000} = H_{SVS2010} - \Delta H(\lambda, \varphi) \quad 4.3$$

Pretvorba koordinat iz državnih ravninskih (D96/TM oz. D96-17/TM) koordinat (e, n) v krivočrtne geodetske koordinate (λ, φ) na elipsoidu GRS80 je izvedena s Karneyjevo metodo (Karney, C. F. F., 2011).

4.2 Navodila za uporabo programskega paketa ViTra

Navodila za uporabo programa ViTra so v prilogi 14.



5 ANALIZA KAKOVOSTI KONČNE VIŠINSKE TRANSFORMACIJSKE PLOSKVE (SLO-VTP2024)

Kakovost SLO-VTP2024 smo ocenili na osnovi razlik med preračunanimi nadmorskimi višinami v SVS2010, ki jih vodi Geodetska uprava Republike Slovenije v bazi geodetskih točk in transformiranimi višinami iz SVS2000 v SVS2010 s programom ViTra (enačba 5.1).

$$\Delta H_i = H_i^{Prera} - H_i^{ViTra} \quad 5.1$$

V enačbi 5.1 so:

ΔH_i . . . razlika višin med preračunano višino v SVS2010/Koper in transformirano višino s programom ViTra iz SVS2000/Trst v SVS2010/Koper na kontrolnem reperju i ,

H_i^{Prera} . . . preračunana višina reperja i ,

H_i^{ViTra} . . . transformirana višina reperja i .

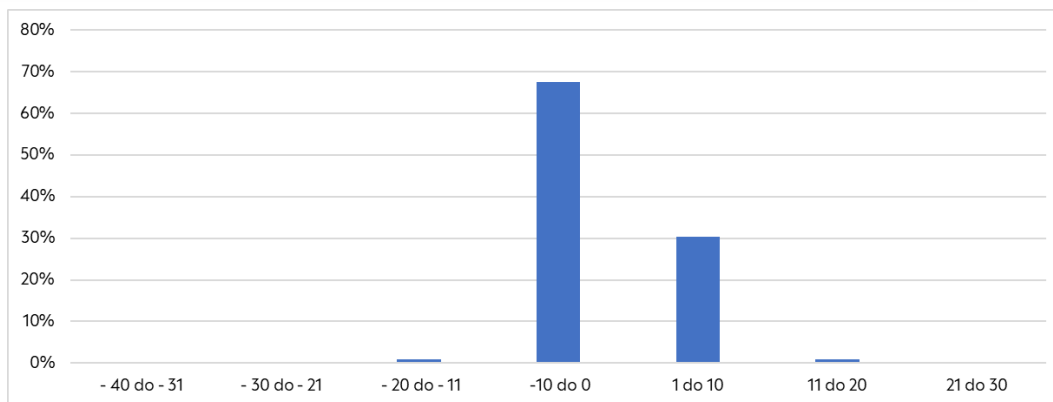
Oceno kakovosti SLO-VTP2024 smo izračunali po enačbi:

$$\sigma_{ViTra} = \sqrt{\frac{\sum \Delta H_i^2}{n-1}} \quad 5.2$$

Oceno kakovosti SLO-VTP2024 smo izvedli v več korakih, ki so opisani v spodnjih poglavjih.

5.1 Analiza kakovosti SLO-VTP2024 na točkah za določitev višinske transformacijske ploskve – sloj 2.116 reperjev

Najprej smo analizirali kakovost SLO-VTP2024 na 2.116 reperjih, ki smo jih uporabili za določitev višinske transformacijske ploskve. Rezultati so predstavljeni na sliki 17 in v preglednici 17 (priloga 15).



Slika 17: Histogram porazdelitve razlik višin na 2.116 reperjih za določitev SLO-VTP2024

Iz slike 17 vidimo, da je večina razlik višin na kontrolnih reperjih med -10 mm in 10 mm (97,8 %).

Preglednica 17: Statistične cenilke za oceno kakovosti SLO-VTP2024 na 2.116 reperjih

Statistične cenilke	2.116 reperjev [mm]
Minimalno odstopanje	-33
Maksimalno odstopanje	27
Srednje odstopanje	0,02
σ_{viTra}	3,48

Iz preglednice 17 vidimo, da znaša minimalno odstopanje -33 mm, podobne velikosti je tudi maksimalno odstopanje (27 mm). Srednje odstopanje znaša 0,02 mm in σ_{viTra} je 3,48 mm. Velikost odstopanj in natančnost transformacije višin je pričakovana, saj gre za odstopanja na reperjih, ki smo jih uporabili za določitev višinske transformacijske ploskve.

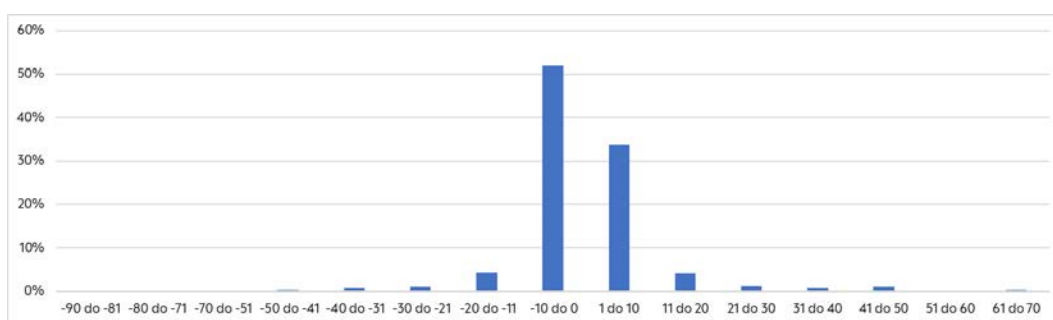
5.2 Analiza kakovosti SLO-VTP2024 na kontrolnih reperjih

Analizo kakovosti SLO-VTP2024 smo izvedli na kontrolnih reperjih v več korakih, ki so opisani spodaj.



