

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA

Ljubljana, 2023

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Diplomska naloga št.:

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

ZAHVALA

Iskrena hvala mentorju doc. dr. Tilnu Urbančiču in doc. dr. Božu Kolerju za pomoč, svetovanje in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalila bi se tudi družini in sošolcem za podporo in vzpodbudo pri zaključevanju diplome.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.38(043.2)
Avtor: Mihala Korelc
Mentor: doc. dr. Tilen Urbančič
Somentor: doc. dr. Božo Koler
Naslov: Analiza transformacije višin geodetskih načrtov
Tip dokumenta: Dipl. nal. - UNI
Obseg in oprema: 27 str., 9 pregl., 10 sl., 14 vir.
Ključne besede: geodetski načrt, višinski koordinatni sistem, transformacije, analiza

Izvleček

V diplomski nalogi obravnavamo metode določitve razlik med starim in novim državnim višinskim koordinatnim sistemom ter pretvarjanje med njima. Pretvorbe smo izvedli s pomočjo spletne aplikacije SiVis, ki omogoča dokaj enostavno in hitro transformacijo med sistemi ter na podlagi podatkov o višinah okoliških reperjev državne nivelmanske mreže. Kot podlaga za analizo smo uporabili detaljne točke treh geodetskih načrtov na različnih lokacijah v Sloveniji. Glede na rezultate pretvorb na različne načine smo ugotovili prednosti in slabosti posameznih metod. V splošnem velja, da je pretvorba višin na podlagi okoliških reperjev bolj natančna kot uporaba spletne aplikacije SiVis.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.38(043.2)
Author: Mihala Korelc
Supervisor: Assist. Prof. Tilen Urbančič, Ph. D.
Co-supervisor: Assist. Prof. Božo Koler, Ph. D.
Title: Analysis of the Height Transformations of the Geodetic Plans
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 27 p., 9 tab., 10 fig., 14 ref.
Keywords: Geodetic plan, Height Coordinate System, Transformations, Analysis

Abstract

The purpose of this Graduation Thesis is to understand the difference between the old and new Slovenian Height Coordinate System and to convert between those two. We did the transformations with the help of internet application SiVis, which enables easy and quick transformation between the two and based on the surrounding benchmark of national levelling network. The base for analysis are the points of three different Geodetic Plans around the country. The best method of transformation was then chosen according to the results of transformations. To get better results of transformation in general it is better to use the surrounding benchmarks rather than to transformate with the use of SiVis.

VSEBINA

POPRAVKI – ERRATA.....	I
ZAHVALA.....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO SLIK.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VII
1 UVOD	1
2 VIŠINSKI KOORDINATNI SISTEMI	2
2.1 Modeli Zemlje.....	2
2.1.1 Rotacijski elipsoid.....	3
2.1.2 Geoid.....	3
2.1.3 Kvazigeoid.....	3
2.2 Slovenski višinski sistem 2000	4
2.3 Slovenski višinski sistem 2010	4
3 METODOLOGIJA TRANSFORMACIJE VIŠIN.....	6
3.1 Transformacija s SiVis	6
3.2 Transformacija na osnovi višin okoliških reperjev	7
4 TRANSFORMACIJA VIŠIN GEODETSKIH NAČRTOV	8
4.1 Vhodni podatki za izvedbo analiz.....	8
4.1.1 Geodetski načrt Vransko.....	8
4.1.2 Geodetski načrt Medvode	9
4.1.3 Geodetski načrt Šmartno.....	10
4.2 Rezultati in njihova analiza.....	11
4.2.1 Geodetski načrt Vransko.....	11
4.2.2 Geodetski načrt Medvode	14
4.2.3 Geodetski načrt Šmartno.....	16
5 ZAKLJUČEK.....	17
VIRI.....	18

KAZALO SLIK

Slika 1: Model geoida (Kuhar, 2012)	3
Slika 2: Prikaz razlik v višinah med starim in novim višinskim koordinatnim sistemom (Koler, 2019)	5
Slika 3: Višinska referenčna ploskev SLO_VRP2016/Koper (Koler, 2019).....	5
Slika 4: Makrolokacija geodetskega načrta Vransko.....	8
Slika 5: Izsek iz geodetskega načrta Vransko.....	8
Slika 6: Makrolokacija geodetskega načrta Medvode	9
Slika 7: Izsek iz geodetskega načrta Medvode	9
Slika 8: Makrolokacija geodetskega načrta Šmartno.....	10
Slika 9: Izsek iz geodetskega načrta Šmartno.....	10
Slika 10: Odstopanja geoida (Koler, 2012)	13

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Obravnavane točke iz geodetskega načrta Vransko	9
Preglednica 2: Obravnavane točke iz geodetskega načrta Medvode.....	10
Preglednica 3: Obravnavane točke geodetskega načrta Šmartno	11
Preglednica 4: Reperji v okolici geodetskega načrta Vransko	12
Preglednica 5: Transformacija višin točk geodetskega načrta Vransko	12
Preglednica 6: Reperji v okolici geodetskega načrta Medvode.....	14
Preglednica 7: Transformacija višin točk geodetskega načrta Medvode	15
Preglednica 8: Reperji v okolici geodetskega načrta Šmartno	16
Preglednica 9: Transformacija višin točk geodetskega načrta Šmartno	16

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Definicija iz Zakona o državnem geodetskem referenčnem sistemu (ZDGRS) pravi »Državni prostorski koordinatni sistem je določen s parametri horizontalne in vertikalne sestavine ter z državno kartografsko projekcijo« (6. člen ZDGRS). V diplomski nalogi je poudarek na vertikalni sestavini koordinatnega sistema. Osnovo višinskega koordinatnega sistema določata višinski datum in sistem višin (2. člen Uredbe o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema). To pomeni, da je višina točke odvisna od parametrov, ki jih določimo in ima lahko ta ista točka glede na različne sisteme različno vrednost višine.

Z uvajanjem sodobne tehnologije v geodetske dejavnosti se je potreba po dobro določeni višinski osnovi še povečala, saj lahko na primer z GNSS metodo določanja višin te določimo kvalitetno samo ob dobro določenem višinskem sistemu.

V Sloveniji je trenutno v veljavi državni višinski koordinatni sistem z oznako SVS2010, ki je bil leta 2018 uveljavljen z Uredbo o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. Višinske razlike med novim in starim višinskim sistemom niso enakomerne, zato transformacija ni tako enostavna. V stroki je nov sistem višin že popolnoma ustaljen, kljub temu pa se pojavljajo primeri, ko se moramo nanašati na geodetske izdelke, izdelane pred letom 2018, kar pomeni, da so navedene višine navedene v starem višinskem koordinatnem sistemu. Tu se pojavi vprašanje, kdaj je potrebno višine pretvoriti ter kako to storiti.

