



Razvoj DGS 2007

Prehod na nov koordinatni sistem

Končno poročilo

Ljubljana, 20. 03. 2008

GEODETSKI INŠTITUT SLOVENIJE

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, telefon: +386 1 200 29 00, faks: +386 1 425 06 77, e-pošta: info@geod-is.si, www.geod-is.si

PODATKI O PROJEKTU**Naročnik:**

Naziv naročnika:
Ministrstvo za okolje in prostor (MOP)
Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS)

Zemljemerska ulica 12
1000 Ljubljana

Matična številka: 50263334
Identifikacijska številka za DDV: SI 25661787

Odgovorna oseba: Aleš Seliškar, generalni direktor

Izvajalec:

Geodetski inštitut Slovenije (GI)

Jamova cesta 2
1000 Ljubljana

Matična številka: 5051649000
Identifikacijska številka za DDV: SI 81498756

Odgovorna oseba: mag. Borut Pegan Žvokelj, direktor

Pogodba:

Številka naročila: 2512-07-000061

Naslov pogodbe: Razvoj državnega geodetskega sistema – Prehod na nov koordinatni sistem

Naročnik: številka pogodbe: 35305-5/2007-1	datum: 17. 05. 2007
aneks št. 1 k pogodbi: 35305-13/2007-1	datum: 25. 07. 2007
aneks št. 2 k pogodbi: 35305-13/2007-2	datum: 10. 03. 2008

Izvajalec: številka pogodbe: 07-077/P-SB	datum: 18. 05. 2007
aneks št. 1 k pogodbi: 07-077/1-07/A-DR	datum: 25. 07. 2007
aneks št. 2 k pogodbi: 07-077/P-1/A-08	datum: 10. 03. 2008

Zastopnik pogodbe:

Naročnik: mag. Blaž Mozetič, univ. dipl. inž. geod.
Izvajalec: Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.

Sodelavci (po abecedi):

Geodetski inštitut Slovenije:
Katja Bajec, Sandi Berk, Dominik Fajdiga, Matija Klanjšček, Darja Likovič, Gašper Mahnič, Nika Mesner, mag. Dalibor Radovan

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo:
dr. Božo Koler, mag. Klemen Kozmus Trajkovski, dr. Miran Kuhar, mag. Oskar Sterle, dr. Bojan Stopar

KAZALO

1	Izhodišča, cilji in predmet projekta	1
1.1	Izhodišča in cilji projekta	1
1.2	Predmet projekta.....	2
2	Naloge na horizontalnem koordinatnem sistemu.....	4
2.1	Vzpostavitev modela transformacij med koordinatnimi sistemi (NALOGA 1.1)	4
2.1.1	Opis izdelane programske opreme	4
2.1.2	Izvedena dela pri nadgradnji programa.....	5
2.1.3	SiTra – opis delovanja programa	7
2.1.3.1	Transformacije med koordinatnimi sistemi	7
1	Prostorska transformacija	8
2	Ravninska transformacija.....	12
3	Odkrivanje grobih pogreškov in vrednotenje kakovosti transformacije	12
2.1.3.2	Pretvorbe koordinat na referenčnem elipsoidu.....	13
1	Pretvorba iz elipsoidnih v pravokotne koordinate	14
2	Pretvorba iz pravokotnih v elipsoidne koordinate	14
3	Pretvorba elipsoidnih koordinat v ravninske koordinate.....	15
4	Pretvorba ravninskih koordinat v elipsoidne koordinate.....	16
2.1.3.3	Interpolacija absolutnega modela geoida.....	17
2.2	Analiza skladnosti okvirnih navezovalnih mrež (NALOGA 1.2).....	19
2.2.1	Analiza kakovosti ETRS-točk v centralni bazi geodetskih točk	20
2.2.1.1	Preverjanje ETRS-točk – odkrivanje grobih napak in določitev optimalnih transformacijskih parametrov po relativno homogenih območjih transformacije (z razdelitvijo na 24 regij).....	20
2.2.2	Določitev transformacijskih parametrov za 7 regij, 3 pokrajine in enotno državno transformacijo koordinat točk iz ETRS89 v D48 (brez upoštevanja višin).....	33
2.2.2.1	Razdelitev državnega območja na 7 regij – nivo natančnosti transformacije približno 30 cm.....	33
2.2.2.1.1	Skica območij.....	33
2.2.2.1.2	Rezultati izračuna	34
2.2.2.2	Razdelitev državnega območja na 3 pokrajine – nivo natančnosti transformacije približno 50 cm	36
2.2.2.2.1	Skica območij.....	36
2.2.2.2.2	Rezultati izračuna	37
2.2.2.3	Enotna državna transformacija – nivo natančnosti transformacije približno 1 m	38
2.2.2.3.1	Skica območja.....	38
2.2.2.3.2	Rezultati izračuna	38
2.3	Uskladitev položaja stalnih postaj omrežja SIGNAL z EUREF (NALOGA 1.3).....	39
2.4	Predlog izbora in nivojev geodetskih točk za realizacijo novega koordinatnega sistema (NALOGA 1.4).....	43
2.4.1	Uvod.....	43
2.4.2	Obstoječe stanje	44
2.4.2.1	Razvrstitev geodetskih točk v redove	44
2.4.2.1.1	Skupina mrež položajnih temeljnih geodetskih točk.....	45
2.4.2.1.2	Skupina mrež višinskih temeljnih geodetskih točk	45
2.4.2.1.3	Skupina mrež gravimetričnih temeljnih geodetskih točk	46
2.4.2.2	Centralna baza geodetskih točk.....	46
2.4.3	Nova razdelitev geodetskih točk	48
2.4.3.1	Načela izbora novih redov	48
2.4.3.2	Operacije nad obstoječimi redovi.....	49
2.4.3.3	Dejavniki vpliva na razdelitev točk v redove	49
2.4.3.4	Vzdrževanje geodetskih točk	50
2.4.3.5	Predlog nove razdelitve geodetskih točk v mreže in redove.....	50
2.4.3.5.1	Konceptualni model razdelitve	50

2.4.3.5.2 Način predstavitve predloga	52
2.4.3.5.3 Nadgradnja skupine mrež horizontalnih geodetskih točk – razdelitev na 2R : 3R (oziroma klasika : GNSS oziroma D48 : D96).....	53
2.4.3.5.4 Skupina mrež višinskih geodetskih točk	56
2.4.3.5.3 Mreža gravimetričnih geodetskih točk.....	58
2.4.4 Zbirka geodetskih točk	59
2.4.4.1 Logični model zbirke	59
2.4.4.2 Podatkovni model zbirke.....	60
2.4.4.3 Fizični model zbirke	60
2.4.4.4 Kakovost podatkov o geodetskih točkah.....	60
2.4.4.5 Uporabniški, poslovni modeli	60
2.4.5 Prehod na novo centralno bazo geodetskih točk	61
2.4.6 Zaključek	61
2.4.7 Literatura in viri.....	61
2.5 Metodologija za nadzor kakovosti podatkov v novem koordinatnem sistemu (NALOGA 1.5)	63
2.6 Določitev imena in oznak novega koordinatnega sistema ter kartografske projekcije (NALOGA 1.6)	64
2.7 Normativna ureditev novega koordinatnega sistema (NALOGA 1.7).....	65
3 Naloge na višinskem koordinatnem sistemu	66
3.1 Protokol prehoda na nov višinski sistem (NALOGA 2.1).....	66
3.1.1 Definicija višinskega sistema	66
3.1.2 Smernice EUREF v zvezi z višinskim sistemom	71
3.1.3 Aktivnosti nekaterih držav v zvezi z višinskim sistemom.....	76
3.1.4 Razlogi in namen uvajanja novega višinskega sistema v Sloveniji.....	80
3.1.4.1 Uvedba novega višinskega sistema na osnovi obstoječih podatkov	83
3.1.4.2 Uvedba novega višinskega sistema na osnovi nove nivelmanske in gravimetrične izmere.....	83
3.1.5 Višinski datum nivelmanske mreže Slovenije	84
3.1.5.1 Nacionalni višinski datum.....	84
3.1.5.2 Višinski datum EUVN.....	85
3.1.5.3 Povezovanje nivelmanske mreže s sosednjimi državami	87
3.1.6 Časovni plan izvedbe prehoda na nov višinski sistem	89
3.1.6.1 Faze uvajanja novega višinskega sistema.....	92
3.2 Navezava gravimetričnih točk na nivelmansko mrežo (NALOGA 2.2).....	95
3.2.1 Namen izvedbe različnih izmer	95
3.2.1.1 Gravimetrična izmera.....	99
3.2.1.2 Trigonometrično višinomerstvo	99
3.2.1.2.1 Obdelava merskih vrednosti	100
3.2.1.3 Geometrični nivelman	100
3.2.2 Natančnost določitve različnih višin točk.....	101
3.2.3 Časovni plan izmere na točkah SIGNAL-a in gravimetričnih točkah	101
3.3 Priprava projekta za povezavo omrežja SIGNAL z nivelmansko in gravimetrično mrežo (NALOGA 2.3)	105
3.3.1 Namen naloge.....	106
3.3.1.1 Obseg naloge.....	106
3.3.1.2 Predvideni rezultati naloge.....	106
3.3.2 Metodologija.....	107
3.3.2.1 Pripravljalna dela	107
3.3.2.1.1 Pregled obstoječih podatkov	107
3.3.2.1.2 Izdelava karte višinskih in gravimetričnih točk	108
3.3.2.2 Postopek prenosa nadmorskih višin	108
3.3.2.2.1 Geometrični nivelman	109
3.3.2.2.2 Trigonometrično višinomerstvo	109
3.3.2.3 Postopek prenosa vrednosti težnostnega pospeška	111
3.3.2.3.1 Gravimetrične meritve	111

3.3.3	Izdelava projektov za posamezne stalne postaje omrežja SIGNAL.....	112
3.3.3.1	Pregled stalnih postaj omrežja SIGNAL.....	112
3.3.3.1.1	Stabilizacija GNSS-anten stalnih postaj.....	114
3.3.3.2	Stalne postaje in nivelman	117
3.3.3.2.1	Izbor reperjev za navezavo stalnih postaj	119
3.3.3.2.2	Izbor optimalne poti niveliranja	120
3.3.3.2.3	Kontrolne meritve	121
3.3.3.3	Stalne postaje in gravimetrija.....	121
3.3.4	Kadrovsko-financična ocena.....	123
3.3.4.1	Splošne predpostavke za izvedbo projekta	123
3.3.4.1	Izhodišča za podrobnejši plan po posameznih stalnih postajah omrežja	124
4	Naloge na gravimetričnem koordinatnem sistemu.....	125
4.1	Dokončni izračun točk gravimetrične mreže 1. reda (NALOGA 3.1).....	125
4.2	Priprava projekta gravimetrične izmere na nivelmanu visoke natančnosti (NALOGA 3.2)	126
4.2.1	Predlog gravimetrične in GNSS-izmere na nivelmanu visoke natančnosti ..	126
4.2.1.1	Razlogi za gravimetrično in GNSS-izmero na rreperjih NVN.....	126
4.2.1.2	Analiza vpliva izmerjene vrednosti težnega pospeška na popravke merjenih višinskih razlik	126
4.2.1.3	Analiza vpliva spremembe položaja (ϕ) in višine na težni pospešek	127
4.2.1.4	Izvedba gravimetrične izmere za potrebe uvedbe novega višinskega sistema	127
4.2.2	Vzorčna izmera točk točk omrežja SIGNAL, točk gravimetrične mreže I. reda in reperjev nivelmanske mreže	127
4.2.2.1	Območje izvedbe vzorčne izmere.....	139
4.2.2.2	Analiza nivelmanske zanke.....	139
4.2.2.2.1	Dodatne možnosti za izvedbo vzorčne izmere.....	140
4.2.3	Viri	142
4.3	Zasnova novega geoida (NALOGA 3.3)	143
4.3.1	Analiza kakovosti obstoječega modela geoida	143
4.3.1.1	Analiza kakovosti geoida na osnovi EUVN-točk	143
4.3.1.2	Analiza kakovosti geoida na osnovi obstoječe baze GPS-točk	143
4.3.1.2.1	Točke določene z niveliranjem.....	144
4.3.1.2.2	Trigonometrično višinomerstvo	147
4.3.1.2.3	Analiza na osnovi vseh točk.....	149
4.3.1.2.4	Zaključek.....	151
4.3.2	Pregled obstoječih podatkov	151
4.3.2.1	Gravimetrični podatki	152
4.3.2.2	Astrogeodetski podatki.....	153
4.3.2.3	Geodetske točke z višino, določeno z GPS-izmero in z nivelmanom	154
4.3.2.4	Digitalni model višin	155
4.3.3	Predlogi za nadaljnja dela in plan izvedbe	155
4.3.4	Viri	156
5	Podporne naloge.....	157
5.1	Delovanje komisije za DGS (NALOGA 4.1)	157
5.2	Koordinacija in realizacija postopkov prehoda na nov koordinatni sistem (NALOGA 4.2)	158
5.3	Promocija novega koordinatnega sistema (NALOGA 4.3).....	159
5.4	Posodobitev vsebine spletnih strani o DGS (NALOGA 4.4).....	160
5.5	Priprava letnega poročila in udeležba na konferenci EUREF (NALOGA 4.5).....	161
5.6	Dopolnitev terminološkega slovarja – državni koordinatni sistem (NALOGA 4.6)	162
	DRŽAVNI VIŠINSKI KOORDINATNI SISTEM (V KS)	162
5.7	Opredelitev modelov transformacije in postopkov pretvorbe prostorskih podatkov GURS v nov koordinatni sistem (NALOGA 4.7)	165
5.7.1	Izbor veznih točk za kompleksno transformacijo	167

5.7.1.1 1. faza – ročni izbor mejnih veznih točk	167
5.7.1.2 2. faza – avtomatični izbor ostalih veznih točk	168
5.7.1.3 3. faza – določitev pomožnih veznih točk	169
5.7.1.4 Preverjanje reverzibilnosti transformacije	171
5.7.1.5 Obseg osnovne in pomožne triangulacije	172
5.7.2 Analiza kakovosti kompleksne transformacije	175
5.7.2.1 Ploskvi pomikov na podlagi kompleksne transformacije	182
5.7.3 Določitev transformacijskih parametrov in analiza kakovosti enostavnih ravninskih transformacij za celo državo	184
5.7.4 Primerjava trikotniške transformacije z drugimi modeli transformacij	198
Literatura in viri.....	202

Seznam prilog v 1. zvezku (ločena vezava):

- [Priloga Z1](#): Zapisnik sestanka z dne 29. 05. 2007
4 str.
- [Priloga Z2](#): Zapisnik sestanka z dne 06. 07. 2007
3 str.
- [Priloga Z3](#): Zapisnik sestanka z dne 21. 09. 2007
2 str.
- [Priloga Z4](#): Zapisnik sestanka z dne 24. 09. 2007
3 str.
- [Priloga Z5](#): Zapisnik sestanka z dne 12. 10. 2007
2 str.
- [Priloga Z6](#): Zapisnik sestanka z dne 19. 10. 2007
2 str.
- [Priloga Z7](#): Zapisnik sestanka z dne 19. 10. 2007
1 str.
- [Priloga Z8](#): Zapisnik sestanka z dne 31. 01. 2008
1 str.
- [Priloga Z9](#): Zapisnik sestanka z dne 05. 02. 2008
2 str.
- [Priloga N1.2-01](#): Analiza pokritosti države z ETRS-točkami
3 str.
- [Priloga N1.2-02](#): Seznam ETRS-točk, ki so bile izločene iz niza transformacijskih točk za povezavo med starim in novim koordinatnim sistemom
2 str.
- [Priloga N1.2-03](#): Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov ravninske podobnostne transformacije iz D48/GK v D96/TM za 24 regij
24 str.
- [Priloga N1.2-04](#): Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov ravninske podobnostne transformacije iz D96/TM v D48/GK za 24 regij
24 str.
- [Priloga N1.2-05](#): Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov prostorske podobnostne transformacije iz D96/TM v D48/GK za 7 regij
7 str.
- [Priloga N1.2-06](#): Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov prostorske podobnostne transformacije iz D96/TM v D48/GK za 3 regije
3 str.
- [Priloga N1.2-07](#): Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov prostorske podobnostne transformacije iz D96/TM v D48/GK za celo državo
1 str.
- [Priloga N1.3-01](#): Skica točk, predvidenih za ponovitev EUREF GPS-kampanje
1 str.
- [Priloga N1.3-02](#): Kratka navodila za delo na terenu – Mini EUREF GPS-kampanja 2007
4 str.
- [Priloga N1.3-03](#): Plan izmere in parametri opazovanj – Mini EUREF GPS-kampanja 2007 ter terenski zapisniki opazovanj na petih EUREF-točkah
12 str.
- [Priloga N1.3-04](#): Rezultat ločenih izračunov (GI in FGG) Mini EUREF GPS-kampanje 2007 v ITRF05, epoha 2007,258
1 str.