5.2.1 Analiza kakovosti na 8.775 kontrolnih reperjih

Kakovost SLO-VTP2024 smo kontrolirali na 8.775 kontrolnih reperjih, ki imajo višino določeno v SVS2000/Trst in SVS2010/Koper. S programom ViTra smo transformirali višine iz SVS2000/Trst v SVS2010/Koper in jih primerjali s preračunanimi višinami v SVS2010/Koper, ki so zajete v bazi geodetskih točk Geodetske uprave Republike Slovenije. Na osnovi razlike med preračunano in transformirano višino v SVS2010/Koper smo ocenili kakovost SLO-VTP2024 (slika 18 in preglednica 18).



Slika 18: Histogram porazdelitve razlik višin na 8.775 kontrolnih reperjih

Iz slike 18 vidimo, da je večina razlik višin na kontrolnih reperjih med -10 mm in 10 mm (85,6 %) in 96,3 % med -30 mm do 30 mm.

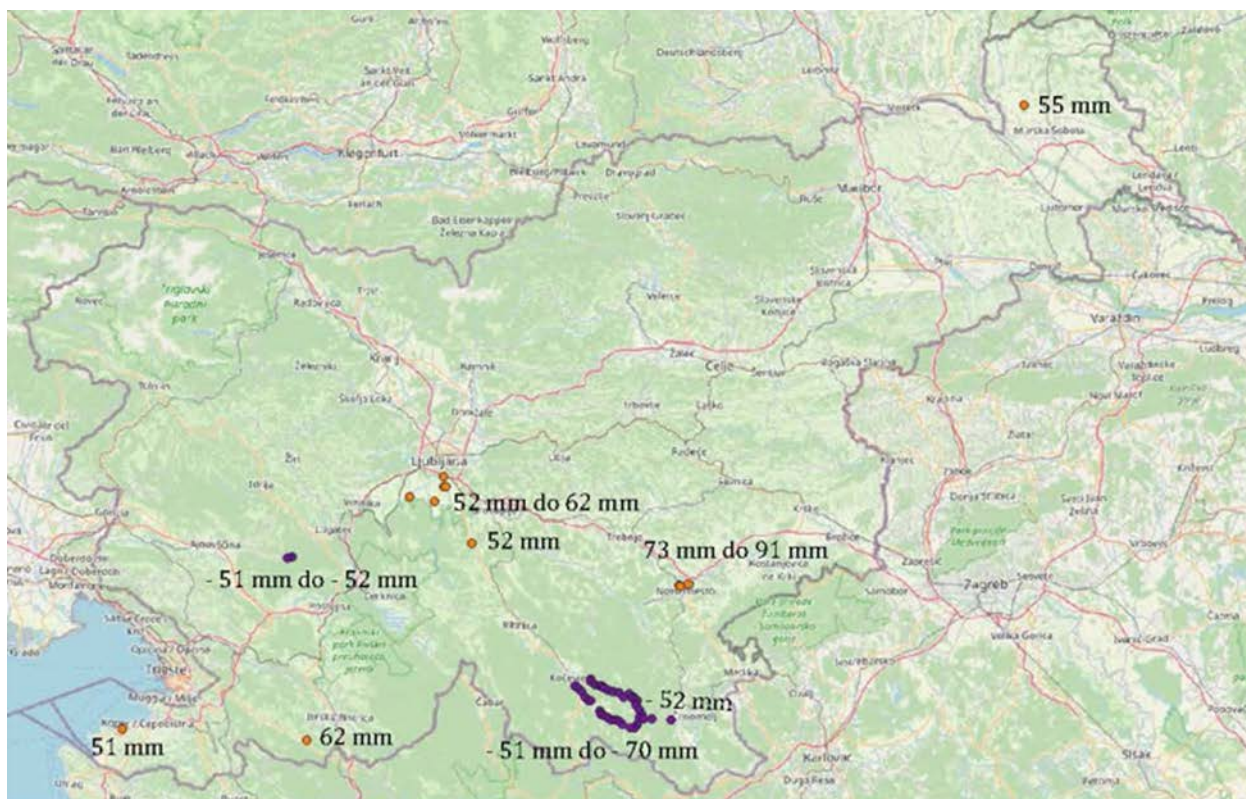
Preglednica 18: Statistične cenilke za oceno kakovosti SLO-VTP2024 na 8.775 kontrolnih reperjih

Statistične cenilke – 8.775 kontrolnih reperjev	SLO-VTP2024
Minimalno odstopanje [mm]	-90
Število reperjev z odst. od -50 mm do -90 mm	12 (0,14 %)
Maksimalno odstopanje [mm]	70
Število reperjev z odst. od 50 mm do 70 mm	40 (0,46 %)
Srednje odstopanje [mm]	0,05
σ_{ViTra} [mm]	11,07

Iz preglednice 18 vidimo, da znaša minimalno odstopanje -90 mm, podobne velikosti je tudi maksimalno odstopanje (70 mm). Na 12 kontrolnih reperjih (0,14 %) je odstopanje med -50 mm do -90 mm in na 40 kontrolnih reperjih (0,46 %) od 50 mm do 70 mm. Statistične cenilke so manjše, kot so prikazane v preglednici 14, za analizo kakovosti SLO-VTP2024 na osnovi sloja 2.126 reperjev. Tako se je odločitev, da izločimo deset reperjev za določitev višinske transformacijske ploskve, izkazala za pravilno. Če prikažemo minimalne in maksimalne razlike na kartografski podlagi (slika



19), lahko ugotovimo, da se je negativna razlika na reperjih, ki so stabilizirani na območju Kočevskega Roga zmanjšala. Večjo pozitivno razliko dobimo na reperjih na območju Novega Mesta, na območju med Poljčanami in Rogaško Slatino pa se je zmanjšala glede na višinsko transformacijsko ploskev – sloj 2.126 reperjev (slika 13).