Na splošno je transformacijo potrebno izvesti, kadar razlika v višinah vsaj dvakrat večja od natančnosti določitve višine. Poleg tega je potrebno višine transformirati v primeru dopolnjevanja starega geodetskega načrta z novimi višinami, da ne pride do zamika med višinami v prikazu (Tehnično navodilo za uporabo novega državnega višinskega sistema, 2020). Zato je potrebno v certifikatu geodetskega načrta preveriti, v katerem višinskem koordinatnem sistemu so prikazane višine.

Namen diplomske naloge je transformacija višin iz novega v star višinski koordinatni sistem ter primerjava različnih metod transformacije. Cilj je ugotoviti morebitne razlike, ki bi značilno vplivale na transformacije višin in podati zaključek o pravilnem pristopu pri tovrstnih nalogah. Kot podlaga za izvedba analiz so bili uporabljeni trije geodetski načrti, vsi imajo višine prikazane v sistemu SVS2010.

2 VIŠINSKI KOORDINATNI SISTEMI

V geodeziji določamo višino na podlagi določene referenčne ploskve ter izhodiščne točke z določeno višino, ki predstavljata geodetski datum. Razlog za težavnost določitev višinskih sistemov je predvsem v povezanosti pojma višine s težnostnim poljem Zemlje, ki ni enakomeren po celotni površini in notranjosti Zemlje (Lisec, 2004).

Višinski sistem moramo določiti tako, da bo kar se da uporaben za vsakdanjo uporabo. Smernice, ki naj bi veljale za idealni višinski sistem so, da mora biti višina neke točke določena enolično in mora biti neodvisna od poti niveliranja. Višine morajo biti določene na osnovi fizikalnih meritev na Zemlji brez predpostavk o sestavi Zemljine notranjosti. Višine morajo omogočati enostavno povezavo z elipsoidnimi višinami, da lahko meritve izvajamo s pomočjo GNSS meritev. Enota, v katerih zapisujemo višine naj bi bila meter. Točke, ki imajo isto višino naj bi ležale na isti nivojski ploskvi (Lisec, 2004).

Višine torej definiramo na podlagi fizikalnih lastnosti prostora, to je na podlagi sile teže. Sila teže je vektor s smerjo in velikostjo. Velikost se spreminja, smer tega vektorja pa v praksi imenujemo težiščnica, to je silnica težnostnega polja. Težiščnice so prostorske krivulje. Ker je Zemlja okrogla, vsebujejo težiščnice fleksijsko ukrivljenost, zaradi sprememb gostote zemeljske notranjosti pa torzijsko ukrivljenost. Točnega poteka krivulje zaradi nepoznavanja točne gostote v vsaki točki zemeljske notranjosti ne poznamo (Kuhar, 2012).

Težnostno polje najenostavneje prikažemo s pomočjo ekvipotencialnih ploskev, to so ploskve s konstantnim potencialom. Ekvipotencialna ploskev je v vsaki točki, ki leži na njej, pravokotna na smer sile teže, kar pomeni, da jo težiščnica seka pod pravim kotom. Ekvipotencialne ploskve zaradi neenakomerne razporejenosti zemeljskih mas med seboj niso paralelne, ampak se med seboj nikoli ne sekajo (Kuhar, 2020).

Glede na različne interpretacije višin ločimo več vrst le teh. Geopotencialne kote predstavljajo razliko med vrednostjo na izhodiščni ekvipotencialni ploskvi in na ekvipotencialni ploskvi, na kateri leži izbrana točka. (Stopar, 2020) Ker pa enote geopotencialnih kot niso metri iščemo druge rešitve za prikazovanje višin. Zato uvedemo ortometrične, normalne in elipsoidne višine (Kuhar, 2020).

2.1 Modeli Zemlje

Ker je Zemlja razgibana in njene površine ni mogoče matematično opisati, uporabljamo modele za opisovanje njenega površja, na katere se nanašamo ob vzpostavljanju koordinatnih sistemov. Najbolj enostaven približek je model krogle, v večini pa v geodeziji uporabljamo model rotacijskega elipsoida ali geoida.

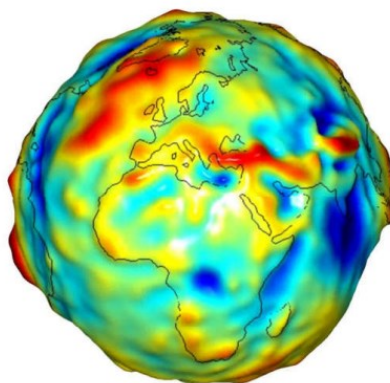
2.1.1 Rotacijski elipsoid

Matematično definirana ploskev, ki jo dobimo, če rotiramo elipso okrog male polosi, se imenuje rotacijski elipsoid. Praviloma je rotacijska os elipsoida vzporedna rotacijski osi Zemlje. Rotacijski elipsoid definiramo tako, da se kar najbolj prilagaja Zemljinem površju. Poznamo dve skupini rotacijskih elipsoidov, globalni in lokalni elipsoidi. Parametri globalnih rotacijskih elipsoidov so nastavljeni tako, da se kar najbolj prilegajo celotnemu površju Zemlje, medtem ko so lokalni elipsoidi prilagojeni določenemu območju (Kuhar, 2012).

V Sloveniji se je za državni koordinatni sistem D48 uporabljal lokalni Besselov elipsoid, nov koordinatni sistem D96 pa temelji na globalnem elipsoidu GRS80 (Medved, 2018).

2.1.2 Geoid

Fizikalna definicija Zemljinega površja, ki predstavlja eno od ekvipotencialnih ploskev, imenujemo geoid (Slika 1). Geoid si lahko predstavljamo kot nivo srednje morske gladine, podaljšan tudi pod površje Zemlje. Ploskev geoida ni matematično opisljiva, saj je odvisna od gostote mas Zemljine notranjosti. Ker ne poznamo točne razporeditve mas v Zemljini notranjosti, določamo geoid na podlagi predpostavk ter s pomočjo redukcije merjenih vrednosti težnosti (Kuhar, 2011). »Rezultat izračuna geoida je določena oblika in velikost geoida glede na izbrano referenčno ploskev elipsoida« (Kuhar, 2020). To je podatek o geoidnih višinah za točke na površini geoida. Te so podane za točke v mreži, za ostale pa jih preračunamo z interpolacijo (Kuhar, 2020).