- [Priloga N1.3-05](#): Razlike ločenih izračunov (GI in FGG) Mini EUREF GPS-kampanje 2007 v ITRF05, epoha 2007,258
1 str.
- [Priloga N1.3-06](#): Predlog GI za uskladitev koordinat omrežja SIGNAL z datumom D96
1 str.
- [Priloga N1.3-07](#): Predlog FGG za uskladitev koordinat omrežja SIGNAL z datumom D96
3 str.
- [Priloga N1.3-08](#): Vprašanje za norveške svetovalce na projektu glede strategije za uskladitev koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL s slovenskim datumom D96
1 str.
- [Priloga N1.3-09](#): Odgovor norveških svetovalcev na projektu glede strategije za uskladitev koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL s slovenskim datumom D96
2 str.
- [Priloga N1.3-10](#): Transformacijski parametri 14-parametričnih transformacij) za prehode med različnimi sestavi (ITRF)
1 str.
- [Priloga N1.3-11](#): Rezultat izračuna Mini EUREF GPS-kampanje 2007 v ITRF96, epoha 2007,258
1 str.
- [Priloga N1.3-12](#): Vektorji hitrosti točk v ITRF96, izračunani po modelu NNR-NUVEL-1A
1 str.
- [Priloga N1.3-13](#): Rezultat izračuna Mini EUREF GPS-kampanje 2007 v ITRF96, epoha 1995,554
1 str.
- [Priloga N1.3-14](#): Končni rezultat izračuna Mini EUREF GPS-kampanje 2007 v ETRS89 (D96)
1 str.
- [Priloga N1.3-15](#): Obvestilo uporabnikom omrežja SIGNAL o izvedbi Mini EUREF GPS-kampanje 2007 in spremembi koordinat stalnih postaj (uskladitvi s slovenskim datumom D96)
5 str.
- [Priloga N1.3-16](#): Odstopanja med uradnimi koordinatami petih EUREF-točk in med koordinatami teh točk, določenimi iz Mini EUREF-kampanje
1 str.
- [Priloga N1.3-17](#): Odstopanja med starimi koordinatami stalnih postaj omrežja SIGNAL(pred uskladitvijo z D96) in med novimi koordinatami teh točk, določenimi iz Mini EUREF-kampanje
1 str.
- [Priloga N1.4-01](#): Pregled razvrstitve in lastnosti geodetskih mrež v nekaterih evropskih državah
5 str.
- [Priloga N1.5-01](#): Predstavitev za naročnika z dne 23. 01. 2008 – Ocena kakovosti geodetske izmere; prosojnice predstavitve – izročki.
7 str.
- [Priloga N1.6-01](#): Seznam imen, oznak in krajšav v zvezi z novim državnim koordinatnim sistemom.
5 str.

- **Priloga N1.6-02**: Podroben opis starega in novega državnega horizontalnega koordinatnega sistema ter stare in nove državne kartografske projekcije.
10 str.
- **Priloga N2.3-01**: Pregledna karta stalnih postaj omrežja SIGNAL, EUVN točk ter absolutnih in relativnih točk gravimetrične mreže.
1 str.
- **Priloga N2.3-02**: Pregledna karta stalnih postaj omrežja SIGNAL, EUVN točk, absolutnih in relativnih točk gravimetrične mreže ter višinskih točk (reperjev) kot del posameznih nivelmanskih poligonov.
1 str.
- **Priloga N2.3-03**: Pregledna karta prioriternih stalnih postaj ter izhodiščnih gravimetričnih točk za izvedbo gravimetričnih meritev.
1 str.
- **Priloga N2.3-04**: Podatki o stalnih postajah omrežja SIGNAL.
15 str.
- **Priloga N2.3-05**: Predlog navezave permanentnih postaj na nivelmanske poligone.
15 str.
- **Priloga N2.3-06**: Predlog navezave permanentnih postaj na gravimetrično mrežo.
15 str.
- **Priloga N4.2-01**: Nekatera vprašanja in odgovori v zvezi z novim koordinatnim sistemom.
9 str.
- **Priloga N4.2-02**: Nekatera gradiva v zvezi s sodelovanjem norveških svetovalcev na projektu.
16 str.
- **Priloga N4.3-01**: Gradiva seminarja z naslovom: Uvajanje novega državnega koordinatnega sistema v Sloveniji, ki je bil 17. 04. 2007 in 19. 06. 2007 v Ljubljani; vabilo na seminar in prosojnice predstavitev – izročki ter spremno besedilo (Mesner, Berk, Radovan)
59 str.
- **Priloga N4.3-02**: Gradiva s konference z naslovom Uvođenje novog geodetskog referentnog sistema, ki je bila 11. 05. 2007 v Beogradu, Srbija; program konference in prosojnice predstavitve – izročki ter besedilo (Berk)
28 str.

Seznam prilog v 2. zvezku (ločena vezava):

- **[Priloga N4.3-03](#)**: Gradiva z Otvoritvene konference z naslovom: Vzpostavitev evropskega koordinatnega sistema v Sloveniji, ki je bila 15. 05. 2007 v Ljubljani; plakat konference, vabilo na konferenco in prosojnice predstavitev – izročki (Bockmann, Stopar, Berk in Duhovnik)
33 str.
- **[Priloga N4.3-04](#)**: Gradiva z obveznega izobraževanja za imetnike geodetske izkaznice, ki je bilo izvedeno 09. 10. 2007 v Poljčah, 11. 10. 2007 v Mariboru, 16. 10. 2007 v Poljčah, 18. 10. 2007 v Mariboru in 23. 10. 2007 v Sežani; prosojnice predstavitev – izročki (Berk in Klanjšček, Mesner)
29 str.
- **[Priloga N4.3-05](#)**: Gradiva s simpozija ob zaključku projekta Interreg IIIA (HARMO-GEO), ki je bil 13. 11. 2007 v Novi Gorici; program simpozija, besedilo predstavitev in prosojnice predstavitev – izročki (Berk)
13 str.
- **[Priloga N4.3-06](#)**: Gradiva s strokovnega posveta z naslovom »S koordinatami v Evropi« – 37. geodetski dan, ki je bil 16. 11. 2007 v Novi Gorici; program posveta in prosojnice predstavitev – izročki (Bockmann, Stopar, Kuhar, Radovan)
29 str.
- **[Priloga N4.3-07](#)**: Gradiva z Mednarodne regionalne delavnice o satelitskih referenčnih sistemih za katastrsko izmero (podprta s subvencijo GTZ), ki je bila 17. 11. 2007 v Novi Gorici; program delavnice in prosojnice predstavitev – izročki (Stopar, Radovan, Berk)
25 str.
- **[Priloga N4.4-01](#)**: Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za celo državo z upoštevanjem višin.
6 str.
- **[Priloga N4.4-02](#)**: Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za celo državo z redukcijo višin.
4 str.
- **[Priloga N4.4-03](#)**: Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 3 pokrajine z upoštevanjem višin.
12 str.
- **[Priloga N4.4-04](#)**: Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 3 pokrajine z redukcijo višin.
8 str.
- **[Priloga N4.4-05](#)**: Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 7 regij z upoštevanjem višin.
24 str.
- **[Priloga N4.4-06](#)**: Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 7 regij z redukcijo višin.
16 str.
- **[Priloga N4.4-07b](#)** in **[Priloga N4.4-07c](#)**: Transformacijski parametri ravninske podobnostne transformacije za 24 območij.
75 str.
- **[Priloga N4.5-01](#)**: Gradivo s 17. EUREF-simpozija, ki je bil 06. do 09. 06. 2007 v Londonu; prosojnice predstavitev – izročki (Mozetič)
4 str.

- **Priloga N4.5-02**: Nacionalno poročilo za Slovenijo na 17. EUREF-simpoziju v Londonu, ki je bilo poslano za objavo v zborniku
6 str.
- **Priloga N4.7-01**: Niz 616 veznih točk za trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo iz starega v novi koordinatni sistem – različica 1.0; najprej so podane koordinate v D96/TM (levo) nato pa koordinate v D48/GK
12 str.
- **Priloga N4.7-02**: Prikaz razporeditve transformacijskih trikotnikov kompleksne transformacije – različica 1.0
1 str.
- **Priloga N4.7-03**: Ploskvi pomikov pri prehodu iz D48/GK v D96/TM – različica 1.0; prikazane so istopomičnice ali izošifte.
2 str.
- **Priloga N4.7-04**: Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov ravninskih podobnostnih transformacij na nivoju cele države med različnimi ravninskimi koordinatnimi sistemi (D48/GK, D96/TM, WGS84/UTM)
6 str.
- **Priloga N4.7-05**: Članek z naslovom Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem, objavljen v Geodetskem vestniku, 2007, letnik 51, številka 4, in predstavitev prispevka (prosojnice); 37. geodetski dan, Nova Gorica, 16. 11. 2007
24 str.

Skupaj (v 1. in 2. zvezku) 66 prilog.

Skupaj (v 1. in 2. zvezku) v prilogah 638 strani.

Seznam samostojnih prilog (ločeno vezane):

- [SiTra v2.1](#). Navodilo za uporabo programa. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, marec 2008
18 str.
- [SiTraNet v2.1](#). Navodilo za uporabo spletne aplikacije. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, marec 2008
23 str.
- [Izračun Mini EUREF GPS-kampanje 2007](#). Tehnično poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, december 2007
15 str. + 13 str. prilog
- [Izračun Mini EUREF GPS-kampanje 2007](#). Tehnično poročilo. Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, december 2007
13 str.
- [Navodilo za nadzor kakovosti podatkov v novem koordinatnem sistemu](#). Različica 2.0. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, marec 2008
14 str. + 13 str. prilog
- [Izračun gravimetrične mreže 1. reda](#). Tehnično poročilo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, in Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, marec 2008
16 str. + 311 str. prilog

Skupaj 6 samostojnih prilog – v 6-ih ločenih zvezkih.

Skupaj v samostojnih prilogah 99 strani + 337 strani prilog prilog.

IZVLEČEK

Pogodbeno delo je bilo razdeljeno na štiri sklope, posamezni sklopi pa so razdeljeni na naloge, in sicer:

1. sklop (Horizontalni koordinatni sistem):

2. sklop (Višinski koordinatni sistem):

3. sklop (Gravimetrični koordinatni sistem):

4. sklop (Podporne naloge):

Izvečki so pripravljene po posameznih nalogah za vsakega izmed štirih sklopov; glej ustrezna poglavja poročila.

1 Izhodišča, cilji in predmet projekta

1.1 Izhodišča in cilji projekta

Izhodišča projekta so podana v strateških ciljnih državne geodetske službe za leti 2007 in 2008. Cilji, ki neposredno zadevajo področje državnega geodetskega sistema (DGS), so:

- do leta 2010 vzpostaviti nov državni koordinatni sistem (horizontalno in višinsko razsežnost) in pretvoriti koordinate v vseh zbirkah podatkov skladno z usmeritvami smernice o evropski prostorski podatkovni infrastrukturi in strokovnimi priporočili mednarodnih geodetskih združenj;
- vse nove geodetske meritve izvajati v ETRS89 koordinatnem sistemu in vzpostaviti pogoje za izvajanje geodetskih meritev uporabnikov v ETRS89 koordinatnem sistemu;
- zagotavljati kakovostno matematično podlago in sodoben državni koordinatni sistem kot del evropskega koordinatnega sistema;
- vzpostaviti in zagotavljati delovanje mreže državnih permanentnih postaj GPS kot sestavni del evropske mreže in zagotoviti delovanje službe za GPS za potrebe nadzora delovanja mreže, posredovanja GPS podatkov za izvajanje geodetskih meritev, navigacije, geolociranja prostorskih podatkov in dogajanj v prostoru;
- zagotoviti pogoje za izpolnitev zahtev evropske direktive INSPIRE na področju državnega geodetskega in topografskega sistema.

Posredno se OGS dotikajo še strateški cilji GURS za leto 2007 in 2008 na področju mednarodnega sodelovanja; predvsem:

- izvajanje evropskih smernic in usmeritev ter sodelovanje v operativnih evropskih in večdržavnih projektih;
- sodelovanje pri izgrajevanju evropskih in čezmejnih podatkovnih nizov z upoštevanjem interoperabilnosti prostorskih in nepremičninskih podatkov in storitev ter vpetosti v razvoj projektov slovenske e-uprave;
- v sodelovanju z Ministrstvom za obrambo uresničevanje usmeritev zveze NATO z upoštevanjem interoperabilnosti pri pripravi topografskih in kartografskih izdelkov;
- strokovna pomoč drugim državam v sodelovanju z zasebnim sektorjem in samostojno;
- vzpodbujanje in podpora zasebnemu sektorju pri prodoru in uveljavitvi na trgih drugih držav.

Osnovni cilji državne geodetske službe za leti 2007 in 2008 na področju DGS so:

- zagotavljati delovanje GPS službe in diseminacijo podatkov za izvajanje GPS meritev;
- uvesti uporabo GPS tehnologije pri meritvah v zemljiškem katastru in katastru stavb ter pospešiti uvajanje uporabe GPS tehnologije pri vseh ostalih geodetskih meritvah in pri drugih uporabnikih;

- uvesti sistem zaračunavanja storitev Službe za GPS z dodano vrednostjo;
- zagotoviti vse pogoje za prehod iz obstoječega državnega koordinatnega sistema in kartografske projekcije v nov koordinatni sistem (ponovitev EUREF izmere, nova kartografska projekcija, programska oprema za transformacije za uporabnike);
- uvedba nove kartografske projekcije ter
- postopna pretvorba podatkovnih zbirk GURS v novi koordinatni sistem.

1.2 Predmet projekta

V skladu s cilji državne geodetske službe na področju DGS (osnovnimi kot tudi širšimi strateškimi cilji za leti 2007 in 2008) lahko konkretne naloge razdelimo na dva sklopa; prvi se nanaša na razvoj DGS, drugi sklop pa se nanaša na vzpostavitev in delovanje državnega omrežja permanentnih postaj GPS (SIGNAL). Oba sklopa kot tudi vse v nadaljevanju obravnavane glavne skupine nalog lahko smatramo za faze, ki se odvijajo vzporedno. Potrebna je tudi usklajenost njihovega izvajanja, saj se naloge medsebojno dopolnjujejo.

Naloge na področju razvoja DGS

Naloge na področju razvoja DGS, vključujejo predvsem na naloge pri prehodu na nov koordinatni sistem. Gre za štiri sklope nalog, in sicer:

- naloge, ki se nanašajo na horizontalni koordinatni sistem,
- naloge, ki se nanašajo na višinski sistem,
- naloge, ki se nanašajo na gravimetrični sistem, ter
- podporne naloge na področju DGS.

1 Naloge, ki se nanašajo na horizontalni koordinatni sistem

Naloge, ki se nanašajo na horizontalni koordinatni sistem, so:

- 1.1 vzpostavitev modela transformacij med koordinatnimi sistemi,
- 1.2 analiza skladnosti okvirnih navezovalnih mrež,
- 1.3 uskladitev položaja stalnih postaj omrežja SIGNAL z EUREF,
- 1.4 predlog izbora in nivojev geodetskih točk za realizacijo novega koordinatnega sistema,
- 1.5 metodologija za nadzor kakovosti podatkov v novem koordinatnem sistemu,
- 1.6 določitev imena in oznak novega koordinatnega sistema ter kartografske projekcije in
- 1.7 normativna ureditev novega koordinatnega sistema.

2 Naloge, ki se nanašajo na višinski sistem

Naloge, ki se nanašajo na višinski sistem, so:

- 2.1 protokol prehoda na nov višinski sistem,
- 2.2 navezava gravimetričnih točk na nivelmansko mrežo in

- 2.3 priprava projekta za povezavo omrežja SIGNAL z nivelmansko in gravimetrično mrežo.

3 Naloge, ki se nanašajo na gravimetrični sistem

Naloge, ki se nanašajo na gravimetrični sistem, so:

- 3.1 dokončni izračun točk gravimetrične mreže 1. reda,
- 3.2 priprava projekta gravimetrične izmere na nivelmanu visoke natančnosti in
- 3.3 zasnova novega geoida.

4 Podporne naloge na področju DGS

Podporne naloge na področju DGS, so:

- 4.1 delovanje komisije za DGS,
- 4.2 koordinacija in realizacija postopkov prehoda na nov koordinatni sistem,
- 4.3 promocija novega koordinatnega sistema,
- 4.4 posodobitev spletne strani DGS (vsebine),
- 4.5 priprava letnega poročila in udeležba na konferenci EUREF,
- 4.6 dopolnitev terminološkega slovarja – državni koordinatni sistem ter
- 4.7 opredelitev modelov transformacije in postopkov pretvorbe prostorskih podatkov GURS v nov koordinatni sistem.