Slika 19: Prikaz večjih razlik višin na osnovi razlik preračunanih in transformiranih višin v SVS2010/Koper – SLO-VTP2024

5.2.2 Analiza kakovosti na 8.693 kontrolnih reperjih

Iz niza 8.775 kontrolnih reperjev smo izločili 51 (0,60 %) reperjev, kjer je razlika med preračunano in transformirano višino v SVS2010/Koper presegala ± 50 mm. Ocenili smo, da manjše oziroma večje razlike niso posledica manjše kakovosti višinske transformacijske ploskve, temveč jih lahko povezujemo z lokalnimi posebnostmi (stabilizacija v neprimerne objekte, vertikalni premiki, kakovost stare nivelmanske izmere ipd.). Večji niz »slabih« kontrolnih reperjev imamo na območju Kočevskega Roga in Ljubljanskega barja, ostali »slabi« kontrolni reperji so slučajno porazdeljeni na območju Slovenije. Analiza razlik višin na območju Ljubljane je pokazala, da so večje razlike pri reperjih, ki so stabilizirani na območju Ljubljanskega barja. Ker so te razlike verjetno posledica posedanj reperjev, ki so prisotna na Ljubljanskem barju, smo izločili

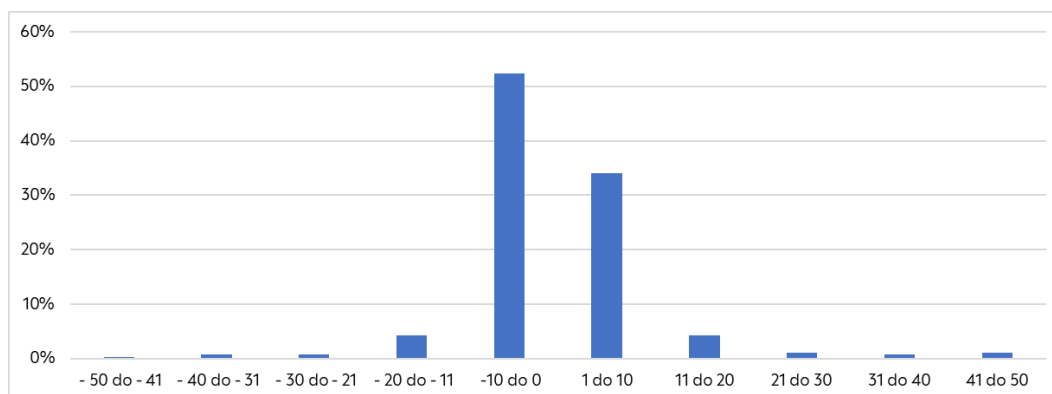


še 31 reperjev (0,36 %, glej poglavje 5.2.5), na katerih znašajo razlike od -50 mm do 26 mm. Po izločitvi 82 reperjev (0,96 %), (preglednica 19 in priloga 16) smo dobili 8.693 kontrolnih reperjev, ki smo jih uporabili za kontrolo kakovosti SLO-VTP2024.

Preglednica 19: Izločeni reperji glede na red nivelmanskega poligona

Nivelmanski poligon	Število izločenih reperjev
2. red	23
4. red	20
Mestni	8
Mestni - Ljubljansko barje	31
Skupaj	82

S programom ViTra smo transformirali višine iz SVS2000/Trst v SVS2010/Koper in jih primerjali s preračunanimi višinami v SVS2010/Koper, ki so zajete v bazi geodetskih točk Geodetske uprave Republike Slovenije. Na osnovi razlike med preračunano in transformirano višino v SVS2010/Koper smo ocenili kakovost SLO-VTP2024 (slika 20, preglednica 20 in priloga 16).



Slika 20: Histogram porazdelitve razlik višin na 8.693 kontrolnih reperjih

Iz slike 20 vidimo, da se histogram nekoliko razlikuje glede na histogram, ki je prikazan na sliki 18. Večina razlik višin na kontrolnih reperjih je med -10 mm in 10 mm (86,4 %) in 95,0 % med -20 mm do 20 mm.

*Preglednica 20: Statistične cenilke za oceno kakovosti SLO-VTP2024 na 8.693 kontrolnih reperjih*

Statistične cenilke – 8.693 kontrolnih reperjev	SLO-VTP2024 [mm]
Minimalno odstopanje	-50
Maksimalno odstopanje	50
Srednje odstopanje	-0,06
σ_{ViTra}	9,87

Izračunano srednje odstopanje in standardni odklon σ_{ViTra} v preglednici 20 sta pričakovano manjša, kot sta prikazana v preglednici 19. Na osnovi ocene kakovosti lahko zaključimo, da bo višinski transformacijski model, ki smo ga razvili, omogočal dovolj kakovostno transformacijo višin podatkovnih zbirk, ki jih vodijo na Geodetski upravi Republike Slovenije.

5.2.3 Analiza kakovosti na kontrolnih reperjih, ki pripadajo različnemu redu nivelmanske mreže

Kontrolne reperje smo razporedili glede na red nivelmanskega poligona, kateremu pripadajo. Tako lahko ocenimo, ali red nivelmanske mreže, kateremu pripada kontrolni reper, vpliva na kakovost transformacije višin.