Slika 1: Model geoida (Kuhar, 2012)

2.1.3 Kvazigeoid

Pomanjkljivost geoida je v nepoznavanju točne razporeditve mas v zemeljski notranjosti. To rešimo z uvajanjem kvazigeoida, ki ga določimo samo na podlagi obravnavanja fizične površine Zemlje ter težnostnega polja, ki jo obdaja (Kuhar, 2011).

Tako kot za geoid, so tudi podatki o kvazigeoidu podani kot oddaljenost kvazigeoida od elipsoida, tem višinam pravimo kvazigeoidne višine in imajo definicijo podobno geoidnim (Kuhar, 2020).

2.2 Slovenski višinski sistem 2000

Pred letom 2018 se je v Sloveniji uporabljal Slovenski višinski sistem 2000, ki ima oznako SVS2000. Višine v tem sistemu so vezane na višinski datum Trst, ki je določen na podlagi enoletnih opazovanj srednje gladine morja leta 1875. Opazovanja so izvajali na mareografski postaji, ki se nahaja na pomolu Sartorio (Portal prostor, 2023). Ta sistem je temeljil na višinskem sistemu, ki je bil vzpostavljen v času Avstro-ogrske monarhije. Višine so bile določene v sistemu normalnih ortometričnih višin, ki se nanašajo na normalno ničelno nivojsko ploskev (Koler, 2019).

Kot višinska referenčna ploskev se je uporabljal model ploskve geoida SLO_AGM2000/Trst (Portal prostor, 2023). Ta je bil izračunan s tehniko kolokacije po metodi najmanjših kvadratov. Preračun je temeljil na merjenjih odklonov navpičnic na 99 točkah v Sloveniji, na Madžarskem in na Hrvaškem. Poleg tega so uporabili tudi 4605 točkastih vrednosti anomalij težnosti (Koler, 2012).

Poleg tega, da sistem normalnih ortometričnih višin velja za zastarelega, ima SVS2000 še nekaj pomanjkljivosti. Višinski datum Trst, ki predstavlja izhodišče tega sistema, je določen na podlagi enoletnih opazovanj gladine morja. Za dovolj kakovostno določitev srednje morske gladine naj bi opazovanja potekala vsak 18,6 let. Na območju Slovenije se dogajajo tudi geodinamični premiki, ki vplivajo na vertikalne premike površja. Zaradi tega prihaja do razlik med višinami reperjev v naravi ter podatki o njihovih višinah, ki so navedeni v zbirki podatkov o reperjih. Model geoida iz leta 2000 je vpet na točke, ki so bile določene s trigonometričnim višinomerstvom in niso bile vključene v nivelmansko mrežo. Posledično ne moremo kakovostno izvajati GNSS meritev za določanje višinske komponente (Koler, 2019).

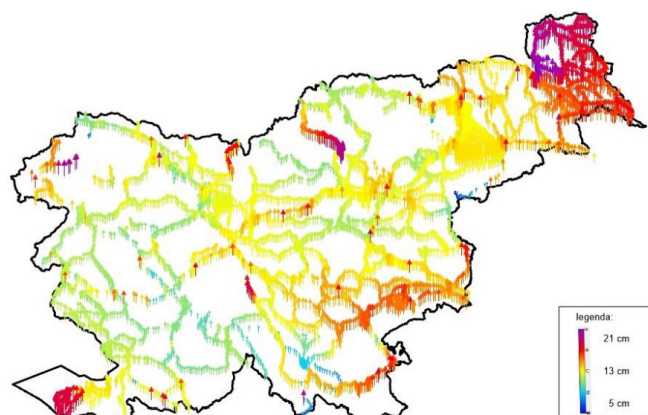
Zaradi zgoraj naštetih razlogov je bil decembra 2018 uveden nov višinski sistem, ki je bolj prilagojen sodobnim tehnologijam.

2.3 Slovenski višinski sistem 2010

Višinski datum novega višinskega koordinatnega sistema določa srednjo morsko gladino, ki je opredeljena na podlagi mareografskih meritev, opravljenih na mareografski postaji (MP) v Kopru. Opazovanja so potekala od 1997 do 2005 na stari mareografski postaji in od 2006 do 2015 na obnovljeni postaji v Kopru. Razlika med starim in novim višinskim datumom je 15,5 cm, srednja gladina morja v novem sistemu je višja od stare, posledično so višine v novem sistemu nižje od tistih v starem višinskem sistemu (Koler, 2019).

Razlog za boljšo vpetost višinske ploskve je tudi v novi nivelmanski izmeri, ki je bila izvedena za bolj kakovostno določitev višin v novem koordinatnem sistemu. Nova nivelmanska mreža 1. reda je sestavljena iz 13 zank, v katerih je skupaj vključenih 2036 reperjev. Na 85,1 % reperjev je bila izvedena gravimetrična izmera, s čimer so pridobili podatek o težnostnem pospešku. V nivelmanski mreži 1. reda so pri izravnavi uporabili razlike geopotencialnih kot, pri katerih so izhajali iz fundamentalnega reperja, ki se nahaja v okolici Ruš pod Pohorjem. Geopotencialna kota tega reperja je bila določena na podlagi

izravnave nivelmanske mreže MP Koper. Višine reperjev nižjih redov so pretvorili na podlagi podatkov iz starih nivelmanskih izmer (Koler, 2019).

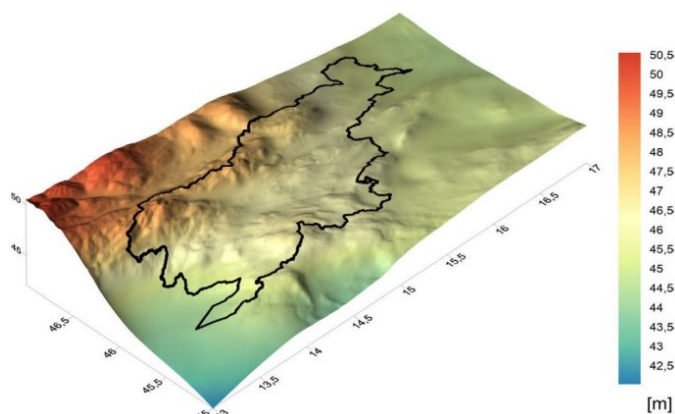


Slika 2: Prikaz razlik v višinah med starim in novim višinskim koordinatnim sistemom (Koler, 2019)

Višinska razlika med višinskima sistemoma ni enotna po celotnem območju Slovenije, saj prihaja do razlik v osnovnih ploskvah. Razlike med reperji, ki imajo višino določeno v obeh sistemih, se gibljejo nekje med 5 cm in 21 cm (Slika 2, Tehnično navodilo za uporabo novega državnega višinskega sistema, 2020).