2 Naloge na horizontalnem koordinatnem sistemu

2.1 Vzpostavitev modela transformacij med koordinatnimi sistemi (NALOGA 1.1)

Poročilo pripravil: Klemen Kozmus Trajkovski, FGG

Povzetek

Izvedena je bila nadgradnja programskih paketov SiTra in SiTraNet, in sicer na podlagi podrobnejših dodatnih zahtev, ki so bile opredeljene na skupnem sestanku z naročnikom.

Razvita je bila nova verzija programa SiTra za izvajalce geodetskih storitev, in sicer z bolj preprostim, ciljno naravnanim uporabniškim vmesnikom. Pripravljena so bila tudi podrobna navodila programa.

Navodila za uporabo programov SiTra in SiTraNet so v samostojnih (ločeno vezanih) prilogah:

- [SiTra v2.1](#). Navodilo za uporabo programa. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, marec 2008, 18 str.
- [SiTraNet v2.1](#). Navodilo za uporabo spletne aplikacije. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, marec 2008, 23 str.

Vgrajen je bil varnostni mehanizem, ki preprečuje nepooblaščen uporabo programa (registracijska številka in aktivacijska koda). Izdelan je bil tudi namestitveni program (celotna namestitvev v eni .exe-datoteki). Namestitvena datoteka je dostopna preko spletnih strani. Program je bil testiran (FGG, GI in tudi naročnik); na podlagi testiranja so bile podane nekatere dodatne pripombe in predlogi, ki so bili upoštevani v končni različici.

2.1.1 Opis izdelane programske opreme

V letu 2007 sta bila nadgrajena programska paketa SiTra in SiTraNet. Trenutni verziji programov na dan 29. 02. 2008 sta 2.01.

SiTra 2.01 je bila razvita za potrebe geodetskih podjetij ob prehodu na nov državni koordinatni sistem za transformacijo koordinat med koordinatnimi sistemi ETR89, D96/TM in D48/GK.

SiTraNet 2.01 je spletna aplikacija, razvita iz programa SiTra 2.01. Algoritmi, postopki in metode so identični v obeh programskih paketih.

Program SiTra 2.01 je zaščiten z aktivacijsko kodo. Aktivacijsko kodo brezplačno prejmejo geodetska podjetja z dovoljenjem za opravljanje geodetskih storitev. Aktivacijska koda se izda na podlagi registracijske številke, ki se izpiše ob prvem zagonu programa. Ko je aktivacijska koda vnesena, je licenca aktivirana in uporabnik prosto uporablja program. Licenco lahko pridobi vsak geodet z geodetsko izkaznico. Namestitvena datoteka programa SiTra 2.01 in navodila za registracijo so objavljeni na spletni strani <http://sitra.sitranet.si/>.

Spletna aplikacija SiTraNet 2.01 je prosto dostopna preko svetovnega spleta (interneta). Do aplikacije lahko dostopamo preko poljubnega spletnega brskalnika. Aplikacija je dostopna na naslovu <http://sitranet.si>.

Program SiTra 2.01 omogoča izvedbo naslednjih postopkov:

- Izračun transformacijskih parametrov na osnovi koordinat veznih točk
- Izračun transformiranih koordinat na osnovi transformacijskih parametrov
- Shranjevanje lastnih lokalnih transformacijskih parametrov v bazo
- Pretvorba koordinat na referenčnih elipsoidih
- Interpolacija absolutnega modela geoida in preračun višin

Spletna aplikacija SiTraNet 2.01 omogoča izvedbo naslednjih postopkov:

- Izračun transformacijskih parametrov na osnovi koordinat veznih točk
- Izračun transformiranih koordinat na osnovi danih državnih ali regionalnih transformacijskih parametrov (ETRS89 → D48/GK in D48/GK → D96/TM)
- Interpolacija absolutnega modela geoida (znotraj transformacije)

2.1.2 Izvedena dela pri nadgradnji programa

2.1.2.1 SiTra

V okviru nadgradnje programa SiTra so bila izvedena naslednja dela:

- odprava hroščev stare verzije
- prenovitev uporabniškega vmesnika
- prilagoditev zahtevam in potrebam
- izdelava modula za pretvorbo koordinat
- optimizacija programa
- izdelava navodil za uporabo
- vgradnja zaščitnega mehanizma
- izdelava namestitvenega programa
- testiranje programa

Program je razvit z namenom čim lažje uporabe za povprečnega uporabnika. Vhodni podatki (koordinate) so lahko podani zgolj v koordinatnih sistemih, ki jih uporabljamo v Republiki Sloveniji. Elipsoidne koordinate so podane v ETRS89, ravninske koordinate so v novi verziji programa poimenovane v skladu s pravilniki Geodetske uprave RS (D96/TM in D48/GK).

Program že v osnovnem oknu omogoča izvedbo pretvorbe iz ETRS89 v D96/TM, čeprav tu ne gre za transformacijo, ker gre za isti referenčni elipsoid. Pretvorba se lahko izvede tudi v ločenem modulu za pretvorbo koordinat. Ta poleg elipsoidnih in ravninskih koordinat podpira tudi pravokotne (kartezične).

Navodila za uporabo program so napisana v HTML obliki. V navodilih so navedeni tudi praktični primeri za lažje razumevanje uporabe programa. Ob namestitvi programa se v posebno mapo namestijo t.i. »demo« datoteke.

Program se s spleta prenese v namestitveni obliki (ang. setup). Ob zagonu namestitvene datoteke uporabnik izbere mapo, kamor želi namestiti program, področje v meniju Start, in če želi ikono na namizju. Navodila za uporabo programa so dostopna preko menija Start ali neposredno v mapi, kjer je program nameščen.

Program je zaščiten pred neupravičeno uporabo. Vgrajen je zaščitni mehanizem, ki temelji na registracijski številki, na podlagi katere je izdana aktivacijska koda. Registracijo je treba izvesti ob vsaki novi namestitvi programa. Aktivacijsko kodo uporabniku izdajo avtorji programa. Avtorji programa vodijo evidenco registriranih uporabnikov.

2.1.2.2 SiTraNet

V okviru nadgradnje spletne aplikacije SiTraNet so bila izvedena naslednja dela:

- odprava hroščev in optimizacija programa
- prenova spletne strani, registracija domene
- izdelava modula za transformacijo iz D48 v D96
- izdelava navodil za uporabo
- testiranje programa

Nadgradnja SiTraNet sledi zahtevam in potrebam, ki so bila realizirana pri nadgradnji programa SiTra. V osnovi ponuja podobne zmožnosti kot SiTra, ima pa določene omejitve. Baze parametrov za posameznika ni možno tvoriti. Aplikacija ne vsebuje modulov za pretvorbo koordinat in interpolacijo modela geoida. Osnovne transformacije na osnovi veznih točk (izračun transformacijskih parametrov in transformacija koordinat) potekajo identično kot pri programu SiTra.

SiTraNet ima v novi verziji dodan modul za transformacijo koordinat iz D48/GK v D96/TM na osnovi danih državnih ali regionalnih parametrov.

Transformacije koordinat na osnovi danih parametrov so za geodete uporabne samo informativno, saj je že sam pogrešek transformacije okoli 0,5 m za regionalne parametre in 1 m za državne parametre!

Navodila za uporabo so napisana v HTML in PDF obliki. Navodila HTML lahko uporabnik odpre v poljubnem brskalniku, za branje PDF datotek pa mora biti na računalniku uporabnika nameščen ustrezen program, npr. Adobe Reader, ki je brezplačno dostopen na strani

<http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>.

2.1.3 SiTra – opis delovanja programa

Program SiTra izvaja naslednje izračune:

1. Transformacija med koordinatnimi sistemi ETRS89, D96/TM in D48/GK
2. Pretvorba pravokotnih, elipsoidnih in ravninskih koordinat na referenčnih elipsoidih
3. Interpolacija absolutnega modela geoida

2.1.3.1 Transformacije med koordinatnimi sistemi

Naloga transformacije koordinatnih sistemov je združitev dveh koordinatnih sistemov. V geodeziji nastopajo transformacije koordinatnih sistemov, ko imamo dva koordinatna sistema, vzpostavljenega na osnovi različnih tipov opazovanj. Takšna koordinatna sistema sta med seboj zamaknjena, zasukana in različnih enot merila.

Obstaja več vrst-modelov transformacij, ki imajo različne lastnosti. Namen transformacije, oziroma želene lastnosti rezultatov, določa izbiro ustrezne transformacije. Poznavanje lastnosti modelov transformacij omogoča optimalno izbiro modela transformacije. Pri transformaciji koordinatnih sistemov moramo zagotoviti, da ne spremenimo medsebojnih odnosov točk bolj kot je to potrebno oziroma dovoljeno.

V postopkih prostorskih (3R) transformacij koordinatnih sistemov se najbolj pogosto uporablja podobnostna transformacija. Podobnostna transformacija ohranja obliko (koti se ne spremenijo), toda dolžine stranic in položaji točk v mreži se lahko spremenijo, merilo je enako v vseh smereh.

Program SiTra v izračunu 3R transformacije uporablja podobnostno transformacijo.

Tipi transformacij, ki jih podpira program:

- trirazsežna 7-parametrična podobnostna,
- dvorazsežna 4-parametrična podobnostna,
- dvorazsežna 6-parametrična afina.

Transformacija temelji na osnovi koordinat točk v obeh datumih. Za izračun 7-parametrične prostorske transformacije so potrebne vsaj 3 vezne točke, ki imajo določen položaj v obeh datumih. Za ravninsko transformacijo sta potrebni vsaj 2 vezni točki v primeru 4-parametrične in vsaj 3 točke v primeru 6-parametrične transformacije.

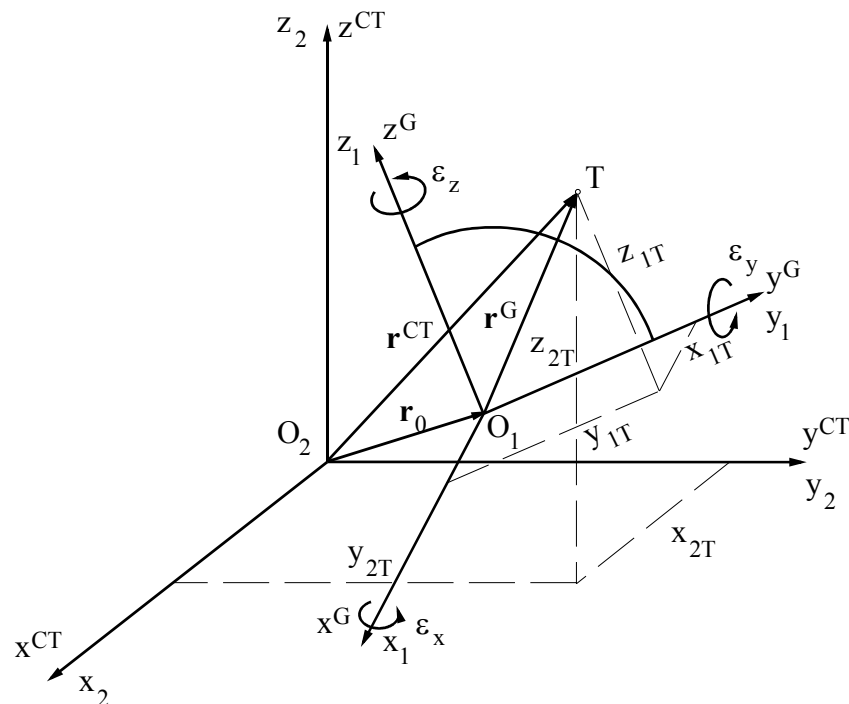
Program omogoča:

- Izračun transformacijskih parametrov na osnovi koordinat veznih točk
- Izračun transformiranih koordinat na osnovi danih transformacijskih parametrov
- Shranjevanje izračunanih transformacijskih parametrov v bazo

Izračun transformacijskih parametrov in transformiranih koordinat temelji na pravokotnih (kartezičnih) koordinatah. V primeru 3R transformacije in podanih elipsoidnih koordinat ali koordinat v projekciji je potrebno te koordinate pretvoriti v pravokotne. Postopki pretvorb so razloženi v poglavju 2.

1 Prostorska transformacija

Najpogostejša transformacija koordinatnih sistemov v geodeziji je transformacija koordinatnega sistema, vzpostavljenega na osnovi klasičnih geodetskih opazovanj (G–sistem), v koordinatni sistem, vzpostavljen na osnovi satelitskih opazovanj (CT–sistem), ali obratno. Takšna koordinatna sistema sta med seboj zamaknjena, zasukana, in ker sta vzpostavljena na osnovi različnih tipov opazovanj, se razlikujeta tudi v merilu. Prvi koordinatni sistem je glede na drugega zasukan okrog osi z_1 za kot ε_z , okrog osi y_1 za kot ε_y in okrog osi x_1 za kot ε_x . Izhodišče prvega koordinatnega sistema $x_1y_1z_1$ je glede na izhodišče drugega $x_2y_2z_2$ premaknjeno za vektor $\mathbf{r}_0 = [\Delta x \ \Delta y \ \Delta z]^T$, razmerje merila v prvem in drugem koordinatnem sistemu je $(1 + \varepsilon_s)$.



Če transformiramo koordinate točke T, dane v prvem koordinatnem sistemu, v drugi koordinatni sistem, moramo najprej prenesti izhodišče O_1 v izhodišče O_2 , nato zasukati prvi koordinatni sistem $x_1y_1z_1$ okrog osi z_1 za kot ε_z , okrog osi y_1 za kot ε_y in okrog osi x_1 za kot ε_x ter na koncu pomnožiti tako transformirane koordinate še z razmerjem meril prvega in drugega sistema. Prenos izhodišča O_1 v izhodišče O_2 izvedemo s translacijo za vektor \mathbf{r}_0 . Rotacije okrog posameznih koordinatnih osi izvedemo z zaporednim medsebojnim množenjem rotacijskih matrik.

Izraz za celotno transformacijo prvega koordinatnega sistema $x_1y_1z_1$ v drugi koordinatni sistem $x_2y_2z_2$ je dan z:

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + (1 + \varepsilon_s) \mathbf{R}_z \mathbf{R}_y \mathbf{R}_x \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matrike \mathbf{R} v izrazu (1) predstavljajo rotacijske matrike, ki podajajo kot zasuka ε koordinatne ravnine okrog koordinatne osi. Rotacijske matrike običajno označimo:

$$\mathbf{R}_z(\varepsilon_z) = \mathbf{R}_3(\varepsilon_z) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_z & \sin \varepsilon_z & 0 \\ -\sin \varepsilon_z & \cos \varepsilon_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{R}_x(\varepsilon_x) = \mathbf{R}_1(\varepsilon_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon_x & \sin \varepsilon_x \\ 0 & -\sin \varepsilon_x & \cos \varepsilon_x \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{R}_y(\varepsilon_y) = \mathbf{R}_2(\varepsilon_y) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y & 0 & -\sin \varepsilon_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varepsilon_y & 0 & \cos \varepsilon_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

Koti zasuka $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ so pozitivni, če je zasuk izveden v smeri nasprotni vrtenja kazalcev na uri v desnosučnem koordinatnem sistemu.

S produktom rotacijskih matrik $\mathbf{R}_z \mathbf{R}_y \mathbf{R}_x$ dobimo t.i. skupno rotacijsko matriko \mathbf{R} , ki jo glede na uporabljeni vrstni red rotacij v tem primeru, imenujemo kardanska rotacijska matrika:

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_z \mathbf{R}_y \mathbf{R}_x = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y \cos \varepsilon_z & \cos \varepsilon_x \sin \varepsilon_z + \sin \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \cos \varepsilon_z & \sin \varepsilon_x \sin \varepsilon_z - \cos \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \cos \varepsilon_z \\ -\cos \varepsilon_y \sin \varepsilon_z & \cos \varepsilon_x \cos \varepsilon_z - \sin \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \sin \varepsilon_z & \sin \varepsilon_x \cos \varepsilon_z + \cos \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \sin \varepsilon_z \\ \sin \varepsilon_y & -\sin \varepsilon_x \cos \varepsilon_y & \cos \varepsilon_x \cos \varepsilon_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

Podobnostna transformacija Burša-Wolf

Transformacijski model transformacije prvega (G) v drugi (CT) koordinatni sistem, ki je dan z izrazom (1), imenujemo tudi model Burša-Wolf. V zgoščeni obliki je Burša-Wolf transformacijski model 7-parametrične podobnostne transformacije, ki se uporablja v programu SiTra, dan z izrazom:

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + (1 + \varepsilon_s) \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

oziroma z izrazom:

$$\mathbf{x}_2 = \mathbf{r}_0 + (1 + \varepsilon_s) \mathbf{R} \mathbf{x}_1 \quad (7)$$

Izravnava transformacije

Za izravnavo transformacije uporabljamo splošni model izravnave. V splošnem modelu izravnave nastopajo opazovanja in neznanke. Opazovanja predstavljajo koordinate veznih točk, ki so dane v obeh koordinatnih sistemih, s pripadajočo informacijo o natančnosti posamezne koordinate, neznanke so transformacijski parametri.