Iz preglednice 21 (priloga 17) vidimo, da imamo najmanj 232 reperjev 1. reda (2,7 %) in največ 4.399 reperjev mestnih nivelmanskih mrež (50,5 %). Poleg tega vidimo, da imamo najmanjše srednje odstopanje (-0,41 mm) na reperjih 3. reda in največje (4,07 mm) na reperjih 1. reda. Natančnost transformacije višin (σ_{ViTra}) znaša od 9,25 mm na reperjih mestne nivelmanske mreže do 12,65 mm na reperjih 2. reda. Srednja vrednost odstopanj na reperjih vseh redov je 1,21 mm in srednja natančnost (σ_{ViTra}) 10,39 mm. Na osnovi opravljene analize natančnosti lahko zaključimo, da je transformacija višin na reperjih vseh redov primerljive natančnosti.

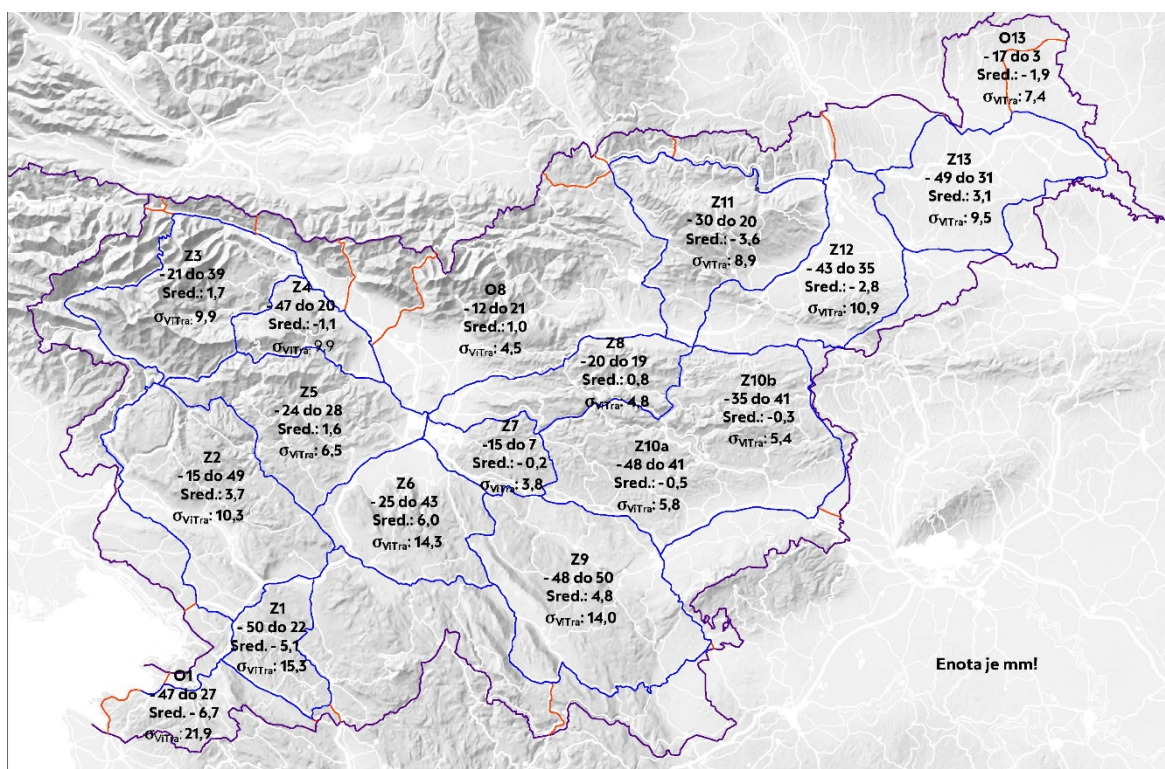
Preglednica 21: Statistične cenilke za reperje posameznega reda nivelmanskih poligonov

Reper	Število reperjev	Odstotek	Min. [mm]	Maks. [mm]	Srednje odstopanje [mm]	σ_{ViTra} [mm]
1. red	232	2,7 %	-7	39	4,07	10,33
2. red	471	5,4 %	-39	49	2,92	12,65
3. red	851	9,8 %	-47	41	-0,41	9,30
4. red	2.740	31,5 %	-49	50	0,04	10,38
Mestna	4.399	50,6 %	-49	48	-0,57	9,25



5.2.4 Analiza kakovosti na kontrolnih reperjih, ki so stabilizirani v posameznih zankah nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije in po območjih

Kontrolne reperje smo glede na položaj stabilizacije razporedili po zankah nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije in posameznih območjih ob nivelmanskih zankah (slika 21). Razdelitev na nivelmanske zanke in območja ob zankah je smiselna, saj so bili kontrolni reperji iz SVS2000/Trst preračunani v SVS2010/Koper z navezavo na reperje nove nivelmanske mreže 1. reda Slovenije. Iz slike 21 vidimo, da smo dodali tri območja (O1, O8 in O13), ki se nahajajo ob zanki 1 in nad zanko 8 in 13. Zaradi velikosti smo zanko 10 razdelili na Z10a, ki leži zahodno od reke Save in Z10b, ki leži vzhodno od reke Save.



Slika 21: Nivelmanske zanke in območja s statističnimi cenilkami

V preglednici 22 (priloga 18) so zbrane statistične cenilke za posamezne nivelmanske zanke in območja. Iz preglednice 22 vidimo, da reperji niso enakomerno porazdeljeni po zankah in območjih. Najmanj, 55 reperjev, je v območju 13 (O13) in največ, 874 reperjev, v zanki 10a (Z10a). Poleg tega vidimo, da znaša srednje odstopanje od -6,69 mm za območje 1 (O1) do 4,82 mm za zanko 9 (Z9). Najmanjše srednje odstopanje znaša -0,22 mm v zanki 7 (Z7). Natančnost transformacije višin (σ_{VITra}) znaša od 3,76 mm v zanki 7 (Z7) do 21,86 mm na območju 1 (O1). Srednja vrednost odstopanj v vseh zankah in območjih znaša -0,09 mm in srednja natančnost



(σ_{ViTra}) 9,65 mm. Pričakovano je natančnost transformacije višin podobna, kot je natančnost na 8.693 kontrolnih reperjih (preglednica 21).