Za izračun modela geoida v letu 2010 je bila uporabljena gravimetrična rešitev, ki vključuje vrednosti težnostnega pospeška, izmerjenega na skoraj 12000 točkah po Sloveniji in v sosednjih državah (Koler, 2012).

Višinska referenčna ploskev (SLO_VRP2016/Koper) novega koordinatnega sistema je kvazigeoid, ki je pripet na 66 GNSS/nivelmanskih točk, ki so razporejene po celotnem območju Slovenije. Te točke imajo s 36 urnimi GNSS opazovanji določene elipsoidne višine, prav tako pa imajo določene normalne višine na podlagi nivelmanske izmere. Na tak način vpeta referenčna ploskev omogoča določanje nadmorskih višin z GNSS višinomerstvom z upoštevanjem geoidnih višin na posameznih točkah (Koler, 2019).



Slika 3: Višinska referenčna ploskev SLO_VRP2016/Koper (Koler, 2019)

3 METODOLOGIJA TRANSFORMACIJE VIŠIN

Za praktični del naloge sem kot podlago za izvedbo izračunov in analiz uporabila tri geodetske načrte. Njihove višine, ki so podane v višinskem sistemu SVS2010, sem na različne načine preračunala v star državni višinski sistem SVS2000 ter rezultate primerjala med sabo. Cilj je primerjati različne metode transformacije višin ter ugotoviti, ali in koliko način transformacije vpliva na končni rezultat.

Višine danih točk sem pretvarjala na tri različne načine. Najprej sem višine pretvorila s pomočjo spletne aplikacije SiVis, nato pa v programu Microsoft Excel preračunala še glede na višine točk okoliških reperjev.

Višine sem pretvarjala na treh različnih območjih, to so Vransko, Medvode in Šmartno pri Ljubljani. Poleg različnih lokacij obravnavanih geodetskih načrtov je pomembna informacija tudi, da vključujejo različno velika območja. Geodetski načrt Vransko predstavlja dolžinski objekt in je zato po obsegu občutno večji od ostalih dveh. Za pretvorbe višin na geodetskem načrtu v okolici Vranskega sem uporabila 5 reperjev, v okolici Medvod 4 in v okolici Šmartnega pri Ljubljani 3 reperje.

3.1 Transformacija s SiVis

Spletna aplikacija SiVis (<http://sitranet.si/sivis.html>) omogoča enostavno transformacijo višin med koordinatnimi sistemi. Preračun višin se izvede na podlagi interpolacije razlik geoidnih višin med SLO_AGM2000/Trst in SLO_VRP2016/Koper. Za model SLO_VRP2016/Koper se uporabi metoda bikubični zleпки, za model SLO_AGM2000/Trst pa kubična metoda interpolacije (Kozmus Trajkovski, Stopar).

Program omogoča transformacijo višin, ki so bile pridobljene z metodo GNSS višinomerstva. V primeru, da imamo izhodišče določeno z GNSS višinomerstvom, ostale točke pa so pridobljene s klasično terestrično izmero, je potrebno izhodišče transformirati s pomočjo programa, preostale točke pa nato preračunamo na podlagi tahimetrične izmere (Medved, 2020).

Transformacija s spletno aplikacijo je priročna zaradi enostavnosti preračuna, ampak je lahko zaradi načina pretvorbe na nekaterih mestih premalo natančna. Do tega pride predvsem zaradi slabše natančnosti geoida, ki je izhodiščna ploskev za stari državni koordinatni sistem (Kozmus Trajkovski, Stopar).

Pri vseh izbranih geodetskih načrtih so višine podane v novem državnem višinskem sistemu SVS2010. te višine sem nato pretvarjala v star državni koordinatni sistem SVS2000. Z aplikacijo SiVis sem pretvorila izhodiščne točke, ki so bile določene z GNSS metodo izmere. Nato sem na podlagi višinskih razlik med izhodiščno višino in detajlnimi točkami pretvorila še preostale višine.

Izhodiščne točke, določene z GNSS višinomerstvom so točke z oznako 1mt, 13 in 14 pri geodetskem načrtu Vransko, 9005 pri geodetskem načrtu Medvode in S1000 ter S1001 pri geodetskem načrtu Šmartno.

3.2 Transformacija na osnovi višin okoliških reperjev

Drug način pretvorbe je na podlagi višin okoliških reperjev, ki imajo višino podano v starem in novem državnem višinskem sistemu. Na podlagi izračunane povprečne razlike med višinami okoliških reperjev nato pretvorimo višine detajlnih točk na geodetskem načrtu. Kakovost preračuna je odvisna od kakovosti določitve višin reperjev državne nivelmanske mreže, pa tudi od oddaljenosti reperja od območja, na katerem pretvarjamo višine. Priporočljivo je, da se, če je le možno, navezujemo na reperje višjih redov, saj imajo večinoma tudi bolj natančno določeno višino (Medved, 2020).

Pri pretvorbi sem uporabila povprečje razlik višin reperjev iz okolice geodetskega načrta, sem jo prištela višinam obravnavanih točk. Višine obstoječih reperjev v okolici delovišč sem pridobila iz topografij, ki so dostopne v bazi geodetskih točk GURS.

Transformacijo sem nato izvedla tudi na podlagi najbližjega reperja. Pri geodetskem načrtu Vransko sem uporabila tri različne reperje, saj je geodetski načrt dolžinski. Uporabila sem reperje 8-2714, 8-2769 in P77-5-2660. Pri geodetskem načrtu Medvode sem za vse višine uporabila reper P52-55/15, pri geodetskem načrtu Šmartno pa 1-49/4.

4 TRANSFORMACIJA VIŠIN GEODETSKIH NAČRTOV

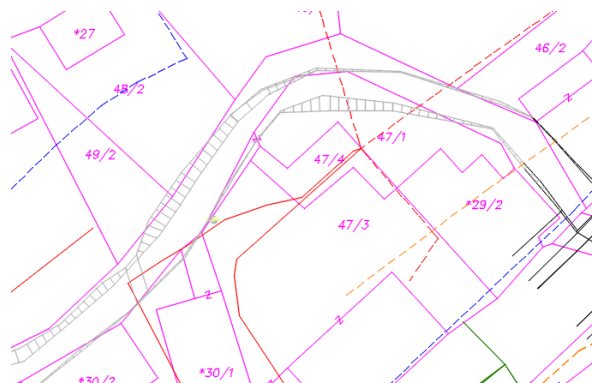
Podlaga za primerjavo transformacij med višinskimi koordinatnimi sistemi so trije geodetski načrti, ki imajo točke določene v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM, njihove višine pa so podane v novem državnem višinskem sistemu SVS2010.