Funkcionalni model podobnostne transformacije med koordinatnima sistemoma G (sistem 1) in CT (sistem 2), oziroma vektorjema koordinat \mathbf{x}_1 in \mathbf{x}_2 danih v teh koordinatnih sistemih 1 in 2, je dan z izrazom:

$$\mathbf{x}_2 = \mathbf{r}_0 + (1 + \varepsilon_s) \mathbf{R} \mathbf{x}_1 \quad (8)$$

kjer je \mathbf{R} ortogonalna rotacijska matrika, $(1 + \varepsilon_s)$ je faktor merila koordinatnega sistema 1 glede na koordinatni sistem 2, in \mathbf{r}_0 vektor premika izhodišča koordinatnega sistema 1 glede na koordinatni sistem 2. Enačbo (8) lahko zapišemo za vsako točko dano v obeh koordinatnih sistemih tudi v obliki:

$$\mathbf{F} = (1 + \varepsilon_s) \mathbf{R} \mathbf{x}_1 + \mathbf{r}_0 - \mathbf{x}_2 \quad (9)$$

Rotacijska matrika \mathbf{R} je sestavljena iz produkta rotacijskih matrik, ki predstavljajo zasuke okrog koordinatnih osi 1. koordinatnega sistema.

Splošna enačba splošnega modela izravnave je dana z:

$$\mathbf{A} \mathbf{v} + \mathbf{B} \mathbf{\Delta} = \mathbf{f} = \mathbf{d} - \mathbf{A} \mathbf{l} \quad (10)$$

kjer je \mathbf{v} -vektor popravkov koordinat točk v obeh koordinatnih sistemih $\mathbf{\Delta}$ -vektor popravkov približnih vrednosti transformacijskih parametrov, \mathbf{f} -vektor odstopanj, \mathbf{A} -matrika parcialnih odvodov funkcij, ki predstavljajo matematičen model transformacije po opazovanjih $\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{l}} = \mathbf{A}$ in \mathbf{B} -matrika parcialnih odvodov izraza (8) po neznankah

$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{\Delta}} = \mathbf{B}$, \mathbf{d} -vektor desnih strani v enačbi (9) in \mathbf{l} -vektor opazovanj (vektor koordinat točk v obeh koordinatnih sistemih).

Informacijo o natančnosti koordinat točk vsebuje kovariančna matrika koordinat točke, ki je v primeru transformacije sestavljena iz kovariančnih matrik koordinat

točke v koordinatnem sistemu, v katerega transformiramo (sistem 2), in kovariančne matrike koordinat točke, iz katerega transformiramo (sistem 1):

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Natančnost transformacijskih parametrov je dana s kovariančno matriko $\Sigma_{\Delta\Delta}$:

$$\Sigma_{\Delta\Delta} = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{N}^{-1} \quad (12)$$

kjer je \mathbf{N} matrika koeficientov normalnih enačb splošnega modela izravnave.

Transformacija koordinat iz začetnega v končni koordinatni sistem

Na osnovi ocenjenih vrednosti transformacijskih parametrov lahko preračunamo v končni (2.) koordinatni sistem tudi koordinate točk, ki so dane samo v začetnem (1.) koordinatnem sistemu. Če sedaj rotacijsko matriko (5) formalno zapišemo kot:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \quad (13)$$

lahko transformirane koordinate v končnem (2.) koordinatnem sistemu izračunamo iz koordinat danih v začetnem (1.) koordinatnem sistemu z izrazom:

$$\begin{aligned} x_2 &= (r_1 x_1 + r_2 y_1 + r_3 z_1)(1 + \varepsilon_s) + x_0 \\ y_2 &= (r_4 x_1 + r_5 y_1 + r_6 z_1)(1 + \varepsilon_s) + y_0 \\ z_2 &= (r_7 x_1 + r_8 y_1 + r_9 z_1)(1 + \varepsilon_s) + z_0 \end{aligned} \quad (14)$$

Natančnost transformiranih koordinat

Natančnost transformiranih koordinat je odvisna od natančnosti določitve transformacijskih parametrov in od natančnosti koordinat točk v začetnem in končnem koordinatnem sistemu. Ker v praksi večinoma ni mogoče dobro oceniti natančnosti koordinat točk v enem od koordinatnih sistemov, formalno ocenjena natančnost (s prenosom varianc in kovarianc) nima praktično uporabne vrednosti.

2 Ravninska transformacija

Transformacijo ravninskih (2R) pravokotnih koordinat, npr. iz koordinatnega sistema D48/GK v koordinatni sistem D96/TM in obratno, izvajamo z ravninsko transformacijo. Program SiTra izvaja 2R transformacijo na osnovi štirih ali šestih parametrov.

Transformirane koordinat v 2R transformaciji izračunamo po enačbah (15) in (16).

4-parametrična podobnostna transformacija:

$$\begin{aligned}x_2 &= ax_1 - by_1 + c \\ y_2 &= bx_1 + ay_1 + d\end{aligned}\quad (15)$$

6-parametrična afina transformacija:

$$\begin{aligned}x_2 &= ax_1 + by_1 + c \\ y_2 &= dx_1 + ey_1 + f\end{aligned}\quad (16)$$

V enačbah (15) in (16) so a , b , c , d , e in f transformacijski parametri, x_1 in y_1 koordinati točke v začetnem datumu, x_2 in y_2 pa transformirani koordinati točke.

3 Odkrivanje grobih pogreškov in vrednotenje kakovosti transformacije

V postopek ocene kakovosti izravnave transformacije so v programu vključeni postopki odkrivanja grobih pogreškov: t. i. globalni test modela z metodo »data-snooping« in t. i. »tau-test«.

Globalni test modela uporabimo takrat, kadar je znana referenčna varianca a-priori σ_0^2 oz. so standardne deviacije vhodnih podatkov zanesljivo znane. Globalni test modela predstavlja test referenčne variance a-posteriori $\hat{\sigma}_0^2$ glede na referenčno varianco a-priori σ_0^2 . Osnova postopka »data-snooping« je izračun standardiziranih popravkov $\frac{v_i}{\sigma_{v_i}}$ in primerjava teh vrednosti s kritično vrednostjo standardne normalne porazdelitve, ki je odvisna od stopnje značilnosti testa. Za $\alpha_0 = 0,001$ je kritična vrednost 3,29. Lociranje grobih pogreškov poteka z upoštevanjem števila nadštevilnosti iz matrike nadštevilnosti R.

Metoda »tau-test« se uporabi takrat, ko referenčne variance σ_0^2 ne poznamo ali so natančnosti podatkov nezanesljive, kar je praviloma primer v praksi. V takih primerih uporabimo referenčno varianco a-posteriori $\hat{\sigma}_0^2$. Standardizirane popravke primerjamo s kritično vrednostjo $\tau_{\alpha/2}$, ki je odvisna od števila nadštevilnih opazovanj v matematičnem modelu $r = n - n_0$. Kot grobo pogrešeno opazovanje program označi

tisto, za katero je razmerje med standardiziranim popravkom $\frac{v_i}{\hat{\sigma}_{v_i}}$ ter kritično vrednostjo tau-porazdelitve $\tau_{\alpha_0/2}(r)$ večje od 1.

Vrednotenje kakovosti izravnave transformacije sloni na:

odstopanjih na veznih točkah za posamezne koordinate, srednjih odstopanjih in skrajnih vrednostih odstopanj, srednjemu standardnemu odklonu, izračunanemu na strog način v skladu z izrazom

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{r},$$

srednjemu standardnemu odklonu, izračunanemu na osnovi odstopanj danih in transformiranih koordinat veznih točk, ocenjevanju morebiti prisotnih grobih pogreškov v koordinatah veznih točk, ki temelji na postopku »data snooping« oz. na postopku »tau-test«. V primeru postopka »data-snooping« vrednotimo standardizirane popravke $\frac{v_i}{\hat{\sigma}_{v_i}}$, v primeru postopka »tau-test«

vrednotimo standardizirane popravke $\frac{v_i}{\hat{\sigma}_{v_i}}$, ki jih ocenjujemo z vrednostjo razmerij

$$\frac{\frac{v_i}{\hat{\sigma}_{v_i}}}{\tau_{\alpha_0/2}(r)}, \text{ ki naj bi bilo manjše od 1.}$$

2.1.3.2 Pretvorbe koordinat na referenčnem elipsoidu

Rotacijski elipsoid predstavlja osnovno ploskev za matematično določanja položaja točk na Zemlji. Položaj točke na rotacijskem elipsoidu lahko določimo z elipsoidnimi ali pravokotnimi (kartezičnimi) koordinatami.

Elipsoidne koordinate točke:

φ (elipsoidna širina): kot med ravnino ekvatorja in normalo v točki,

λ (elipsoidna dolžina): kot med začetnim (ničelnim) meridianom, ki je praviloma Greenwich, in krajevnim meridianom,

h (elipsoidna višina): geometrijska razdalja točke od elipsoida, merjena po normalni.

Pravokotne koordinate točke:

X : oddaljenost točke od YZ koordinatne ravnine

Y : oddaljenost točke od XZ koordinatne ravnine

Z : oddaljenost točke od XY koordinatne ravnine

3R položaj točke lahko določimo tudi v ravnini projekcije s tretjo, višinsko komponento.

Koordinate točke v koordinatnem sistemu D48/GK:

y : oddaljenost točke od srednjega meridiana cone (v projekciji; sred. meridian ima vrednost 500.000)

x : oddaljenost točke od ekvatorja (v projekciji), zmanjšana za 5.000.000

H : normalna ortometrična (nadmorska višina)

Koordinate točke v koordinatnem sistemu D96/TM:

N (northing): oddaljenost točke od ekvatorja (v projekciji), zmanjšana za 5.000.000

E (easting): oddaljenost točke od srednjega meridiana cone (v projekciji; sred. meridian ima vrednost 500.000)

H : normalna ortometrična (nadmorska višina)

1 Pretvorba iz elipsoidnih v pravokotne koordinate

Enačbe za pretvorbo koordinat (φ, λ, h) v (X, Y, Z) :

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= \left(\frac{b^2}{a^2} N + h\right) \sin \varphi \end{aligned} \quad (17)$$

kjer sta a in b velika in mala polos elipsoida, N pa predstavlja polmer ukrivljenosti prvega vertikala in se izračuna po enačbi (18).

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (18)$$

2 Pretvorba iz pravokotnih v elipsoidne koordinate

Koordinate točk (X, Y, Z) pretvorimo v (φ, λ, h) po naslednjem postopku. Najprej izračunamo elipsoidno dolžino λ :

$$\lambda = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X} \quad (19)$$

Elipsoidno širino φ izračunamo preko količine Θ :

$$\Theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{Z \cdot a}{p \cdot b} \right) \quad (20)$$

kjer je p oddaljenost točke od Z-osi:

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (21)$$

Koordinato φ nato izračunamo po enačbi:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{Z + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3(\Theta)}{p - e^2 \cdot a \cdot \cos^3(\Theta)}\right) \quad (22)$$

kjer sta e in e' prva in druga ekscentriciteta rotacijskega elipsoida:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad \text{in} \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (23)$$

Sledi še izračun elipsoidne višine:

$$h = \frac{P}{\cos \varphi} - N \quad (24)$$

3 Pretvorba elipsoidnih koordinat v ravninske koordinate

Pretvorba elipsoidnih koordinat v ravninske koordinate poteka po postopku izbrane kartografske projekcije. Koordinatni sistem D96/TM temelji na prečni (transverzalni) Mercatorjevi projekciji, koordinatni sistem D48/GK pa temelji na Gauss-Kruegerjevi projekciji. Enačbe za obe projekciji so identične. Rezultati pretvorbe so različni zgolj zaradi različnih referenčnih elipsoidov.

Postopek izračuna Gauss-Kruegerjevih ravninskih koordinat:

Dolžina meridianskega loka L :

$$L = a(1 - e^2) \left[A\varphi - \frac{B}{2} \sin(2\varphi) + \frac{C}{4} \sin(4\varphi) - \frac{D}{6} \sin(6\varphi) + \dots \right] \quad (25)$$

kjer je e prva ekscentriciteta in se izračuna po enačbi (23), koeficienti A, B, C, D, \dots pa so neskončne vrste in se izračunajo po naslednjih enačbah:

$$\begin{aligned} A &= 1 + \frac{3}{4} \cdot e^2 + \frac{45}{64} \cdot e^4 + \frac{175}{256} \cdot e^6 + \frac{11025}{16384} \cdot e^8 + \dots \\ B &= \frac{3}{4} \cdot e^2 + \frac{15}{16} \cdot e^4 + \frac{525}{512} \cdot e^6 + \frac{2205}{2048} \cdot e^8 + \dots \\ C &= \frac{15}{64} \cdot e^4 + \frac{105}{256} \cdot e^6 + \frac{2205}{4096} \cdot e^8 + \dots \\ D &= \frac{35}{512} \cdot e^6 + \frac{315}{2048} \cdot e^8 + \dots \end{aligned} \quad (26)$$

Oddaljenost točke od srednjega meridiana:

$$l = \lambda - \lambda_0 = \lambda - 15^0 \quad (27)$$

Izračun pomožnih količin:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (28)$$

$$t = \tan \varphi \quad (29)$$

$$\eta = e' \cos \varphi \quad (30)$$

Izračun nemoduliranih koordinat:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= L + \frac{l^2}{2} N \sin \varphi \cos \varphi + \frac{l^4}{24} N \sin \varphi \cos^3 \varphi (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{l^6}{720} N \sin \varphi \cos^5 \varphi (61 - 58t^2 + t^4) \\ \bar{y} &= l \cdot N \cos \varphi + \frac{l^3}{6} N \cos^3 \varphi (1 + \eta^2 - t^2) + \frac{l^5}{120} N \cos^5 \varphi (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) \end{aligned} \quad (31)$$

Izračun moduliranih in modificiranih koordinat

$$\begin{aligned} x &= 0.9999 \cdot \bar{x} - 5.000.000 \\ y &= 0.9999 \cdot \bar{y} + 500.000 \end{aligned} \quad (32)$$

Postopek za izračun koordinat v D96/TM je identičen zgornjemu, le ravninske koordinate so drugače poimenovane: N namesto x in E namesto y .

4 Pretvorba ravninskih koordinat v elipsoidne koordinate

Izračun elipsoidnih koordinat φ in λ iz ravninskih koordinat x in y poteka po sledečem postopku:

Demodulacija in demodifikacija koordinat:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{x + 5.000.000}{0.9999} \\ \bar{y} &= \frac{y - 500.000}{0.9999} \end{aligned} \quad (33)$$

Izračun približka elipsoidne širine φ v iteracijskem postopku s pomočjo izraza (25):

Najprej izračunamo $\varphi_1^{(1)} = \frac{2\bar{x}}{a+b}$, $\varphi_1^{(1)}$ vstavimo v izraz (25) in dobimo $L_1(\varphi_1)^{(1)}$.

Izračunamo še $d_1 = \bar{x} - L_1(\varphi_1)^{(1)}$.

Drugi približek za φ : $\varphi_1^{(2)} = \varphi_1^{(1)} + \frac{2d_1}{a+b} \rightarrow L_2(\varphi_1)^{(2)} \rightarrow d_2 = \bar{x} - L_2(\varphi_1)^{(2)}$

Izračunamo naslednji približek in postopek ponavljamo, dokler d_i ne doseže mejne vrednosti.

Pomožne količine

$$N_1 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_1}} \quad (34)$$

$$t_1 = \tan \varphi_1 \quad (35)$$

$$\eta_1 = e' \cos \varphi_1 \quad (36)$$

Izračun elipsoidne širine φ in elipsoidne dolžine λ :

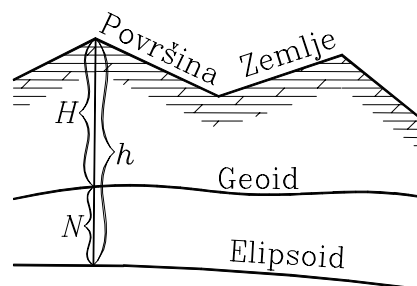
$$\varphi = \varphi_1 - \frac{t_1}{2N_1^2} (1 + \eta_1^2) \cdot \bar{y}^2 + \frac{t_1}{24N_1^4} (5 + 3t_1^2 + 6\eta_1^2 - 6\eta_1^2 t_1^2) \cdot \bar{y}^4 - \frac{t_1}{720N_1^6} (61 + 90t_1^2 + 45t_1^4) \cdot \bar{y}^6 + \dots$$

$$l = \frac{1}{N_1 \cos \varphi_1} \cdot \bar{y} - \frac{1 + 2t_1^2 + \eta_1^2}{6N_1^3 \cos \varphi_1} \cdot \bar{y}^3 + \frac{5 + 28t_1^2 + 24t_1^4}{120N_1^5 \cos \varphi_1} \cdot \bar{y}^5 \quad (37)$$

$$\lambda = \lambda_0 + l = 15^\circ + l \quad (38)$$

2.1.3.3 Interpolacija absolutnega modela geoida

Višine točk v državnem koordinatnem sistemu so podane z normalno ortometrično višino H . Z ortometrično višino je določena višina točke nad višinsko referenčno ploskvijo – geoidom. S terestričnimi merskimi postopki pridobivamo torej višine točk, ki so določene v težnostnem polju Zemlje. S postopki GNSS izmere pa določamo položaje točk, ki so določeni popolnoma geometrijsko. Za kombiniranje obeh merskih postopkov in za vključitev rezultatov GNSS izmere v državni koordinatni sistem je potrebno poznati obliko-geometrijo težnostnega polja obravnavanega področja.