Preglednica 22: Statistične cenilke za posamezne nivelmanske zanke in območja

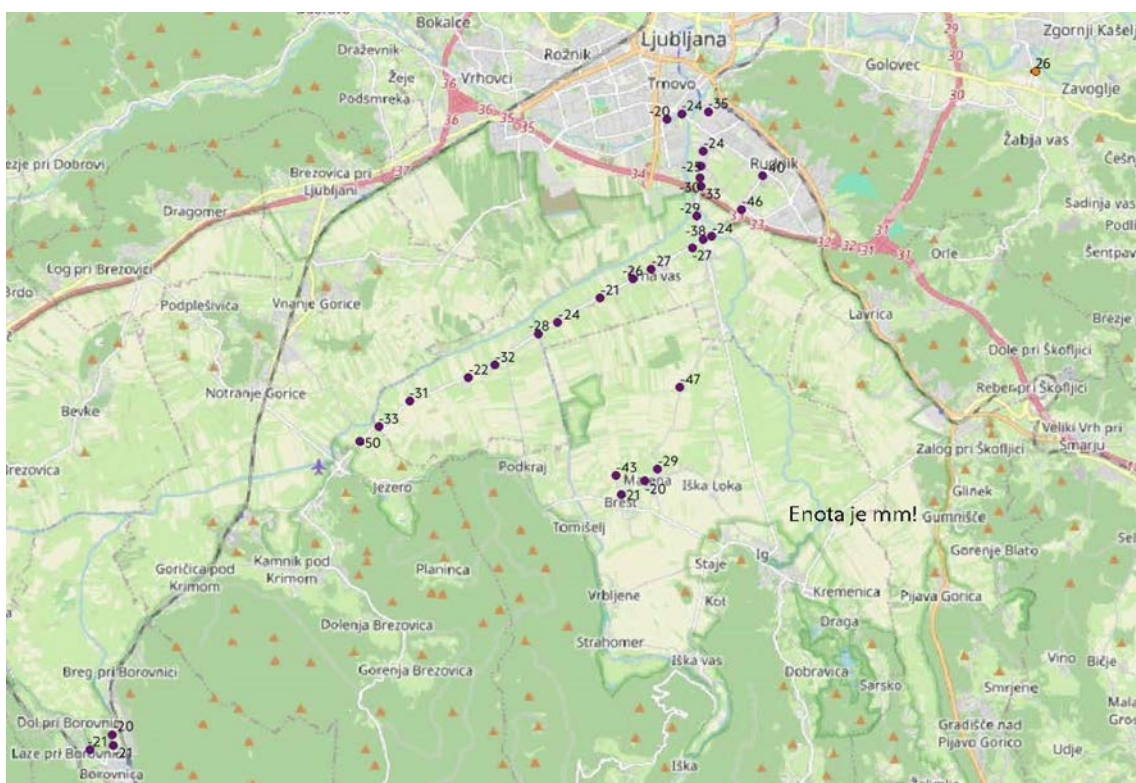
Niv. zanka – območje	Število reperjev	Min. [mm]	Maks. [mm]	Srednja vrednost [mm]	σ_{ViTra} [mm]
Z1	231	-50	22	-5,10	15,34
O1	115	-47	27	-6,69	21,86
Z2	477	-15	49	3,66	10,35
Z3	340	-21	39	1,66	10,26
Z4	323	-47	20	-1,12	9,85
Z5	438	-24	28	1,58	6,49
Z6	188	-25	43	4,03	14,63
Z7	138	-15	7	-0,22	3,76
Z8	542	-20	19	0,79	4,77
O8	266	-12	21	1,00	4,47
Z9	546	-48	50	4,82	16,97
Z10a	874	-48	41	-0,47	5,83
Z10b	571	-35	41	-0,29	5,44
Z11	560	-30	20	-3,58	8,88
Z12	824	-43	35	-2,81	10,92
Z13	686	-49	31	3,14	9,46
O13	55	-17	3	-1,90	4,70
Srednja vrednost:				-0,09	9,65

5.2.5 Analiza kakovosti na kontrolnih reperjih, ki so stabilizirani v posameznih mestnih nivelmanskih mrežah

Analizo kakovosti smo naredili tudi za posamezne večje mestne nivelmanske mreže. V preglednici 23 in prilogi 19 so zbrane statistične cenilke po mestnih nivelmanskih mrežah. Iz preglednice 23 vidimo, da reperji pričakovano niso enakomerno porazdeljeni po mestnih nivelmanskih mrežah. Najmanj, 45 reperjev, je stabilizirano v mestni nivelmanski mreži Nove Gorice in največ 2.041 reperjev na območju Mestne občine Ljubljana in okolici. Poleg tega vidimo, da znaša srednje odstopanje od -5,01 mm v Ljubljani oziroma -4,65 mm, če izpustimo reperje na območju Ljubljanskega barja in Zaloga (slika 22) in do 6,87 mm v Celju. Najmanjše srednje odstopanje znaša 0,41 mm v Domžalah. Natančnost transformacije višin (σ_{ViTra}) znaša



od 1,48 mm v Domžalah do 9,85 mm v Celju. Srednja vrednost odstopanj v vseh mestnih nivelmanskih mrežah znaša 1,06 mm in srednja natančnost (σ_{ViTra}) 5,61 mm.