Kot testni vzorec sem si iz vsakega načrta izbrala 30 točk, ki so enakomerno porazdeljene po celotnem območju. Točke sem nato na v poglavju 3 opisane načine pretvarjala v star višinski koordinatni sistem SVS2000 ter primerjala razlike med pretvorjenimi višinami.

4.1 Vhodni podatki za izvedbo analiz

4.1.1 Geodetski načrt Vransko

Prvi primer je geodetski načrt brežin Podgrajščice s pritoki, ki se nahaja v okolici Vranskega.



Slika 5: Izsek iz geodetskega načrta Vransko

Slika 4: Makrolokacija geodetskega načrta Vransko

Preglednica 1: Obravnavane točke iz geodetskega načrta Vransko

Točka	Tip	e [m]	n [m]	H [m]	Točka	Tip	e [m]	n [m]	H [m]
1mt	PT	494.939,635	122.286,802	360,200	8989	DT	495.975,242	122.610,922	344,180
13	PT	495.080,615	122.283,240	358,170	9058	DT	496.077,295	122.693,859	341,920
14	PT	495.192,610	122.294,987	356,110	1831	DT	496.114,788	122.730,459	340,727
216	DT	494.955,730	122.292,800	359,890	7500	DT	496.240,919	122.775,616	339,460
435	DT	494.959,046	122.310,224	360,737	7128	DT	496.304,111	122.812,715	340,270
238	DT	494.984,477	122.286,467	359,580	7227	DT	496.420,524	122.899,465	339,890
3458	DT	495.015,172	122.274,524	358,327	8492	DT	496.570,336	122.893,012	337,370
873	DT	495.042,163	122.281,875	358,654	8210	DT	496.709,348	122.903,969	336,790
314	DT	495.083,586	122.278,584	357,970	7774	DT	496.947,614	122.991,781	334,340
887	DT	495.117,763	122.274,425	357,292	1696	DT	497.067,374	123.090,522	331,940
512	DT	495.197,692	122.289,681	356,152	7768	DT	497.194,220	123.090,900	332,380
454	DT	495.249,352	122.313,760	354,970	8213	DT	497.206,379	123.164,208	327,770
560	DT	495.312,899	122.309,255	352,767	8747	DT	497.273,356	123.228,455	330,460
586	DT	495.390,682	122.346,976	352,457	8663	DT	497.341,567	123.274,615	331,080
605	DT	495.448,275	122.379,363	350,659	8726	DT	497.445,271	123.246,903	329,150

PT – poligonska točka, DT – detajlna točka

4.1.2 Geodetski načrt Medvode

Drugi primer je geodetski načrt odseka ceste z nekaj objekti v Medvodah.



Slika 6: Makrolokacija geodetskega načrta Medvode



Slika 7: Izsek iz geodetskega načrta Medvode

Preglednica 2: Obravnavane točke iz geodetskega načrta Medvode

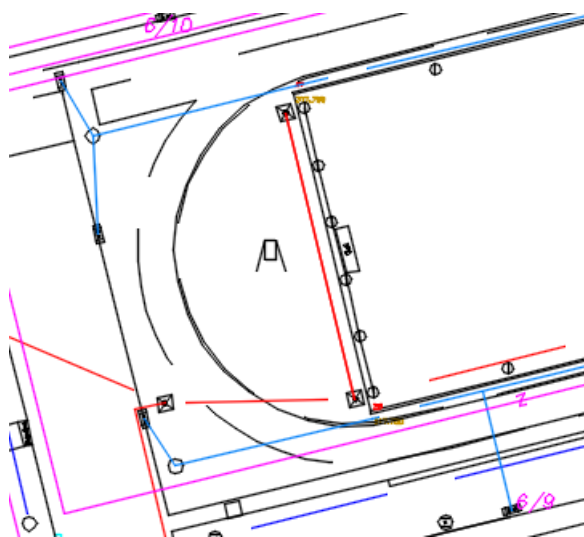
Točka	Tip	e [m]	n [m]	H [m]	Točka	Tip	e [m]	n [m]	H [m]
9005	PT	453.399,762	111.457,904	333,849	106	DT	453.393,945	111.354,908	335,886
268	DT	453.400,365	111.444,787	334,717	66	DT	453.420,099	111.347,253	335,505
276	DT	453.391,443	111.430,940	335,329	69	DT	453.407,070	111.342,903	335,790
296	DT	453.398,963	111.420,175	335,913	404	DT	453.381,112	111.341,548	337,370
263	DT	453.397,503	111.415,670	335,872	414	DT	453.384,362	111.324,413	337,526
201	DT	453.392,604	111.409,263	335,798	9002	DT	453.401,368	111.324,791	336,208
197	DT	453.392,604	111.409,263	335,736	71	DT	453.415,544	111.332,459	335,625
332	DT	453.376,380	111.404,453	336,385	63	DT	453.436,481	111.341,472	335,247
186	DT	453.388,835	111.389,882	335,660	47	DT	453.418,268	111.315,106	335,909
124	DT	453.395,126	111.382,856	335,710	42	DT	453.430,435	111.314,229	335,275
155	DT	453.402,728	111.376,153	335,934	466	DT	453.402,912	111.297,734	336,312
388	DT	453.382,301	111.377,047	336,731	487	DT	453.425,520	111.293,845	335,332
147	DT	453.393,794	111.367,839	335,737	480	DT	453.414,753	111.287,935	335,863
138	DT	453.390,096	111.364,260	335,919	180	DT	453.416,847	111.369,946	344,064
351	DT	453.375,358	111.356,050	337,254	375	DT	453.373,707	111.388,199	336,731

4.1.3 Geodetski načrt Šmartno

Tretji primer je geodetski načrt športnega igrišča pri osnovni šoli v Šmartnem pod Šmarno goro.