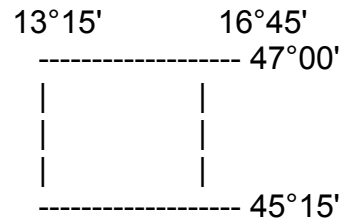


Za obravnavo obeh tipov izmere za potrebe nižje geodezije ni potrebno poznati vseh komponent težnostnega polja, zadostuje že poznavanje geometrije oblike ploskve geoida. Oblika ploskve geoida je dana z odstopanji točk te ploskve od referenčnega elipsoida.

Ploskev geoida je podana z vrednostmi geoidnih višin N točk v gridu/mreži. S primerno metodo interpolacije lahko izračunamo vrednost geoidne višine N za vsako točko na območju Slovenije. Zveza med elipsoidno, ortometrično in geoidno višino je podana z naslednjo enačbo:

$$h = H + N \quad (39)$$

Absolutni model geoida Republike Slovenije tvori pravokotno mrežo $1.5' \times 1'$ in pokriva območje, prikazano na spodnji skici:



Program SiTra vsebuje absolutni model geoida. Geoidna višina poljubne točke je določena z bilinearno metodo interpolacije. Izbrana metoda interpolacije daje na nivoju natančnosti modela identične rezultate kot bolj računsko zahtevne metode, kot je bikubična ali zleпки.

2.2 Analiza skladnosti okvirnih navezovalnih mrež (NALOGA 1.2)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Izvedena je bila analiza skladnosti okvirnih navezovalnih mrež, in sicer na osnovi zadnjega stanja ETRS-točk v centralni bazi geodetskih točk. Analiza je bila izvedena na empirično določenih 24-ih relativno homogenih območjih transformacije med starim in novim koordinatnim sistemom. Izvedena je bila tudi analiza pokritosti države z ETRS-točkami, ki je v [Prilogi N1.2-01](#).

Rezultat analize je opredelitev potreb oziroma predlog za nadaljnje zgoščevanje ETRS-točk. Prav tako je bil pripravljen seznam ETRS-točk z grobimi odstopanji, ki bo služil za odpravo morebitnih napak v centralni bazi geodetskih točk. Seznam »slabih« ETRS-točk je v [Prilogi N1.2-02](#).

Za dobljenih 24 relativno homogenih območij transformacije so bili določeni optimalni regionalni transformacijski parametri za 4-parametrično ravninsko podobnostno transformacijo.

Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov 4-parametrične transformacije iz D48/GK v D96/TM po posameznih območjih (24 regij) so v [Prilogi N1.2-03](#), poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov obratne 4-parametrične transformacije, torej iz D96/TM v D48/GK, pa so v [Prilogi N1.2-04](#).

Transformacijski parametri so bili pripravljeni tudi za objavo na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije; spletne vsebine so v [Prilogah N4.4-01–N4.4-06](#), v [Prilogi N4.4-07b](#) in v [Prilogi 4.4-07c](#).

Izračunani so bili tudi transformacijski parametrov 7-parametrične prostorske podobnostne transformacije za 7 regij, 3 pokrajine in celotno državno ozemlje, in sicer brez upoštevanja višin veznih točk. Takšne transformacije dajo boljše rezultate za transformacijo samo horizontalnega položaja (odstopanja na veznih točkah so bistveno manjša, saj slabe višine točk kvarijo kakovost transformacije), niso pa seveda ti parametri primerni za transformacije višin – v tem primeru je treba višine točk obravnavati posebej (npr. uporaba absolutnega modela geoida).

Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov 7-parametrične transformacije iz D96/TM v D48/GK za 7 regij so v [Prilogi N1.2-05](#). Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov 7-parametrične transformacije iz D96/TM v D48/GK za 3 pokrajine so v [Prilogi N1.2-06](#). Poročilo o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov 7-parametrične transformacije iz D96/TM v D48/GK za celotno državno ozemlje pa je v [Prilogi N1.2-07](#).

2.2.1 Analiza kakovosti ETRS-točk v centralni bazi geodetskih točk

Poročilo pripravil: Sandi Berk, GI

S strani naročnika smo dne 02. 03. 2007 prejeli zadnje stanje v centralni bazi geodetskih točk, in sicer samo točke, ki so izmerjene tako v starem koordinatnem sistemu (D48/GK), kot tudi v novem koordinatnem sistemu – koordinate v novem sistemu so podane v elipsoidnih koordinatah (D96/GRS80). Skupaj je bilo v seznamu 2005 ETRS-točk.

Elipsoidne koordinate točk v D96/GRS80 so bile najprej pretvorjene v ravninske koordinate (D96/TM); uporabljeni so bili rotacijski elipsoid GRS80 ter parametri nove državne kartografske projekcije (ki je sicer identična stari projekciji, uporabljen je le drug elipsoid):

Rotacijski elipsoid GRS80

- velika polos: 6378137,00000 m
- mala polos: 6356752,31414 m

Transverzalna Mercatorjeva projekcija (TM)

- izhodiščni vzporednik: 0° (Greenwich)
- srednji poldnevnik projekcije: 15°
- pomik proti severu: -5000000 m
- pomik proti vzhodu: 500000 m
- modul projekcije: 0,9999

2.2.1.1 Preverjanje ETRS-točk – odkrivanje grobih napak in določitev optimalnih transformacijskih parametrov po relativno homogenih območjih transformacije (z razdelitvijo na 24 regij)

Za odkrivanje grobih napak so bila upoštevana naslednja izhodišča:

- obravnava po manjših relativno homogenih območjih transformacije,
- določitev optimalne 4-parametrične ravninske podobnostne transformacije na podlagi celotnega niza točk (optimalni vklop po metodi najmanjših kvadratov), ki se nahaja znotraj izbranega območja, ter
- izločanje točk z grobimi odkloni (med danimi in transformiranimi koordinatami).

Na podlagi dosedanjih izkušenj [Razvoj OGS, 2006] so bili določeni kriteriji za določitev homogenih območij in za izločanje grobih napak.

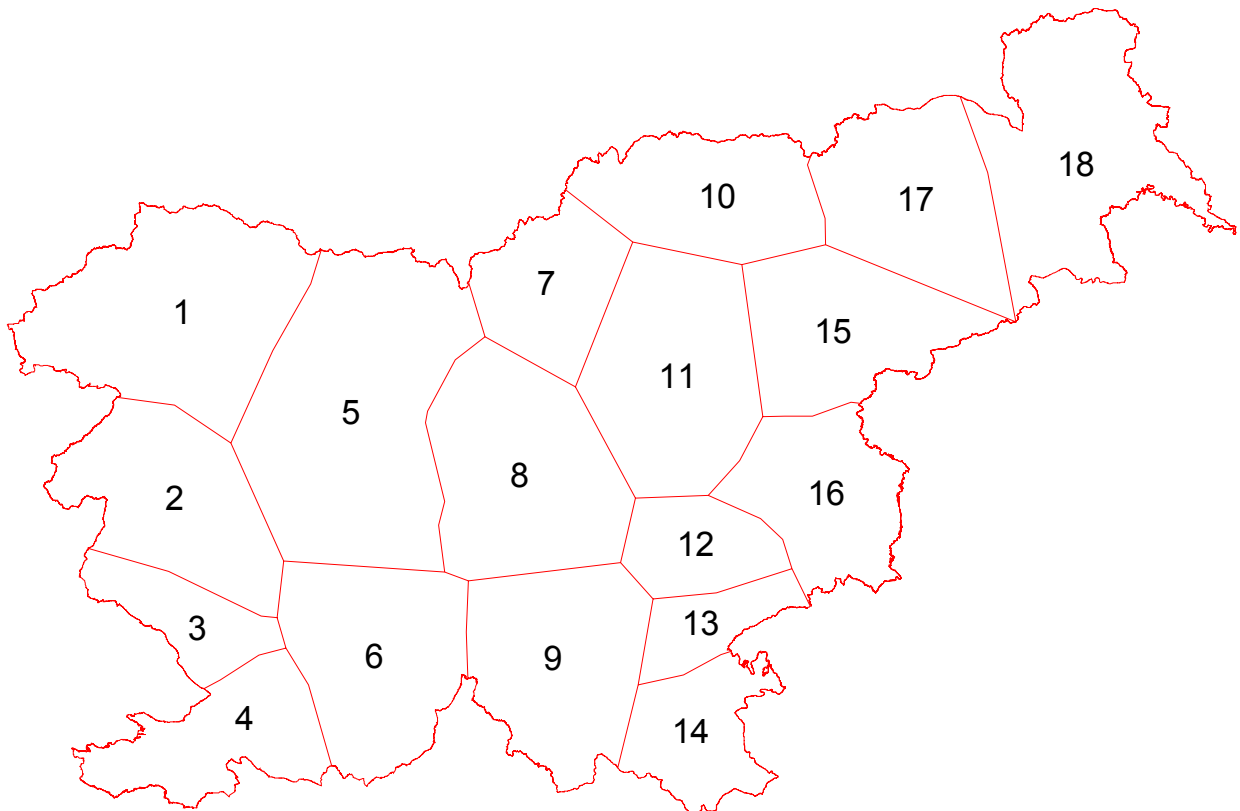
Uporabljeni so bili naslednji kriteriji za določitev območij:

- število točk znotraj homogenega območja: **vsaj 10 točk**
- površina homogenega območja: **največ 1500 km²**
- gostota točk znotraj homogenega območja: **vsaj 1 točka / 50 km²**

Uporabljeni so bili naslednji kriteriji za izločanje grobih napak:

- **srednji standardni odklon koordinat** pri optimalni transformaciji: **manjši od 10 cm**
- **odstopanje koordinate** najslabše točke po transformaciji: **manjše od 20 cm**

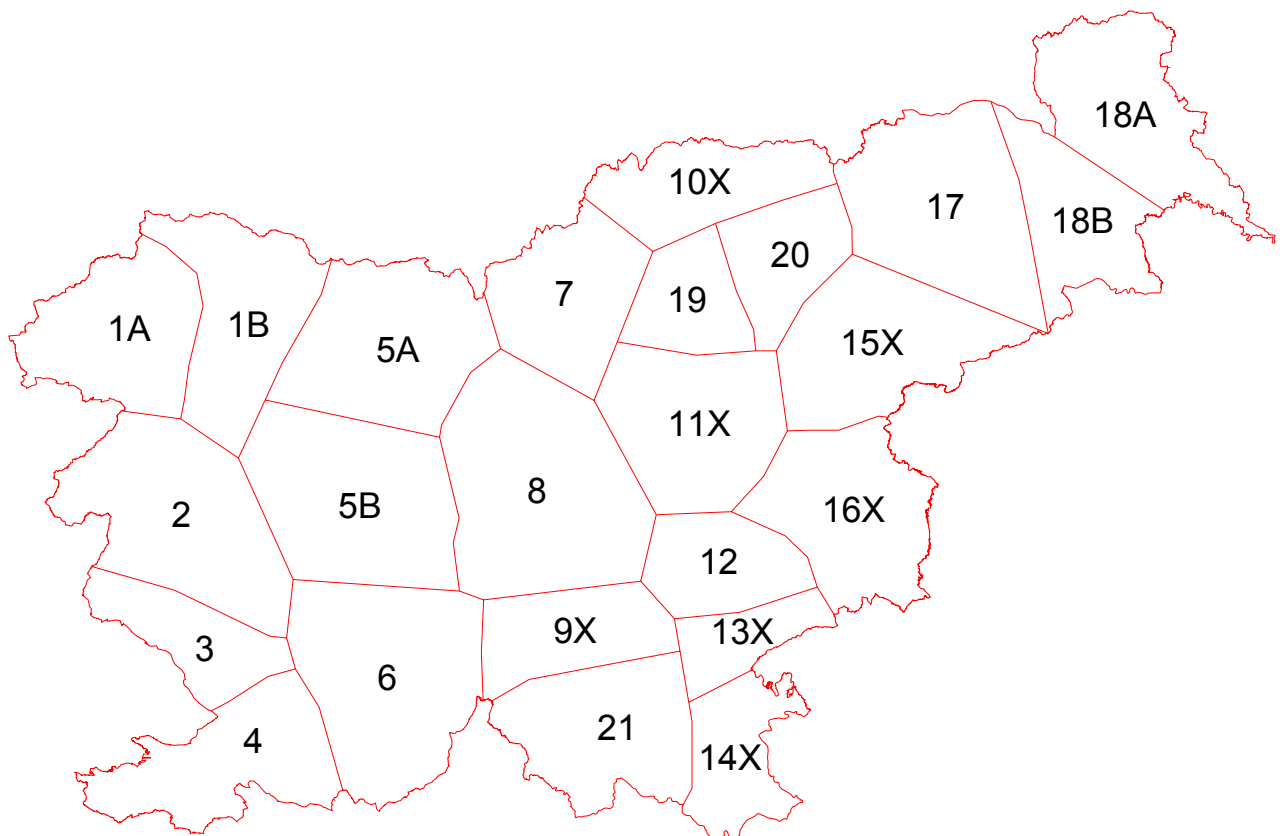
Za potrebe preverjanja kakovosti ETRS-točk in odkrivanja morebitnih grobih napak v centralni bazi geodetskih točk so bile točke obravnavane po relativno homogenih območjih. Osnova je bila razdelitev na 18 območij, kot so bila ta že določena [Razvoj OGS, 2006, str. 61]; glej sliko 2.2.1.1-1.



Slika 2.2.1.1-1: Osnova za delitev na območja relativno homogenih transformacij med starim in novim koordinatnim sistemom (delitev na 18 območij).

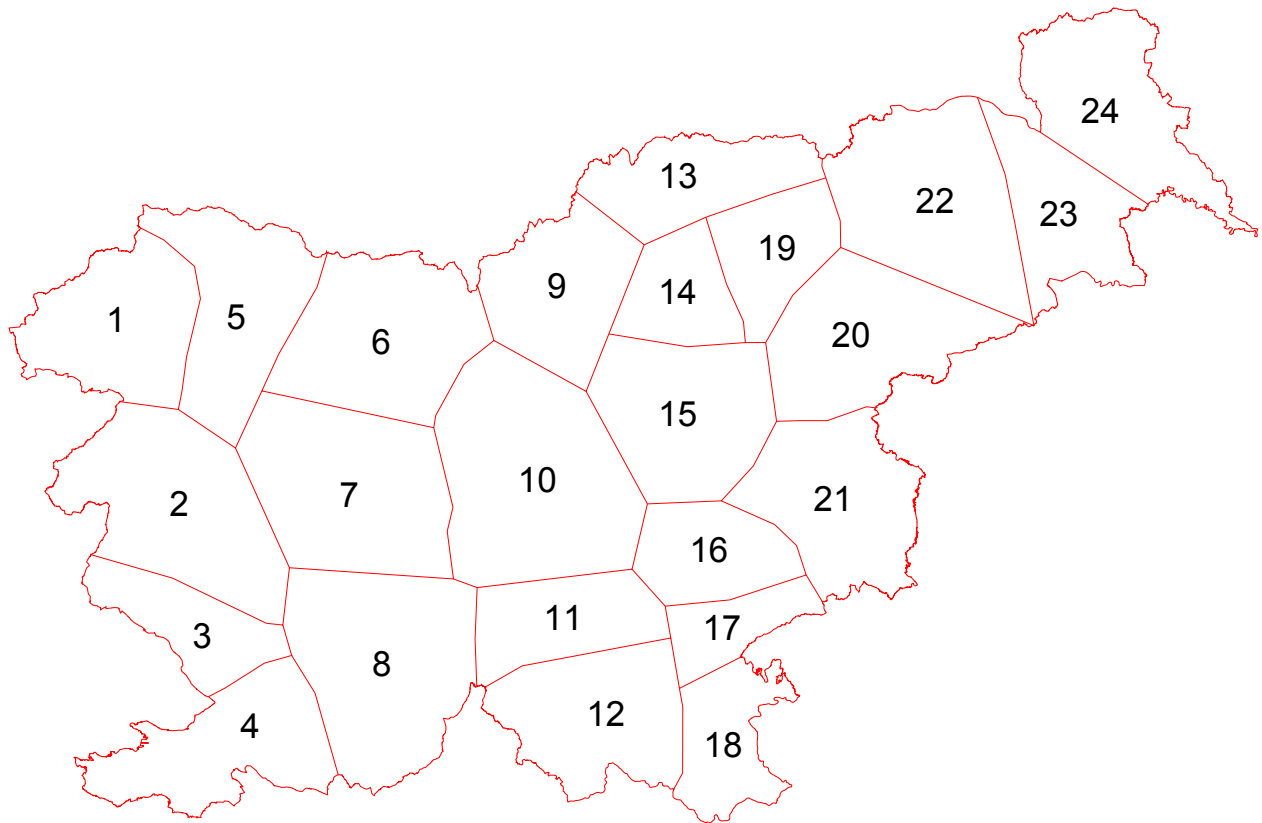
Zaradi strožjih kriterijev transformacije znotraj posameznega območja je bila delitev na območja relativno homogenih transformacij še nekoliko spremenjena. Število območij se je z 18 povečalo na 24; identična so ostala območja 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12 in 17; iz prejšnjega območja 1 sta nastali območji 1A (zahodni del) in 1B (vzhodni del), iz prejšnjega območja 5 sta nastali območji 5A (severni del) in 5B (južni del); iz prejšnjih območij 9, 13 in 14 so nastala območja 9X (severni del prejšnjega območja