Slika 22: Izpuščeni reperji na območju Ljubljanskega barja in Zaloga

Preglednica 23: Statistične cenilke za posamezne mestne nivelmanske mreže

Mestna nivelmanska mreža	Število reperjev	Min. [mm]	Maks. [mm]	Srednja vrednost [mm]	σ_{ViTra} [mm]
Celje	253	-12	18	6,87	9,85
Domžale	52	-2	8	0,41	1,48
Grosuplje	52	-6	3	-1,17	2,63
Kranj	119	-6	13	2,07	4,95
Ljubljana - vsi	2.041	-50	26	-5,01	7,47
Ljubljana	2.009	-19	17	-4,65	6,47
Maribor	892	-30	12	2,39	5,23
Murska Sobota	60	-10	6	0,67	2,18
Nova Gorica	45	-15	12	1,23	4,73
Novo mesto	61	-48	7	-1,65	8,96
Ptuj	70	-11	58	4,30	9,81
Srednja vrednost:				1,05	5,63



6 DISEMINACIJA REZULTATOV PROJEKTA

V tem poglavju so zabeležene predstavitve poteka dela in rezultatov naročniku ter ostala diseminacija za strokovno javnost.

6.1 Diseminacija na nacionalni ravni

6.1.1 Predstavitev poteka dela in rezultatov naročniku

- Dne 23. 11. 2022 smo izvedli uvodni sestanek s sofinancerjem.
- Dne 26. 06. 2023 smo izvedli 2. sestanek, na katerem smo sofinancerju predstavili potek raziskovalnega projekta in vmesne rezultate.
- Dne 12. 01. 2024 smo izvedli 3. sestanek, na katerem smo sofinancerju predstavili potek raziskovalnega projekta in vmesne rezultate.

6.1.2 Spletna stran projekta

Na spletnem mestu Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo smo vzpostavili spletno mesto projekta v slovenskem jeziku <https://www.fgg.uni-lj.si/raziskovalna-dejavnost/projekti/v2-2294-razvoj-drzavnega-visinskega-transformacijskega-modela/> in angleškem <https://www.en.fgg.uni-lj.si/research/national-projects/v2-2294-development-of-the-national-height-transformation-model-between-svs2000-trieste-and-svs2010-koper/>.

Na njem so objavljene naslednje vsebine:

- naslov v izvirniku,
- predstavitev projektne skupine s povezavami na SICRIS,
- trajanje projekta,
- vodilni partner in vodja projekta,
- podatki o financiranju projekta in logotipi financerjev,
- ključne besede,
- opis projekta,
- ključni cilji projekta in
- delovni sklopi.



6.2 Diseminacija za strokovno javnost

6.2.1 Strokovno/znanstveni članki objavljeni v strokovnih/znanstvenih revijah ali na simpozijih

Do datuma oddaje končnega poročila na GURS smo člani projektne skupine pripravili in predstavili prispevek na 29. Srečanju Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko:

KOLER, Božo, AMBROŽIČ, Tomaž, KREGAR, Klemen, KOGOJ, Dušan, MARJETIČ, Aleš, SAVŠEK, Simona, ŠTEBE, Gašper, TEKAVEC, Jernej, URBANČIČ, Tilen. Transformacija višin med starim in novim višinskim sistemom Slovenije. V: KUHAR, Miran (ur.), et al. *Raziskava v področju geodezije in geofizike 2023: zbornik del: 29. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 1. februar 2024*. Ljubljana: Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, 2024. Str. 123-137, ilustr. ISBN 978-961-95299-4-2. https://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2024/SZGG_2024_Koler_in_dr.pdf. [COBISS.SI-ID [183734531](#)]

Kratka predstavitev projekta bo del nacionalnega poročila, ki bo predstavljeno na simpoziju IAG (International association of Geodesy) podkomisije za Evropo (EUREF – European Reference Frame) junija 2024 v Barceloni.

Pripravljamo še prispevek za revijo Geodetski vestnik, ki jo izdaja Zveza geodetov Slovenije in predstavitev na 52. Geodetskih dnevih, ki jih organizira Zveza geodetov Slovenije oktobra 2024 v Mariboru.



7 ZAKLJUČEK

V Sloveniji smo konec leta 2018 (Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema, 2018) prešli na nov višinski sistem z oznako SVS2010 (EPSG 8690) z višinskim datumom 2010 (Koper), ki nadomešča stari višinski sistem z oznako SVS2000 (EPSG 5779) z višinskim datumom 2000 (Trst) (Koler in sod., 2019, Medved in sod., 2020). Zakonsko podlago za ta prehod daje Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu (UL, 2014). Z uvedbo novega višinskega sistema so se spremenile višine točk na območju Slovenije od -1,4 cm do -30,8 cm. Srednja razlika višin znaša -13,2 cm.

V okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) V2-2294: Razvoj državnega višinskega transformacijskega modela med SVS2000/Trst in SVS2010/Koper smo iz baze geodetskih točk, ki jo vodi Geodetska uprava Republike Slovenije, izbrali 2.116 reperjev, ki imajo določeno višino v obeh višinskih sistemih. Za izbrane reperje smo izračunali razliko višin med SVS2010/Koper in SVS2000/Trst, ki znaša od -0,240 m do -0,047 m. Srednja razlika višin znaša -0,130 m. Ocenili smo tudi natančnost določitve razlik višin, ki znaša od 0,13 mm do 15,3 mm in srednja natančnost 9,30 mm. Z različnimi interpolacijskimi metodami (metoda inverzne razdalje, globalna in lokalna polinomska interpolacija, radialne bazne funkcije in kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu) smo določili višinske transformacijske ploskve. Kakovost višinskih transformacijskih ploskev je bila ocenjena na osnovi odstopanj med izračunano in interpolirano razliko višin na 8.700 kontrolnih reperjih. Analiza kakovosti je pokazala, da je za transformacijo višin najbolj primerna višinska transformacijska ploskev, ki smo jo določili z interpolacijsko metodo kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu. Višinsko transformacijsko ploskev smo poimenovali SLO-VTP2024. Akronim pomeni SLOvenska Višinska Transformacijska Ploskev iz leta 2024. SLO-VTP2024 je podana s približno kvadratasto celično mrežo velikosti 30" × 45" (~925 m × ~925 m) v območju $45^\circ < \varphi < 47^\circ$ (severno od ekvatorja) in $13^\circ < \lambda < 17^\circ$ (vzhodno od Greenwicha). Z interpolacijsko metodo kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu smo določili tudi ploskev za oceno natančnosti višinske transformacijske ploskve.