Slika 8: Makrolokacija geodetskega načrta Šmartno



Slika 9: Izsek iz geodetskega načrta Šmartno

Preglednica 3: Obravnavane točke geodetskega načrta Šmartno

Točka	Tip	e [m]	n [m]	H [m]	Točka	Tip	e [m]	n [m]	H [m]
S1000	PT	459.668,043	109.655,860	317,798	23	DT	459.656,070	109.626,840	318,400
S1001	PT	459.758,073	109.677,675	317,602	36	DT	459.659,620	109.610,200	317,860
216	DT	459.768,073	109.670,285	317,472	1016	DT	459.700,035	109.612,928	318,318
110	DT	459.759,600	109.664,652	317,816	313	DT	459.695,072	109.626,492	318,098
43	DT	459.744,552	109.664,328	317,796	323	DT	459.702,903	109.633,593	317,845
7	DT	459.731,054	109.660,139	317,793	150	DT	459.719,815	109.630,809	317,829
53	DT	459.712,738	109.659,317	317,820	1041	DT	459.736,877	109.627,464	317,552
324	DT	459.697,218	109.656,597	317,698	171	DT	459.749,931	109.630,667	317,213
248	DT	459.674,459	109.653,622	317,765	92	DT	459.755,761	109.639,702	317,815
250	DT	459.657,037	109.648,939	318,013	1055	DT	459.770,917	109.633,067	316,701
263	DT	459.681,677	109.647,384	317,940	204	DT	459.771,333	109.627,755	316,556
64	DT	459.705,683	109.648,985	317,794	280	DT	459.763,472	109.621,286	317,308
1063	DT	459.716,821	109.646,712	317,902	201	DT	459.771,368	109.612,508	316,018
128	DT	459.756,361	109.658,214	318,351	1096	DT	459.755,083	109.608,451	317,381
211	DT	459.769,418	109.652,704	317,159	1084	DT	459.738,676	109.602,187	317,418

4.2 Rezultati in njihova analiza

4.2.1 Geodetski načrt Vransko

Oznake reperjev so sestavljene iz več števil, prva predstavlja številko zanke, v katero je reper vključen, druga pa je številka reperja, pod katero je označen v zbirki podatkov geodetskih točk na Geodetski upravi RS. Črka P pri oznakah nekaterih reperjev pomeni, da je bila višina v novem višinskem sistemu pridobljena na podlagi starih nivelmanskih izmer, ki smo jih vključili v novo nivelmansko izmero (Koler, 2019).

V primeru Vranskega se razlike v višinah med višinskima sistemoma najbolj razlikujejo, saj se odstopanja razlike višin reperjev od povprečne razlike višin ($\overline{\Delta H_{sre}}$) gibajo med -5 mm do 3 mm (Preglednica 4), kar predstavlja tudi razliko v transformaciji višin geodetskega načrta, če bi višine transformirali na osnovi le enega reperja. Povprečna razlika med višinskima koordinatnima sistemoma na območju je 0,128 m.

Preglednica 4: Reperji v okolici geodetskega načrta Vransko

Oznaka	Red	$e_{D96/TM}$ [m]	$n_{D96/TM}$ [m]	H_{Koper} [m]	H_{Trst} [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	Odstopanje od $\overline{\Delta H_{sre}}$ [m]
8 2769	1.	496369	122910	341,783	341,912	-0,129	0,001
8 2714	1.	496018	122280	352,247	352,370	-0,123	-0,005
P77-5 2660	3.	497178	123158	332,233	332,363	-0,130	0,003
P77-5 CP418	3.	497850	122790	330,851	330,981	-0,130	0,003
P249-40	4.	496439	122567	341,103	341,228	-0,125	-0,002
					Povprečje	-0,128	

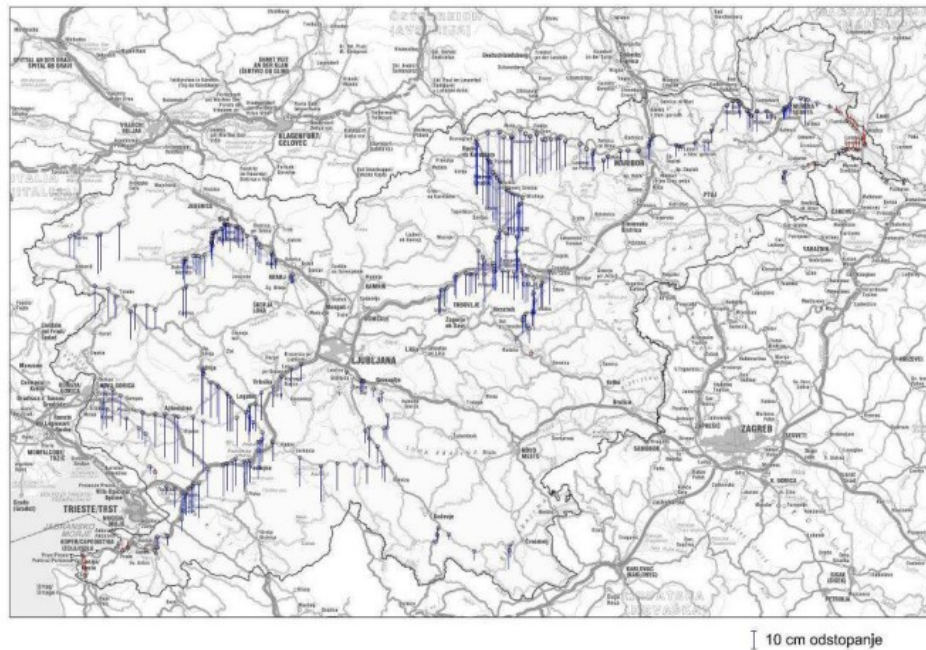
Preglednica 5 prikazuje rezultate analize, v katero so bile vključene točke iz geodetskega načrta v okolici Vranskega. V tabeli so prikazane višine točk v novem in starem višinskem koordinatnem sistemu, ter nato še razlika med njima. Nato je prikazana primerjava med dvema različnima pretvorbama.

Preglednica 5: Transformacija višin točk geodetskega načrta Vransko

Točka	H [m]	SiVis [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	H glede na reperje [m]	SiVis – Reperji [m]	Točka	H [m]	SiVis [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	H glede na reperje [m]	SiVis – Reperji [m]
1mt	360,200	360,221	-0,021	360,328	-0,106	8989	344,180	344,201	-0,021	344,308	-0,106
13	358,170	358,191	-0,021	358,298	-0,106	9058	341,920	341,941	-0,021	342,048	-0,106
14	356,110	356,131	-0,021	356,238	-0,106	1831	340,727	340,748	-0,021	340,855	-0,106
216	359,890	359,911	-0,021	360,018	-0,106	7500	339,460	339,481	-0,021	339,588	-0,106
435	360,737	360,758	-0,021	360,865	-0,106	7128	340,270	340,291	-0,021	340,398	-0,106
238	359,580	359,601	-0,021	359,708	-0,106	7227	339,890	339,911	-0,021	340,018	-0,106
3458	358,327	358,348	-0,021	358,455	-0,106	8492	337,370	337,391	-0,021	337,498	-0,106
873	358,654	358,675	-0,021	358,782	-0,106	8210	336,790	336,811	-0,021	336,918	-0,106
314	357,970	357,991	-0,021	358,098	-0,106	7774	334,340	334,361	-0,021	334,468	-0,106
887	357,292	357,313	-0,021	357,420	-0,106	1696	331,940	331,961	-0,021	332,068	-0,106
512	356,152	356,173	-0,021	356,280	-0,106	7768	332,380	332,401	-0,021	332,508	-0,106
454	354,970	354,991	-0,021	355,098	-0,106	8213	327,770	327,791	-0,021	327,898	-0,106
560	352,767	352,788	-0,021	352,895	-0,106	8747	330,460	330,481	-0,021	330,588	-0,106
586	352,457	352,478	-0,021	352,585	-0,106	8663	331,080	331,101	-0,021	331,208	-0,106
605	350,659	350,680	-0,021	350,787	-0,106	8726	329,150	329,171	-0,021	329,278	-0,106