9), 13X (pretežni del prejšnjega območja 13 razen skrajnega zahodnega roba), 14X (pretežni del prejšnjega območja 14 razen skrajnega zahodnega roba) in 21 (južni del prejšnjega območja 9); iz prejšnjih območij 10, 11 in 15 so nastala območja 10X (pretežni del prejšnjega območja 10 razen skrajnega južnega roba), 11X (južni del prejšnjega območja 11), 15X (pretežni del prejšnjega območja 15 razen skrajnega zahodnega roba), 19 (severozahodni del prejšnjega območja 11 in manjši jugozahodni del prejšnjega območja 10) in 20 (severovzhodni del prejšnjega območja 11, jugovzhodni del prejšnjega območja 10 in severozahodni del prejšnjega območja 15); iz prejšnjega območja 16 je nastalo nekoliko spremenjeno območje 16X (vsebuje še manjši delček prejšnjega območja 13); iz prejšnjega območja 18 sta nastali območji 18A (severovzhodni del) in 18B (jugozahodni del). Dodatke A in B so torej dobila podobmočja enega samega prejšnjega območja, dodatek X pa podobmočja večih prejšnjih območij, vendar s pretežnim deležem dotičnega območja; ostala dodana območja so dobila nove številke; glej sliko 2.2.1.1-2.



Slika 2.2.1.1-2: Popravljen razdelitev na območja relativno homogenih transformacij med starim in novim koordinatnim sistemom (delitev na 24 območij).

Območja so bila naknadno preštevilčena s številkami od 1 do 24, kot je razvidno iz slike 2.2.1.1-3.



Slika 2.2.1.1-3: Popravljen oštevilčba razdelitev na območja relativno homogenih transformacij med starim in novim koordinatnim sistemom (delitev na 24 območij).

Znotraj vsakega območja so bili v iterativnem postopku določeni optimalni transformacijski parametri za 4-parametrično ravninsko podobnostno transformacijo iz novega v stari ravninski koordinatni sistem.

Sledi pregled izločanja točk z grobimi odkloni po posameznih območjih.

Območje št. 1A (1)

Število veznih točk:	26
Površina območja:	859,0 km ²
Površina na 1 točko:	33,0 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 484 (21-1-179-S0), ki je po transformaciji odstopala za 1,306 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1845 (KOBA), ki je po transformaciji odstopala za 0,722 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 878 (21-3-39-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,480 m.

V 4. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 877 (4-2-377-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,401 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 5. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 496 (21-1-202-S2), ki je po transformaciji odstopala za 0,334 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 6. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 884 (21-3-59-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,201 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,198 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,070 m**.

Območje št. 1B (5)

Število veznih točk:	68
Površina območja:	897,7 km ²
Površina na 1 točko:	13,2 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 873 (3-3-34-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,556 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 497 (21-1-170-S0); gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 876 (4-3-134-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,208 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,165 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,072 m**.

Območje št. 2 (2)

Število veznih točk:	30
Površina območja:	1204,8 km ²
Površina na 1 točko:	40,2 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1846 (TOLM), ki je po transformaciji odstopala za 0,520 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 490 (KOVK), ki je po transformaciji odstopala za 0,402 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 486 (SEGO), ki je po transformaciji odstopala za 0,385 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 4. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 641 (14-2-318-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,349 m.

V 5. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 640 (14-3-26-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,323 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 6. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 639 (14-3-42-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,136 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,132 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,067 m**.

Območje št. 3 (3)

Število veznih točk:	225
Površina območja:	505,4 km ²
Površina na 1 točko:	2,2 km ²

V 1. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1650 (18-3-10-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,212 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,159 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,046 m**.

Območje št. 4 (4)

Število veznih točk:	67
Površina območja:	853,1 km ²
Površina na 1 točko:	12,7 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 915 (SOCE), ki je po transformaciji odstopala za 4,386 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 485 (SMKP), ki je po transformaciji odstopala za 1,093 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1648 (18-2-319-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,174 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,125 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,048 m**.

Območje št. 5A (6)

Število veznih točk:	54
Površina območja:	1071,1 km ²
Površina na 1 točko:	19,8 km ²

V 1. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 523 (8-1-515-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,173 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,172 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,048 m**.

Območje št. 5B (7)

Število veznih točk:	39
Površina območja:	1209,2 km ²
Površina na 1 točko:	31,0 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 492 (PARA), ki je po transformaciji odstopala za 0,619 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 493 (LJUB), ki je po transformaciji odstopala za 0,510 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 483 (8-1-169-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,142 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,134 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,045 m**.

Območje št. 6 (8)

Število veznih točk: 98
 Površina območja: 1274,9 km²
 Površina na 1 točko: 13,0 km²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 191 (16-4-81-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 817,706 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 488 (POST), ki je po transformaciji odstopala za 0,430 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1889 (49-2-352-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,430 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 4. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1874 (16-2-335-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,194 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,138 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,039 m**.

Območje št. 7 (9)

Število veznih točk: 25
 Površina območja: 764,5 km²
 Površina na 1 točko: 30,6 km²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1977 (20-4-108-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 46,870 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 495 (19-1-223-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,697 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 491 (LUCÉ), ki je po transformaciji odstopala za 0,306 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 4. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1186 (20-3-1-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,249 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,198 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,095 m**.

Območje št. 8 (10)

Število veznih točk: 225
 Površina območja: 1484,9 km²
 Površina na 1 točko: 6,6 km²

V 1. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1863 (10-2-337-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,189 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,186 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,033 m**.

Območje št. 9X (11)

Število veznih točk: 51
 Površina območja: 592,7 km²
 Površina na 1 točko: 11,6 km²

V 1. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 804 (15-2-382-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,192 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,191 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,046 m**.

Območje št. 10X (13)

Število veznih točk: 95
 Površina območja: 651,5 km²
 Površina na 1 točko: 6,9 km²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 392 (12-2-93-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,258 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 516 (19-2-91-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,237 m.

V 3. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 411 (12-4-622-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,191 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,167 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,062 m**.

Območje št. 11X (15)

Število veznih točk: 54
 Površina območja: 961,0 km²
 Površina na 1 točko: 17,8 km²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1782 (1-3-1-S2), ki je po transformaciji odstopala za 349,589 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1944 (22-4-210-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 76,508 m.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1934 (9-4-129-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 2,326 m.

V 4. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1951 (22-3-37-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,493 m.

V 5. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 145 (1-3-4-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,231 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,194 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,065 m**.

Območje št. 12 (16)

Število veznih točk:	139
Površina območja:	533,4 km ²
Površina na 1 točko:	3,8 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1671 (15-5-90918-S0), ki je po transformaciji odstopala za 2256,517 m.

V 2. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1859 (15-3-81-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,144 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,139 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,033 m**.

Območje št. 13X (17)

Število veznih točk:	48
Površina območja:	329,9 km ²
Površina na 1 točko:	6,9 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1248 (15-2-396-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,591 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1891 (9-2-750-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,504 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 980 (15-3-37-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,202 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,156 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,064 m**.

Območje št. 14X (18)

Število veznih točk:	180
Površina območja:	500,8 km ²
Površina na 1 točko:	2,8 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 146 (DOLE), ki je po transformaciji odstopala za 1963,638 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1888 (2-2-485-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,800 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1885 (2-2-398-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,595 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 4. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1818 (2-5-90213-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,151 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,113 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,046 m**.

Območje št. 15X (20)

Število veznih točk:	90
Površina območja:	1002,9 km ²
Površina na 1 točko:	11,1 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1895 (12-2-426-S0), ki je po transformaciji odstopala za 41407,933 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1039 (17-4-259-Z2), ki je po transformaciji odstopala za 1961,812 m.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1902 (12-2-426-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 767,491 m.

V 4. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1883 (1-2-100-C0), ki je po transformaciji odstopala za 6,311 m.

V 5. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 2001 (12-2-418-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 1,882 m.

V 6. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 62 (1-4-501-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,249 m.

V 7. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1337 (12-3-324-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,236 m.

V 8. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 131 (1-2-746-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,233 m.

V 9. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 44 (1-3-189-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,222 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,179 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,060 m**.

Območje št. 16X (21)

Število veznih točk:	141
Površina območja:	939,5 km ²
Površina na 1 točko:	6,7 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 977 (9-2-737-Z3), ki je po transformaciji odstopala za 252,250 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 809 (43-1-514-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 69,812 m.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1887 (9-2-735-S1), ki je po transformaciji odstopala za 0,701 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 4. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1892 (9-2-756-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,308 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 5. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 979 (15-3-483-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,297 m.

V 6. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 978 (15-4-278-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,273 m.

V 7. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1886 (9-3-12-S1); gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 8. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 51 (1-6-120-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,208 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,170 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,048 m**.

Območje št. 17 (22)

Število veznih točk: 118
 Površina območja: 1180,7 km²
 Površina na 1 točko: 10,0 km²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1162 (12-3-9-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,262 m.

V 2. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1157 (12-2-88-Z2), ki je po transformaciji odstopala za 0,258 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,194 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,051 m**.

Območje št. 18A (24)

Število veznih točk: 39
 Površina območja: 933,6 km²
 Površina na 1 točko: 23,9 km²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 662 (13-5-90170-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,309 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 658 (13-3-89-Z2), ki je po transformaciji odstopala za 0,237 m.

V 3. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1148 (13-4-11-Z2), ki je po transformaciji odstopala za 0,198 m.

Odstopanje slabše (x-) koordinate na tej točki je znašalo **0,192 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,074 m**.

Območje št. 18B (23)

Število veznih točk: 86
 Površina območja: 676,9 km²
 Površina na 1 točko: 7,9 km²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 688 (11-3-24-Z2), ki je po transformaciji odstopala za 2,859 m.

V 2. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 869 (11-3-1-Z3), ki je po transformaciji odstopala za 0,160 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,146 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,050 m**.

Območje št. 19 (14)

Število veznih točk:	89
Površina območja:	446,8 km ²
Površina na 1 točko:	5,0 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1192 (20-4-93-S0), ki je po transformaciji odstopala za 87,099 m.

V 2. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1187 (1-4-514-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,315 m.

V 3. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 489 (PONI), ki je po transformaciji odstopala za 0,298 m; gre za točko s približnimi GK-koordinatami.

V 4. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 40 (1-8-565-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,267 m.

V 5. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1197 (19-4-293-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,186 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,172 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,048 m**.

Območje št. 20 (19)

Število veznih točk:	11
Površina območja:	511,4 km ²
Površina na 1 točko:	46,5 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 1194 (19-4-246-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,245 m.

V 2. (zadnji) iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 2002 (12-2-96-S0), ki je po transformaciji odstopala za 0,160 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,156 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,082 m**.

Območje št. 21 (12)

Število veznih točk:	7
Površina območja:	887,2 km ²
Površina na 1 točko:	126,7 km ²

V 1. iteraciji je bila izločena točka z zaporedno št. 975 (15-3-70-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 12098,126 m.

Nato so bile izločene še točke 487 (RIBN), 1890 (6-3-184-S0) in 1893 (2-2-390-S0); gre za točke s približnimi GK-koordinatami.

V zadnji iteraciji je bila najslabša točka z zaporedno št. 1906 (6-2-391-Z0), ki je po transformaciji odstopala za 0,103 m.

Odstopanje slabše (y-) koordinate na tej točki je znašalo **0,096 m**.

Srednji standardni odklon koordinat veznih točk v zadnji iteraciji je znašal **0,093 m**.

Opomba

Območje št. 21 ne zadosti kriterijem glede najmanjšega zahtevanega števila točk znotraj območja (vsaj 10 točk) niti glede najmanjše zahtevane gostote točk znotraj območja (vsaj 1 točka na 50 km²). Za ustrezno analizo kakovosti razpoložljivih veznih točk na tem območju bi bila nujna zgostitev ETRS-točk s 15–20 ustreznimi razporejenimi dodatnimi točkami.

Povzetek

Skupaj je bilo po opisanem postopku in glede na izbrane kriterije izločenih 62 točk (od skupaj 2005), kar je 3,09 % vseh razpoložljivih točk. Od tega je 29 točk, ki imajo samo približne GK-koordinate. Preostalih 33 točk je treba ponovno preveriti. V centralno bazo geodetskih točk so morda napačno vnešene koordinate v državnem ravninskem koordinatnem sistemu (D48/GK) ali pa v novem državnem elipsoidnem koordinatnem sistemu (GRS80/FL). Lahko je razlog za neujemanje tudi napačna identifikacija točke (npr. neujemanje referenčne točke pri klasični in GPS-izmeri) – v tem primeru je treba spremeniti oznako ene izmed točk (ekscenter), saj je identična oznaka dveh različnih točk v zbirki lahko zelo zavajajoča.

Pri točkah z manjšimi odstopanji (pod 30 cm?) morda tudi ne gre za grobe napake zgoraj opisanih tipov, ampak za večje deformacije obstoječega koordinatnega sistema. V tem primeru bi bilo dobro take točke posebej označiti (slabe točke oziroma kritična mesta).

Seznam 62-ih izločenih točk razvrščenih po naraščajoči zaporedni številki točke je v [Priloži N1.2-02](#).

Datoteke veznih točk po posameznih območjih (v zadnji iteraciji, torej po izločitvi vseh slabih točk) so eden izmed rezultatov naloge 1.2 in se nahajajo na oddajni zgoščenki (mapa Rezultati/Naloga1.2). Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov transformacije iz D48/GK v D96/TM po posameznih območjih (24) so v [Priloži N1.2-03](#), poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov transformacije iz D96/TM v D48/GK pa so v [Priloži N1.2-04](#).

Grafična datoteka z razdelitvijo na 24 transformacijskih območij (dxf) je eden izmed rezultatov naloge 1.2 in se nahaja na oddajni zgoščenki (mapa Rezultati/Naloga1.2).

2.2.2 Določitev transformacijskih parametrov za 7 regij, 3 pokrajine in enotno državno transformacijo koordinat točk iz ETRS89 v D48 (brez upoštevanja višin)

Poročilo pripravil: Klemen Kozmus Trajkovski, FGG

Izračun transformacijskih parametrov je bil izveden s programom SiTra 2.01. Model transformacije je Helmertova podobnostna 7-parametrična transformacija.