Razvili smo tudi program ViTra, ki omogoča izvedbo transformacije višin iz starega (SVS2000/Trst) v novi višinski sistem (SVS2010/Koper) in obratno. Program ViTra je razvit v okolju MS Visual Studio 2022 v programskem jeziku Visual C++. Program ViTra zahteva operacijski sistem MS Windows, ki je novejši od Windows XP. Podpira vhodne datoteke v nekaterih bolj razširjenih podatkovnih formatih (SHP – ArcView Shapefile Format, CSV – MS DOS, ločeno z vejico ali s podpičjem, TXT – MS DOS, ločeno s



tabulatorji ali presledki, tudi datoteke PRN, XYZ – tudi datoteke ASC. Za transformacijo višin je uporabljena bilinearna interpolacija iz višinske transformacijske ploskve z oznako SLO-VTP2024.

Notranja natančnost transformacije višin, ki je bila ocenjena na osnovi razlik med preračunanimi in transformiranimi višinami na 2.116 reperjih, ki smo jih uporabili za določitev višinske transformacijske ploskve, znaša 3,3 mm. Zunanjo natančnost, ki znaša 9,9 mm, smo ocenili na 8.693 kontrolnih reperjih. Ocenili smo tudi natančnost za:

- red reperjev: σ_{Tran} znaša od 9,2 mm za reperije mestnih nivelmanskih mrež do 12,7 mm za reperije 2. reda in srednja natančnost 10,4 mm,
- zanke nivelmanske mreže 1. reda: σ_{Tran} znaša od 3,8 mm za reperije v zanki 8 do 21,9 mm na obali in Istri in srednja natančnost 9,6 mm,
- 10 večjih mest: σ_{Tran} znaša od 1,5 mm za mestno mreže Domžal do 9,8 mm za mestni mreži Ptuj in Celje in srednja natančnost 5,6 mm.

Na osnovi opravljenih analiz kakovosti na kontrolnih reperjih lahko zaključimo, da SLO-VTP2024, ki je vgrajena v program ViTra, omogoča dovolj kakovostno transformacijo višin v zbirkah prostorskih podatkov, ki jih vodi Geodetska uprava Republike Slovenije in številni drugi upravljavci ter državni organi.



8 LITERATURA IN VIRI

1. Ambrožič, T. (2016). Navodila za uporabo programa VimWin ver. 5.1, mar. 16.
2. Arun, P. V. 2013. A comparative analysis of different DEM interpolation methods. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences 16: 133-139.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982313000276>
3. 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>
4. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BeV). 2020. Höhenreferenzsysteme.
https://transformator.bev.gv.at/at.gv.bev.transformator/wiki/lib/exe/fetch.php?media=wiki:hoehe_referenzsysteme_-_2020-05-26_-_final.pdf
5. Briese, CH., Höggerl, N., Imrek, E., Otter, J., Ruess, D. 2010. Transformation von GNSS-Höhen in österreichische Gebrauchshöhen mittels einer Transformationsfläche (Höhen-Grid). Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation - VGI, 4/2011, 267-281.
<https://www.ovg.at/de/bibliothek/vgi-die-zeitschrift/ausgabe/1264/#article5111>
6. Carrera-Hernández, J. J. 2020. Vertical datum transformation grid for Mexico. Scientific Data, 7: 1-10.
DOI: [10.1038/s41597-020-0511-x](https://doi.org/10.1038/s41597-020-0511-x)
7. Karney, C. F. F. 2011. Transverse Mercator with an Accuracy of a Few Nanometers. Journal of Geodesy, 85 (8), 475–485.
<https://doi.org/10.1007/s00190-011-0445-3>
8. Koler, B., Stopar, B., Sterle, O., Urbančič, T., Medved, K. 2019. Nov slovenski višinski sistem SVS2010. Geodetski vestnik 63, 1: 27–40.
https://www.geodetski-vestnik.com/arhiv/63/1/gv63-1_koler.pdf
9. 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/navodila-sivis2.pdf>
10. Kregar, K., Ambrožič, T., Kogoj, D., Vežočanik, R., Marjetič, A. 2015. Determining the inclination of tall chimneys using the TPS and TLS approach. Measurement : journal of the International Measurement Confederation. [Print ed.]. Nov. 2015, vol. 75, str. 354-363, ilustr. ISSN 0263- 2241.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224115004078>
11. Ligas, M. Kulczycki, M. 2010. Simple spatial prediction – least squares prediction, simple kriging and conditional expectation of normal vector. Geodesy and cartography, Vol. 59, No 2, pp. 68 - 81. Polish Academy of Sciences.
<https://journals.pan.pl/Content/105914/PDF/art2.pdf>