Iz Preglednice 5 vidimo, da so višine med sistemoma na podlagi pretvorbe s programom SiVis odstopale samo za 0,021 m, kar pomeni, da je na tem območju razlika med načinoma pretvorbe 10,6 cm. Glede na to, da lahko s klasično terestrično izmero ter GNSS izmero koordinate točk določamo z nekaj centimetrovsko natančnostjo, je razlika med pretvorbo s spletno aplikacijo in reperji statistično pomembna in je potrebno v tem primeru transformacijo nujno izvesti na podlagi višinskih razlik med reperji. Razlog za tako veliko odstopanje med tema dvema načinoma transformacije je v slabši kakovosti modela geoida

iz leta 2000. Podobne rezultate glede odstopanj geoida je opaziti tudi v analizi natančnosti modelov geoida, ki je opisan v članku »Nov višinski sistem Slovenije in testni izračun geoida«. Tudi rezultati te analize so pokazali odstopanje geoida za približno 10 cm v okolici obravnavanega območja. (Koler, 2012)



Slika 10: Odstopanja geoida (Koler, 2012)

4.2.2 Geodetski načrt Medvode

V Preglednici 6 so prikazani podatki o reperjih v okolici geodetskega načrta Medvode. Te so v primerjavi s tistimi na Vranskem bližje skupaj, prav tako pa so med njimi manjše višinske razlike.

Preglednica 6: Reperji v okolici geodetskega načrta Medvode

Oznaka	Red	$e_{D96/TM}$ [m]	$n_{D96/TM}$ [m]	H_{Koper} [m]	H_{Trst} [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	Odstopanje od $\overline{\Delta H_{sre}}$ [m]
P52 55/13	NMN	453406	111309	337,066	337,185	-0,119	-0,000
P52 55/15	NMN	453514	111022	318,705	318,824	-0,119	0,000
P52 55/20	NMN	453876	111440	318,507	318,626	-0,118	-0,001
P52 55/11	NMN	452864	111617	325,672	325,791	-0,119	0,000
					Povprečje	-0,119	

Preglednica 7: Transformacija višin točk geodetskega načrta Medvode

Točka	H [m]	SiVis [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	H iz reperjev [m]	SiVis – Reperji [m]	Točka	H [m]	SiVis [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	H iz reperjev [m]	SiVis – Reperji [m]
9005	333,849	333,974	-0,125	333,968	0,006	106	335,886	336,011	-0,125	336,005	0,006
268	334,717	334,842	-0,125	334,836	0,006	66	335,505	335,630	-0,125	335,624	0,006
276	335,329	335,454	-0,125	335,448	0,006	69	335,790	335,915	-0,125	335,909	0,006
296	335,913	336,038	-0,125	336,032	0,006	404	337,370	337,495	-0,125	337,489	0,006
263	335,872	335,997	-0,125	335,991	0,006	414	337,526	337,651	-0,125	337,645	0,006
201	335,798	335,923	-0,125	335,917	0,006	9002	336,208	336,333	-0,125	336,327	0,006
197	335,736	335,861	-0,125	335,855	0,006	71	335,625	335,750	-0,125	335,744	0,006
332	336,385	336,510	-0,125	336,504	0,006	63	335,247	335,372	-0,125	335,366	0,006
186	335,660	335,785	-0,125	335,779	0,006	47	335,909	336,034	-0,125	336,028	0,006
124	335,710	335,835	-0,125	335,829	0,006	42	335,275	335,400	-0,125	335,394	0,006
155	335,934	336,059	-0,125	336,053	0,006	466	336,312	336,437	-0,125	336,431	0,006
388	336,731	336,856	-0,125	336,850	0,006	487	335,332	335,457	-0,125	335,451	0,006
147	335,737	335,862	-0,125	335,856	0,006	480	335,863	335,988	-0,125	335,982	0,006
138	335,919	336,044	-0,125	336,038	0,006	180	344,064	344,189	-0,125	344,183	0,006
351	337,254	337,379	-0,125	337,373	0,006	375	336,731	336,856	-0,125	336,850	0,006

Pri reperjih v okolici Medvod so odstopanja zanemarljiva, razen v primeru reperja P52 55/20, kjer je odstopanje od povprečja -1 mm. Povprečna razlika med SVS2010 in SVS2000 je -0,119 m.

Razlika med višinami, pretvorjenimi na podlagi aplikacije SiVis in na podlagi okoliških reperjev je 6 mm, kar je razvidno iz Tabele 7. Na tem območju je ta razlika izrazito manjša, kot v primeru geodetskega načrta v okolici Vranskega. Za določene namene bi tu zadoščala transformacija samo s spletno aplikacijo.

4.2.3 Geodetski načrt Šmartno

Preglednica 8 prikazuje koordinate reperjev v Šmartnem, ki se podobno kot pri reperjih v Medvodah med seboj ne razlikujejo tako očitno.

Preglednica 8: Reperji v okolici geodetskega načrta Šmartno

Oznaka	Red	$e_{D96/TM}$ [m]	$n_{D96/TM}$ [m]	H_{Koper} [m]	H_{Trst} [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	Odstopanje od $\overline{\Delta H_{sre}}$ [m]
P1 49/2	NMN	459019	109086	308,978	309,110	-0,132	0,000
P266 F30	4.	459509	109756	321,919	322,050	-0,132	-0,000
P1 333	NMN	460224	109616	317,067	317,198	-0,131	-0,001
1 49/4	MN	459591	109526	9999	318,631	/	
					Povprečje	-0,132	