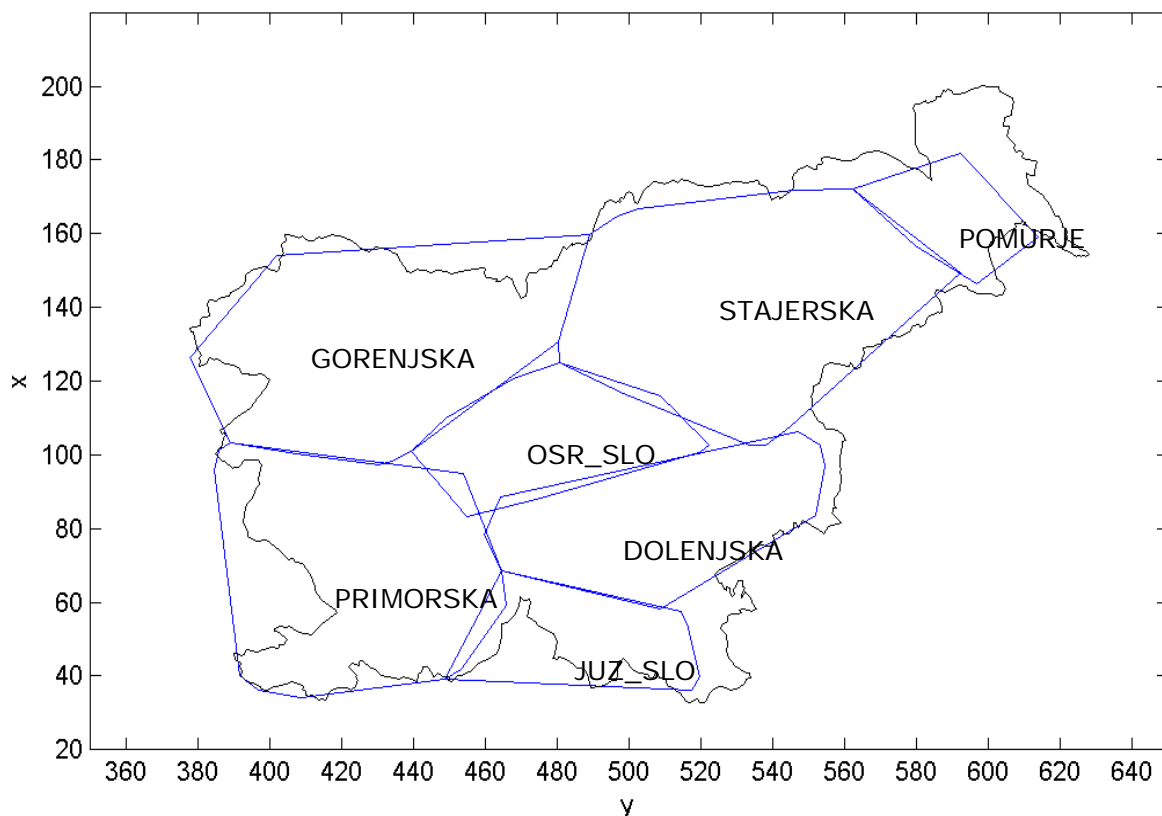
Transformacijski parametri so izračunani na osnovi koordinat ETRS89 in D48 veznih točk okvirno navezovalnih mrež Geodetske uprave RS.

V izračunu transformacijskih parametrov niso upoštevane višine veznih točk ($h(\text{ETRS89}) = 0$, $H(\text{D48/D96}) = 0$).

Obratna transformacija (iz D48 v D96) brez upoštevanja višin ni smiselna, saj bi bili tovrstni transformacijski parametri brez praktične veljave.

2.2.2.1 Razdelitev državnega območja na 7 regij – nivo natančnosti transformacije približno 30 cm

2.2.2.1.1 Skica območij



2.2.2.1.2 Rezultati izračuna

<p>JUŽNA SLOVENIJA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.037 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-8.6</td> <td>-11.0</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>3.6</td> <td>13.7</td> <td>32.7</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>0.0</td> <td>-0.0</td> <td>10.8</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>2.8</td> <td>6.2</td> <td>10.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 1577.26 km²</p> <p>Število veznih točk: 11</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-8.6	-11.0	0.8	max	3.6	13.7	32.7	-----				sr.v.	0.0	-0.0	10.8	sr.v. (abs)	2.8	6.2	10.8	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-502.100720 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-131.515925 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-433.703819 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>06.054862 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.498236 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 10.429331 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-5.188197 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-502.100720 m	deltaY	-131.515925 m	deltaZ	-433.703819 m	alfa	06.054862 "	beta	02.498236 "	gama	- 10.429331 "	merilo	-5.188197 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-8.6	-11.0	0.8																																				
max	3.6	13.7	32.7																																				

sr.v.	0.0	-0.0	10.8																																				
sr.v. (abs)	2.8	6.2	10.8																																				
deltaX	-502.100720 m																																						
deltaY	-131.515925 m																																						
deltaZ	-433.703819 m																																						
alfa	06.054862 "																																						
beta	02.498236 "																																						
gama	- 10.429331 "																																						
merilo	-5.188197 ppm																																						
<p>DOLENJSKA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.063 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-30.8</td> <td>-29.6</td> <td>-44.7</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>25.2</td> <td>27.4</td> <td>32.7</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>-0.0</td> <td>-0.0</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>7.6</td> <td>9.3</td> <td>9.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 2765.52 km²</p> <p>Število veznih točk: 97</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-30.8	-29.6	-44.7	max	25.2	27.4	32.7	-----				sr.v.	-0.0	-0.0	1.2	sr.v. (abs)	7.6	9.3	9.3	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-481.870853 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-129.173120 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-420.608110 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>05.096868 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.423927 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 11.524756 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-8.872387 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-481.870853 m	deltaY	-129.173120 m	deltaZ	-420.608110 m	alfa	05.096868 "	beta	02.423927 "	gama	- 11.524756 "	merilo	-8.872387 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-30.8	-29.6	-44.7																																				
max	25.2	27.4	32.7																																				

sr.v.	-0.0	-0.0	1.2																																				
sr.v. (abs)	7.6	9.3	9.3																																				
deltaX	-481.870853 m																																						
deltaY	-129.173120 m																																						
deltaZ	-420.608110 m																																						
alfa	05.096868 "																																						
beta	02.423927 "																																						
gama	- 11.524756 "																																						
merilo	-8.872387 ppm																																						
<p>ŠTAJERSKA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.071 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-32.2</td> <td>-33.4</td> <td>-17.6</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>27.2</td> <td>36.8</td> <td>63.9</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>-0.0</td> <td>-0.0</td> <td>9.1</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>10.2</td> <td>8.5</td> <td>11.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 5126.97 km²</p> <p>Število veznih točk: 124</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-32.2	-33.4	-17.6	max	27.2	36.8	63.9	-----				sr.v.	-0.0	-0.0	9.1	sr.v. (abs)	10.2	8.5	11.9	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-477.730056 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-130.718457 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-424.460325 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>03.790572 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.246488 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 12.992070 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-8.828735 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-477.730056 m	deltaY	-130.718457 m	deltaZ	-424.460325 m	alfa	03.790572 "	beta	02.246488 "	gama	- 12.992070 "	merilo	-8.828735 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-32.2	-33.4	-17.6																																				
max	27.2	36.8	63.9																																				

sr.v.	-0.0	-0.0	9.1																																				
sr.v. (abs)	10.2	8.5	11.9																																				
deltaX	-477.730056 m																																						
deltaY	-130.718457 m																																						
deltaZ	-424.460325 m																																						
alfa	03.790572 "																																						
beta	02.246488 "																																						
gama	- 12.992070 "																																						
merilo	-8.828735 ppm																																						

<p>POMURJE</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.049 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-15.7</td> <td>-19.8</td> <td>-10.4</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>21.0</td> <td>14.3</td> <td>21.2</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>-0.0</td> <td>0.0</td> <td>5.6</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>5.8</td> <td>7.3</td> <td>6.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 929.01 km²</p> <p>Število veznih točk: 30</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-15.7	-19.8	-10.4	max	21.0	14.3	21.2	-----				sr.v.	-0.0	0.0	5.6	sr.v. (abs)	5.8	7.3	6.8	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-523.882106 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-151.289415 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-480.591989 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>03.706371 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.315828 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 13.400341 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>2.972511 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-523.882106 m	deltaY	-151.289415 m	deltaZ	-480.591989 m	alfa	03.706371 "	beta	02.315828 "	gama	- 13.400341 "	merilo	2.972511 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-15.7	-19.8	-10.4																																				
max	21.0	14.3	21.2																																				

sr.v.	-0.0	0.0	5.6																																				
sr.v. (abs)	5.8	7.3	6.8																																				
deltaX	-523.882106 m																																						
deltaY	-151.289415 m																																						
deltaZ	-480.591989 m																																						
alfa	03.706371 "																																						
beta	02.315828 "																																						
gama	- 13.400341 "																																						
merilo	2.972511 ppm																																						
<p>GORENJSKA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.055 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-18.4</td> <td>-16.5</td> <td>-27.9</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>24.9</td> <td>23.9</td> <td>47.4</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>-0.0</td> <td>-0.0</td> <td>8.0</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>7.9</td> <td>7.0</td> <td>11.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 4728.11 km²</p> <p>Število veznih točk: 73</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-18.4	-16.5	-27.9	max	24.9	23.9	47.4	-----				sr.v.	-0.0	-0.0	8.0	sr.v. (abs)	7.9	7.0	11.0	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-438.774927 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-109.402675 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-377.696035 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>04.933923 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.503267 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 11.269930 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-18.814763 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-438.774927 m	deltaY	-109.402675 m	deltaZ	-377.696035 m	alfa	04.933923 "	beta	02.503267 "	gama	- 11.269930 "	merilo	-18.814763 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-18.4	-16.5	-27.9																																				
max	24.9	23.9	47.4																																				

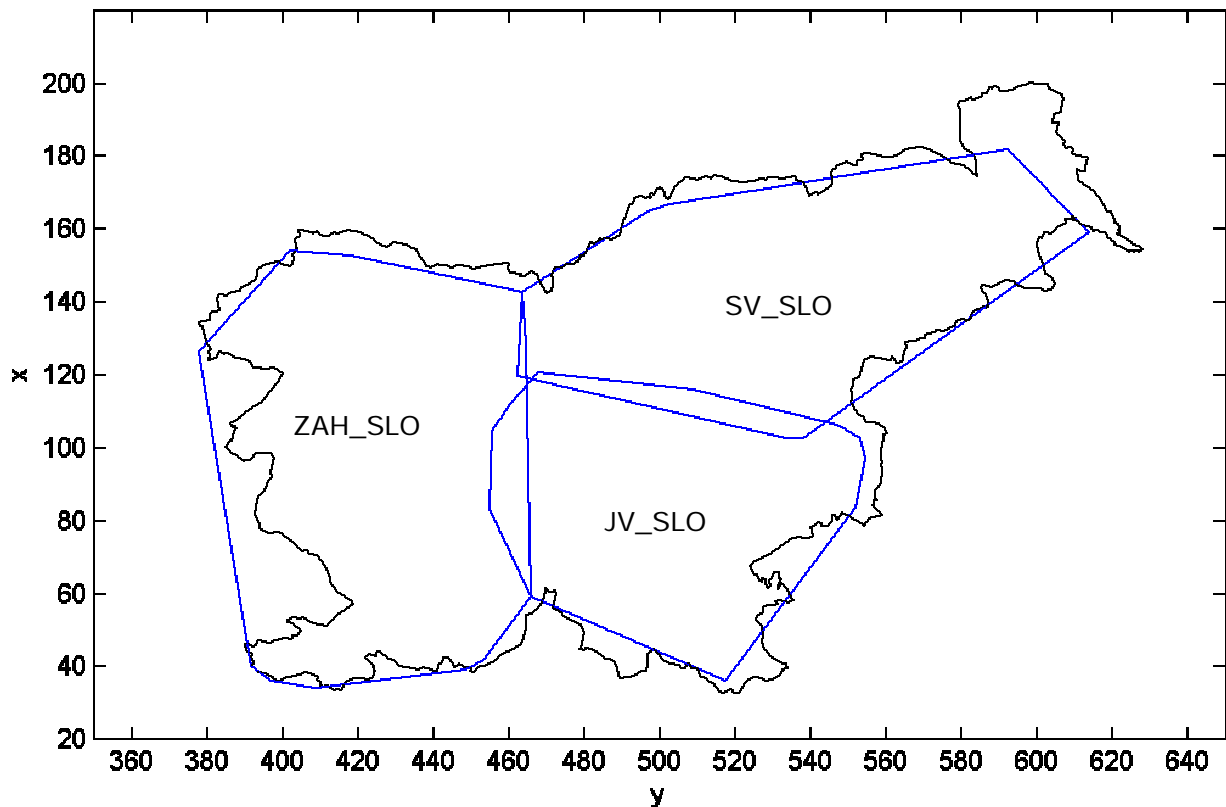
sr.v.	-0.0	-0.0	8.0																																				
sr.v. (abs)	7.9	7.0	11.0																																				
deltaX	-438.774927 m																																						
deltaY	-109.402675 m																																						
deltaZ	-377.696035 m																																						
alfa	04.933923 "																																						
beta	02.503267 "																																						
gama	- 11.269930 "																																						
merilo	-18.814763 ppm																																						
<p>PRIMORSKA in NOTRANJSKA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.059 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-23.0</td> <td>-19.2</td> <td>-12.7</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>27.0</td> <td>24.3</td> <td>48.5</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>8.9</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>7.5</td> <td>8.7</td> <td>10.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 4452.88 km²</p> <p>Število veznih točk: 102</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-23.0	-19.2	-12.7	max	27.0	24.3	48.5	-----				sr.v.	0.0	0.0	8.9	sr.v. (abs)	7.5	8.7	10.2	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-465.714655 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-115.127057 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-397.621959 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>05.743906 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.510737 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 10.415817 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-13.558204 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-465.714655 m	deltaY	-115.127057 m	deltaZ	-397.621959 m	alfa	05.743906 "	beta	02.510737 "	gama	- 10.415817 "	merilo	-13.558204 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-23.0	-19.2	-12.7																																				
max	27.0	24.3	48.5																																				

sr.v.	0.0	0.0	8.9																																				
sr.v. (abs)	7.5	8.7	10.2																																				
deltaX	-465.714655 m																																						
deltaY	-115.127057 m																																						
deltaZ	-397.621959 m																																						
alfa	05.743906 "																																						
beta	02.510737 "																																						
gama	- 10.415817 "																																						
merilo	-13.558204 ppm																																						

OSREDNJA SLOVENIJA				Transformacijski parametri:	
Srednji stand. odklon: 0.039 m				deltaX	-465.327872 m
Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:				deltaY	-122.305091 m
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	deltaZ	-403.608550 m
min	-15.9	-18.5	-17.3	alfa	04.387757 "
max	16.6	14.9	22.0	beta	02.265582 "
-----				gama	- 12.157415 "
sr.v.	0.0	-0.0	1.4	merilo	-12.730190 ppm
sr.v.(abs)	4.7	5.5	6.2		
Površina območja transformacije: 1987.85 km ²					
Število veznih točk: 57					

2.2.2.2 Razdelitev državnega območja na 3 pokrajine – nivo natančnosti transformacije približno 50 cm

2.2.2.2.1 Skica območij



2.2.2.2 Rezultati izračuna

<p>ZAHODNA SLOVENIJA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.071 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-35.7</td> <td>-24.3</td> <td>-27.9</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>28.5</td> <td>24.4</td> <td>47.4</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>0.0</td> <td>-0.0</td> <td>8.1</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>9.5</td> <td>10.0</td> <td>10.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 8777.85 km²</p> <p>Število veznih točk: 169</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-35.7	-24.3	-27.9	max	28.5	24.4	47.4	-----				sr.v.	0.0	-0.0	8.1	sr.v. (abs)	9.5	10.0	10.2	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-453.674298 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-112.560778 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-388.286611 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>05.343297 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.485394 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 10.836743 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-15.958238 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-453.674298 m	deltaY	-112.560778 m	deltaZ	-388.286611 m	alfa	05.343297 "	beta	02.485394 "	gama	- 10.836743 "	merilo	-15.958238 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-35.7	-24.3	-27.9																																				
max	28.5	24.4	47.4																																				