12. Ligas, M., Banasik, P. 2012. Local height transformation through polynomial regression. *Geodesy and cartography*, Vol. 61, No 1, pp. 3 – 17. Polish Academy of Sciences.
<https://journals.pan.pl/publication/113244/edition/98325/geodesy-and-cartography-2012-vol-61-no-1-local-height-transformation-through-polynomial-regression-ligas-marcin-banasik-piotr?language=en>
13. Ligas, M. Kulczycki, M. 2014. Kriging approach for local height transformations. *Geodesy and cartography*, Vol. 63, No 1, pp. 25 – 37. Polish Academy of Sciences.
https://www.researchgate.net/publication/277944619_Kriging_approach_for_local_height_transformations
14. Land Information New Zealand (LINZ). 2022. Coordinate systems used in New Zealand.
<https://www.linz.govt.nz/guidance/geodetic-system/coordinate-systems-used-new-zealand/vertical-datums>
15. Manchuk, J. G., Deutsch, C. V. 2007. Robust Solution of Normal (Kriging) Equations. Report 09. Centre for Computational Geostatistics. Alberta, ZDA.
<https://ccg-server.engineering.ualberta.ca/CCG%20Publications/CCG%20Annual%20Reports/Report%209%20-%202007/401%20Robust%20Solution%20to%20Kriging%20Equations.pdf>
16. 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
17. Natural Resources Canada. 2020. Height Reference System Modernization. Version: 2.0 (2020- 10-21). CGS2020-002.
[https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/files/pdf/Height_reference_system_modernization_\(EN\).pdf](https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/files/pdf/Height_reference_system_modernization_(EN).pdf)
18. Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P. 1992. *Numerical Recipes in C: the Art of Scientific Computing*. Second Edition. Cambridge University Press, New York, str. 123–124.
<https://freecomputerbooks.com/Numerical-Recipes-in-C-Second-Edition.html>
19. Radanović, M., Razumović, I., Rožić, N. 2017. Analiza kvalitete Hrvatskog transformacijskog modela visina primjenom računalnog programa HTMV_bbi_v.2. *Geodetski list* 2017, 2, 109-126.
[277819 \(srce.hr\)](http://www.geodetski-vestnik.com/64/1/gv64-1_medved.pdf)
20. Razumović, I., Rožić, N., Tir, M. 2013. Croatian height transformation model. *Geoconference on informatics, geoinformatics and remote sensing - Conference proceedings*, Vol II. 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2013.
<http://www2.geof.unizg.hr/~nrozic/LITERATURA/IRazumovic%20-%20SGEM%20clanak%20-%20eng.pdf>



21. 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
22. 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
23. Tekavec, J., Lisec, A., Rodrigues, E. 2020. Simulating large-scale 3D cadastral dataset using procedural modelling. ISPRS international journal of geo-information, letn. 9, št. 10/598, str. 1- 18, ilustr. ISSN 2220-9964.
<https://www.mdpi.com/2220-9964/9/10/598>
24. Urbančič, Tilen, Grahor, Vid, Koler, Božo. 2015. Vpliv velikosti mrežne celice in metod interpolacij na izračunano prostornino = Impact of the grid cell size and interpolation methods on earthwork volume calculation. Geodetski vestnik : glasilo Zveze geodetov Slovenije, ISSN 0351-0271. [Tiskana izd.], letn. 59, št. 2, str. 231-245, ilustr.
http://www.geodetski-vestnik.com/59/2/gv59-2_urbancic.pdf
25. Urbančič, T., Vrečko, A., Kregar, K. 2016. The reliability of RANSAC method when estimating the parameters of geometric object = Zanesljivost metode RANSAC pri oceni parametrov geometrijskih oblik. Geodetski vestnik : glasilo Zveze geodetov Slovenije. [Tiskana izd.], letn. 60, št. 1, str. 69-97, ilustr. ISSN 0351-0271.
http://geodetski-vestnik.com/60/1/gv60-1_urbancic.pdf
26. Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. 2018. Uradni list Republike Slovenije, 80/2018
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED7826>
27. Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu – ZDGRS. 2014. Uradni list Republike Slovenije, 25/2014.
<http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6446>



PRILOGE

Vse priloge so oddane v digitalni obliki.

Priloga 1: Izravnava nivelmanskih poligonov, ki so bili vključeni v staro nivelmansko mrežo – Preglednica 3

Priloga 2: Izravnava stare nivelmanske mreže z dodatnimi nivelmanskimi poligoni nižjih redov – Preglednica 6

Priloga 3: Izravnava stare nivelmanske mreže z dodatnimi nivelmanskimi linijami iz nove izmere – Preglednica 7

Priloga 4: Analiza razlik nadmorskih višin reperjev med starimi in novimi reperji, ki so bili vključeni v izravnavo stare nivelmanske mreže – Preglednica 8

Priloga 5: Analiza dolžin med reperji za sloj 2.116 reperjev – Preglednica 11

Priloga 6: Podatki – sloji reperjev za različne višinske transformacijske ploskve

Priloga 7: Analiza interpolacijskih metod za sloj 1.045 in 2.022 reperjev – Preglednica 12

Priloga 8: Analiza metode inverzne razdalje in kriging z dodanim vplivom smeri na variogramu na 8.700 kontrolnih reperjih – sloj 2.022 reperjev – Preglednica 13

Priloga 9: Analiza sloja 2.126 reperjev na 8.700 kontrolnih reperjih – Preglednica 14

Priloga 10: Analiza razlik višin – izpuščeni reperji → končni sloj 2.116 reperjev – Preglednica 15

Priloga 11: Zapis višinske transformacijske ploskve s celično mrežo → SLO-VTP2024

Priloga 12: Podatki in ploskev za oceno natančnosti SLO-VTP2024 – Preglednica 16

Priloga 13: Program za transformacijo višin – ViTra

Priloga 14: Navodila za uporabo programa ViTra

Priloga 15: Analiza notranje natančnosti SLOV-TP2024 – Preglednica 17

Priloga 16: Analiza SLOV-TP2024 na 8.755 oziroma 8.693 kontrolnih reperjih – Preglednice 18, 19 in 20

Priloga 17: Analiza SLOV-TP2024 po redovih nivelmanskih poligonov – Preglednica 21

Priloga 18: Analiza SLOV-TP2024 po nivelmanskih zankah in območjih – Preglednica 22

Priloga 19: Analiza SLOV-TP2024 za posamezne mestne nivelmanske mreže – Preglednica 23