Preglednica 9: Transformacija višin točk geodetskega načrta Šmartno

Točka	H [m]	SiTra [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]	H iz reperjev [m]	SiVis – Reperji [m]	Reper [m]	Razlika [m]	Točka	H [m]	SiTra [m]	Razlika (Koper - Trst) [m]
S1000	317,798	317,914	-0,116	317,930	-0,016	317,930	0,000	23	318,400	318,516	-0,116
S1001	317,602	317,718	-0,116	317,734	-0,016	317,734	0,000	36	317,860	317,976	-0,116
216	317,472	317,588	-0,116	317,604	-0,016	317,604	0,000	1016	318,318	318,434	-0,116
110	317,816	317,932	-0,116	317,948	-0,016	317,948	0,000	313	318,098	318,214	-0,116
43	317,796	317,912	-0,116	317,928	-0,016	317,928	0,000	323	317,845	317,961	-0,116
7	317,793	317,909	-0,116	317,925	-0,016	317,925	0,000	150	317,829	317,945	-0,116
53	317,820	317,936	-0,116	317,952	-0,016	317,952	0,000	1041	317,552	317,668	-0,116
324	317,698	317,814	-0,116	317,830	-0,016	317,830	0,000	171	317,213	317,329	-0,116
248	317,765	317,881	-0,116	317,897	-0,016	317,897	0,000	92	317,815	317,931	-0,116
250	318,013	318,129	-0,116	318,145	-0,016	318,145	0,000	1055	316,701	316,817	-0,116
263	317,940	318,056	-0,116	318,072	-0,016	318,072	0,000	204	316,556	316,672	-0,116
64	317,794	317,910	-0,116	317,926	-0,016	317,926	0,000	280	317,308	317,424	-0,116
1063	317,902	318,018	-0,116	318,034	-0,016	318,034	0,000	201	316,018	316,134	-0,116
128	318,351	318,467	-0,116	318,483	-0,016	318,483	0,000	1096	317,381	317,497	-0,116
211	317,159	317,275	-0,116	317,291	-0,016	317,291	0,000	1084	317,418	317,534	-0,116

Reperji v Šmartnem pri Ljubljani imajo podobno kot v prejšnjem primeru največje odstopanje -1 mm in sicer pri reperju P1 333. Ostala odstopanja višinskih razlik so prav tako zanemarljiva. Povprečje višinskih razlik med novim in starim državnim višinskim sistemom je -0,132 m (Preglednica 9).

Če to vrednost primerjamo z vrednostmi, pridobljenimi s pomočjo aplikacije SiVis, se te razlikujejo za 1,55 cm.

5 ZAKLJUČEK

Pri analizi sem uporabila podatke o višinah iz treh geodetskih načrtov. Višine so bile podane v novem državnem višinskem koordinatnem sistemu. V star višinski koordinatni sistem sem jih pretvorila na podlagi okoliških reperjev in s pomočjo aplikacije SiVis.

Glede na dobljene rezultate pri pretvarjanju višin, podanih v višinskem sistemu SVS2010 v višinski sistem SVS2000 lahko trdimo, da je najbolj zanesljiva metoda pretvarjanja na podlagi razlik v višinah okoliških reperjev. Razlog za bolj zanesljivo pretvorbo je v določitvi višin na reperjih, saj so višine določene na podlagi izravnave nivelmanskih zank in so tako določene bolj natančno, kot če pretvorbo izvedemo s pomočjo aplikacije SiVis. Razlog za slabšo natančnost pretvorjenih višin s SiVis je predvsem v slabši natančnosti modela geoida starega državnega višinskega koordinatnega sistema. Zato lahko na določenih območjih pride do večjih odstopanj pri pretvorbi višin, kot v našem primeru na območju Vranskega.

V primeru, ko pretvarjamo višine točk, ki se nahajajo blizu druga druge, uporabimo bližnji reper in za pretvorbo ni potrebno uporabiti povprečja več reperjev. Dokaz za to so razlike med razlikami višin reperjev in povprečno razliko višin na območju Medvod in Šmartnega, kjer so razlike med povprečjem višinskih razlik reperjev in posameznega reperja zanemarljiva. Kadar obravnavamo višine točk dolžinskega objekta, kot v primeru Vranskega, prihaja med reperji do večjih razlik, največje odstopanje v primeru Vranskega je bilo -0,005 m. V takih primerih lahko uporabimo povprečje reperjev iz okolice, ali pa pretvarjamo na podlagi bližnjega reperja.

Predvsem je pomembno, da poznamo lastnosti posamezne metode pretvorbe in zahtevano natančnost določitve višine ter ocenimo, katera je v danem primeru najprimernejša.

VIRI

Koler, B., Stopar, B., Sterle, O., Urbančič, T., Medved, K. 2019. Nov slovenski višinski sistem SVS2010. Geodetski vestnik. 63, 1: 27-40.

Koler, B., Urbančič, T., Medved, K., Vardjan, N., Berk, S., Dahl Omang, O. C., Solheim, D., Kuhar, M. 2012. Novi višinski sistemi Slovenije in testni izračun geoida. [SZGG12_Koler_in_drugi-lekt\(uni-lj.si\)](#) (Pridobljeno 8. 7. 2023.)

Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. Navodila za uporabo programa za pretvorbo višin med višinskimi sistemi RS. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <http://sitranet.si/navodila-sivis2.htm> (Pridobljeno 20. 7. 2023.)

Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O., Solheim, D. 2011. Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. Geodetski vestnik. 55, 2: 226-234.

Kuhar, M. 2012. Fizikalna geodezija. Ljubljana Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Kuhar, M. 2012. Geodetski računi. Ljubljana Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Kuhar, M. 2020. Fizikalna geodezija, študijski pripomoček. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Lisec, A., Koler, B., Kuhar, M. 2004. Analiza vpliva težnostnega polja na določitev višin točk v različnih višinskih sistemih. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Lisec_et_al.pdf (Pridobljeno 9. 7. 2023.)

Medved, K., Berk, S., Sterle, O., Stopar, B. 2018. Izzivi in dejavnosti z državnim horizontalnim sistemom Slovenije. Geodetski vestnik. 62, 4: 567-586.

Medved, K., Kozmus Trajkovski, K., Berk, S., Stopar, B., Koler, B. 2020. Uvedba novega slovenskega višinskega sistema (SVS2010). Geodetski vestnik. 64, 1: 33-42.

Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M. 2020. Osnovni geodetski sistem. https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/Podrocja/DKS/Horizontalna_sestavina/Dodatna_gradiva/OSNOVNI_GEO_SISTEM.pdf (Pridobljeno 20. 7. 2023.)

Portal prostor. Ministrstvo za naravne vire in prostor, Republika Slovenija. <https://www.e-prostor.gov.si/podrocja/drzavni-koordinatni-sistem/vertikalna-sestavina/?acitem=1238-1242> (Pridobljeno 9. 7. 2023.)

Tehnično navodilo za uporabo novega državnega višinskega sistema. 2020. Geodetska uprava Republike Slovenije.

https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/Podrocja/DKS/Drugo_razno/Navodila/Tehnicno_navodilo_za_uporabo_novega_drzavnega_visinskega_sistema.pdf (Pridobljeno 19. 7. 2023.)

Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list RS, št. 25/14 in 61/17 z dne 26. 4. 2014.