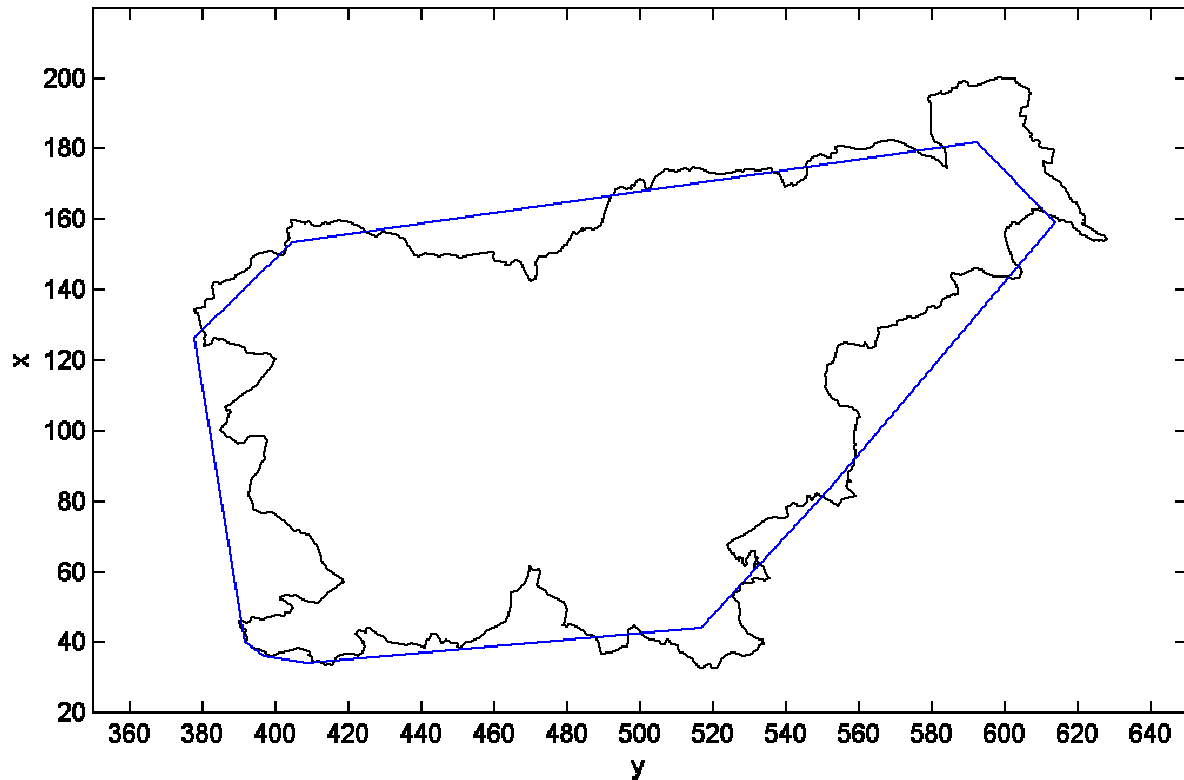
sr.v.	0.0	-0.0	8.1																																				
sr.v. (abs)	9.5	10.0	10.2																																				
deltaX	-453.674298 m																																						
deltaY	-112.560778 m																																						
deltaZ	-388.286611 m																																						
alfa	05.343297 "																																						
beta	02.485394 "																																						
gama	- 10.836743 "																																						
merilo	-15.958238 ppm																																						
<p>SEVEROVZHODNA SLOVENIJA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.092 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-37.8</td> <td>-41.0</td> <td>-17.6</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>41.8</td> <td>50.4</td> <td>63.9</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>8.4</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>13.2</td> <td>12.5</td> <td>11.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 7237.39 km²</p> <p>Število veznih točk: 154</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-37.8	-41.0	-17.6	max	41.8	50.4	63.9	-----				sr.v.	0.0	0.0	8.4	sr.v. (abs)	13.2	12.5	11.0	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-491.555745 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-135.971676 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-440.399732 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>03.683681 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.232141 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 13.171698 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-5.421926 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-491.555745 m	deltaY	-135.971676 m	deltaZ	-440.399732 m	alfa	03.683681 "	beta	02.232141 "	gama	- 13.171698 "	merilo	-5.421926 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-37.8	-41.0	-17.6																																				
max	41.8	50.4	63.9																																				

sr.v.	0.0	0.0	8.4																																				
sr.v. (abs)	13.2	12.5	11.0																																				
deltaX	-491.555745 m																																						
deltaY	-135.971676 m																																						
deltaZ	-440.399732 m																																						
alfa	03.683681 "																																						
beta	02.232141 "																																						
gama	- 13.171698 "																																						
merilo	-5.421926 ppm																																						
<p>JUGOVZHODNA SLOVENIJA</p> <p>Srednji stand. odklon: 0.074 m</p> <p>Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>dx (cm)</th> <th>dy (cm)</th> <th>dH (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>min</td> <td>-38.8</td> <td>-30.0</td> <td>-44.7</td> </tr> <tr> <td>max</td> <td>31.6</td> <td>30.3</td> <td>31.7</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>sr.v.</td> <td>0.0</td> <td>-0.0</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>sr.v. (abs)</td> <td>9.7</td> <td>10.8</td> <td>8.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Površina območja transformacije: 5779.03 km²</p> <p>Število veznih točk: 150</p>		dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	min	-38.8	-30.0	-44.7	max	31.6	30.3	31.7	-----				sr.v.	0.0	-0.0	1.1	sr.v. (abs)	9.7	10.8	8.1	<p>Transformacijski parametri:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>deltaX</td> <td>-485.017869 m</td> </tr> <tr> <td>deltaY</td> <td>-129.746797 m</td> </tr> <tr> <td>deltaZ</td> <td>-423.199123 m</td> </tr> <tr> <td>alfa</td> <td>04.880531 "</td> </tr> <tr> <td>beta</td> <td>02.348721 "</td> </tr> <tr> <td>gama</td> <td>- 11.745346 "</td> </tr> <tr> <td>merilo</td> <td>-8.231637 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	deltaX	-485.017869 m	deltaY	-129.746797 m	deltaZ	-423.199123 m	alfa	04.880531 "	beta	02.348721 "	gama	- 11.745346 "	merilo	-8.231637 ppm
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)																																				
min	-38.8	-30.0	-44.7																																				
max	31.6	30.3	31.7																																				

sr.v.	0.0	-0.0	1.1																																				
sr.v. (abs)	9.7	10.8	8.1																																				
deltaX	-485.017869 m																																						
deltaY	-129.746797 m																																						
deltaZ	-423.199123 m																																						
alfa	04.880531 "																																						
beta	02.348721 "																																						
gama	- 11.745346 "																																						
merilo	-8.231637 ppm																																						

2.2.2.3 Enotna državna transformacija – nivo natančnosti transformacije približno 1 m

2.2.2.3.1 Skica območja



2.2.2.3.2 Rezultati izračuna

SLOVENIJA				Transf. parametri:	
Srednji stand. odklon: 0.147 m				deltaX	-473.862034 m
Najmanjše in največje vrednosti odstopanj:				deltaY	-124.587314 m
	dx (cm)	dy (cm)	dH (cm)	deltaZ	-413.576255 m
min	-65.9	-61.3	-44.7	alfa	04.730807 "
max	123.8	70.0	63.9	beta	02.380796 "

sr.v.	0.0	-0.0	5.7	gama	- 11.786482 "
sr.v. (abs)	22.6	16.3	9.6	merilo	-10.645117 ppm
Površina območja transformacije: 23102.65 km ²					
Število veznih točk: 420					

2.3 Uskladitev položaja stalnih postaj omrežja SIGNAL z EUREF (NALOGA 1.3)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Izračun kampanje: GI (Nika Mesner in Sandi Berk) in FGG (mag. Oskar Sterle in dr. Bojan Stopar)

Povzetek

Najprej je bila na željo naročnika nekoliko popravljena skica točk, predvidenih za ponovitev EUREF GPS-kampanje, ki je bila pripravljena v okviru projekta Razvoj OGS 2006 [Radovan idr., 2006; Priloga 2.3.3-4]. Popravljena skica je v [Prilogi N1.3-01](#).

Neposredno pred podpisom pogodbe je prišlo do krčenja proračuna in preusmeritve kadrovskih zmogljivosti (zaradi popisa nepremičnin) in zato tudi do omejitev nekaterih planiranih aktivnosti. Ponovitev EUREF GPS-kampanje je bila tako izvedena v skrajno okrnjeni različici; v terensko izmero je bilo vključenih le 5 uradnih EUREF-točk. Kampanjo smo zato poimenovali »Mini EUREF GPS-kampanja 2007«.

Pripravljena so bila še kratka navodila za izvedbo statične GPS-izmere z najvišjo zahtevano natančnostjo. Navodila za terensko izmero so v [Prilogi N1.3-02](#).

Nato je bila izvedena ponovitev EUREF GPS-kampanje, ki je vključevala vseh pet uradnih EUREF-točk na območju Slovenije ter vseh 15 stalnih postaj omrežja SIGNAL. Kampanja je obsegala tri celodnevne sesije. Terenske meritve so bile izve v sodelovanju z naročnikom, ki je tudi sam izvedel meritve na dveh EUREF-točkah; ostale točke so bile izmerjene s strani GI in FGG. Plan izvedbe Mini EUREF GPS-kampanje s parametri opazovanj in terenski zapisniki opazovanj na petih EUREF točkah so v [Prilogi N1.3-03](#).

Sledila je obdelava opazovanj – predpriprava surovih opazovanj, pridobitev opazovanj s stalnih postaj omrežja in IGS-točk za navezavo ter preciznih efemerid GPS-satelitov. Sledil je izračun koordinat vseh v kampanjo vključenih točk, in sicer v aktualnem ITRF05, epoha 2007,258. Izračun je bil izveden neodvisno in po nekoliko različnih algoritmih na GI in FGG.

Poročilo o izračunu koordinat točk v ITRF05 je v samostojnih (ločeno vezanih) prilogah:

- **Izračun Mini EUREF GPS-kampanje 2007.** Tehnično poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, december 2007, 15+13 str.
- **Izračun Mini EUREF GPS-kampanje 2007.** Tehnično poročilo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, december 2007, 13 str.

Rezultati obeh izračunov (GI in FG) so se le malo razlikovali; kot končni rezultat obeh izračunov pa je vzeta aritmetična sredina koordinat. Končni rezultat, torej aritmetične sredine koordinate točk v ITRF05, epoha 2007,258, je v [Prilogi N1.3-04](#), koordinatne razlike med obema izračunoma pa so v [Prilogi N1.3-05](#).

Na usklajevalnih sestankih je bila skupaj z naročnikom projekta temeljito obravnavana strategija izračuna koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL v D96; glej zapisnike sestankov v [Prilogi Z3](#), [Prilogi Z5](#) in [Prilogi Z6](#).

Pripravljena sta bila dva predloga rešitve problema, in sicer s strani GI, ki je v [Prilogi N1.3-06](#), ter s strani FG, ki je v [Prilogi N1.3-07](#).

Na koncu smo se odločili za nasvet povprašati še norveške svetovalce. Vprašanje, ki jim je bilo poslano ob posredovanju naročnika, je v [Prilogi N1.3-08](#), njihov odgovor pa v [Prilogi N1.3-09](#).

Uporabljen je bil delno prilagojen predlog norveških svetovalcev, ki vključuje naslednje faze:

- transformacijo iz ITRF05, epoha 2007,258, v ITRF96, epoha 2007,258;
- transformacijo iz ITRF96, epoha 2007,258, v ITRF96, epoha 1995,554; uporabljen je bil a priori model hitrosti NNR-NUVEL-1A; ter
- transformacijo iz ITRF96, epoha 1995,554, v ETRS89.

Transformacija koordinat točk iz ITRF05, epoha 2007,258, v ITRF96, epoha 2007,258, je bila izvedena v dveh korakih (ker transformacijskih parametrov za neposredno transformacijo ni), in sicer s:

- 14-parametrično transformacijo iz ITRF05, epoha 2007,258, v ITRF00, epoha 2007,258, ter nato
- 14-parametrično transformacijo iz ITRF00, epoha 2007,258, v ITRF96, epoha 2007,258.

Za prvo transformacijo (ITRF05 → ITRF00) smo uporabili naslednje transformacijske parametre:

Parametri pomikov [cm]			Merilo [ppb]	Parametri zasukov [0,001"]		
T ₁	T ₂	T ₃	D	R ₁	R ₂	R ₃
0,01	-0,08	-0,58	0,40	0,00	0,00	0,00

in še njihove odvode po času:

Parametri pomikov [cm/leto]			Merilo [ppb/leto]	Parametri zasukov [0,001"/leto]		
T ₁ '	T ₂ '	T ₃ '	D'	R ₁ '	R ₂ '	R ₃ '
-0,02	0,01	-0,18	0,08	0,00	0,00	0,00

Za drugo transformacijo (ITRF00 → ITRF96) smo uporabili naslednje transformacijske parametre:

Parametri pomikov [cm]			Merilo [ppb]	Parametri zasukov [0,001"]		
T ₁	T ₂	T ₃	D	R ₁	R ₂	R ₃
0,67	0,61	-1,85	1,55	0,00	0,00	0,00

in še njihove odvode po času:

Parametri pomikov [cm/leto]			Merilo [ppb/leto]	Parametri zasukov [0,001"/leto]		
T ₁ '	T ₂ '	T ₃ '	D'	R ₁ '	R ₂ '	R ₃ '
0,00	-0,06	-0,14	0,01	0,00	0,00	0,02

Navedeni transformacijski parametri so bili objavljeni v datoteki ITRF.TP, ki je v [Prilogi N1.3-10](#). Preračun je bil izveden v skladu s priporočili EUREF [Boucher in Altamimi, 2007, različica 6.0].

Rezultat te prve (dvojne) transformacije (ITRF05 → ITRF96) je v [Prilogi N1.3-11](#).

Za drugo fazo uskladitve omrežja SIGNAL s slovenskim terestričnim datumom D96, torej transformacijo iz ITRF96, epoha 2007,258, v ITRF96, epoha 1995,554, je bil uporabljen a priori model hitrosti NNR-NUVEL-1A. Izračunani vektorji hitrosti na točkah so v [Prilogi N1.3-12](#).

Rezultat druge transformacije (ITRF96: epoha 2007,256 → epoha 1995,554) je v [Prilogi N1.3-13](#).

Tretja faza je bila (tudi po nasvetu norveških svetovalcev) izvedena na enak način, kot v kombiniranem izračunu EUREF GPS-kampanj (1994–1996) iz leta 2003. Za transformacijo (ITRF96 → ETRS89) smo uporabili naslednje transformacijske parametre:

Parametri pomikov [cm/leto]			Parametri zasukov [0,001"/leto]		
T ₁	T ₂	T ₃	R ₁	R ₂	R ₃
4,1	4,1	-4,9	0,20	0,50	-0,65

Preračun je bil izveden v skladu s priporočili EUREF [Boucher in Altamimi, 2007, različica 6.0].

Končni rezultat uskladitve, torej rezultat še tretje transformacije (ITRF96, epoha 1995,554 → ETRS89/D96) je v [Prilogi N1.3-14](#).

Tako določene koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL so na najboljši trenutno izvedljiv način usklajene s slovenskim datumom D96. Šibka točka v uporabljenem postopku je uporaba modela hitrosti NNR-NUVEL-1A, še posebej zato, ker je razlika epoch precej velika ($2007,258 - 1995,554 = 11,704$). V bodoče bi moral postopek usklajevanja vključevati dejanske vektorje hitrosti na točkah, določene na podlagi večletnih opazovanj (dnevni preračuni).

Rezultati izračuna (novodoločene koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL) so od 21. 12. 2007 tudi uradne koordinate; na ta dan so bile vnešene kot dane koordinate, spremenjene so bile ustrezne log-datoteke za vsako posamezno postajo, za uporabnike omrežja pa je bilo na spletni strani Službe za GPS objavljeno tudi kratko obvestilo, ki jih sezanja s spremembami. Obvestilo uporabnikom je v [Prilogi N1.3-15](#).

Na koncu je bila izvedena še analiza rezultatov, in sicer:

- analiza odstopanj med uradnimi koordinatami petih EUREF-točk – torej koordinatami iz kombiniranega izračuna EUREF-kampanj iz let 1994–1996 – in med koordinatami teh točk, določenimi iz Mini EUREF-kampanje, ter
- analiza odstopanj med trenutnimi koordinatami stalnih postaj omrežja SIGNAL – torej koordinatami iz zadnjih log-datotek – in med novimi koordinatami teh točk, določenimi iz Mini EUREF-kampanje.

Obe analizi se nanašata na koordinate točk v ETRS89 (D96). Odstopanja med uradnimi koordinatami petih EUREF-točk in med koordinatami teh točk, določenimi iz Mini EUREF-kampanje, so v [Prilogi N1.3-16](#).

Povprečna absolutna odstopanja so 1,67 cm (N), 0,48 cm (E) in 1,48 cm (U).
Največja absolutna odstopanja so 3,28 cm (N), 0,85 cm (E) in 2,66 cm (U).
Največja odstopanja so bila na EUREF-točki Malija, kjer gre tudi glede na druge dosedanje izračune zelo verjetno za vpliv lokalne geodinamike. Odstopanja so še znotraj zahtevane natančnosti za potrebe izmer v zemljiškem katastru.

Odstopanja med starimi koordinatami stalnih postaj omrežja SIGNAL (pred uskladitvijo z D96) in med novimi koordinatami teh točk, določenimi iz Mini EUREF-kampanje, so v [Prilogi N1.3-17](#).

Povprečna absolutna odstopanja so 0,34 cm (N), 0,50 cm (E) in 1,76 cm (U).
Največja absolutna odstopanja so 0,66 cm (N), 0,99 cm (E) in 3,42 cm (U).
Največja odstopanja so bila v horizontalnem položaju na postaji Radovljica po višini pa na postaji Bleiburg (Pliberk), med slovenskimi pa Ptuj.

2.4 Predlog izbora in nivojev geodetskih točk za realizacijo novega koordinatnega sistema (NALOGA 1.4)

Pripravi: Dominik Fajdiga, GI

Konzultacije in recenzija: dr. Bojan Stopar in dr. Božo Koler, oba FGG

Pripombe in predlogi: Barbara Sever, Saša Koselj in Žarko Komadina, vsi GURS

Povzetek

Pripravljen je bil predlog za preoblikovanje vzdrževanja in vodenja osnovnih mrež geodetskih točk v državi po prehodu na nov koordinatni sistem. Uporabljene so bile nekatere izkušnje o ureditvi nivojev geodetskih točk v nekaterih evropskih državah, ki so prehod na nov koordinatni sistem že izvedle. Zbrana gradiva ureditve tega področja v nekaterih evropskih državah so v [Prilogi N1.4-01](#).

Predlogi vsebujejo tudi kriterije za izbor, gostoto, razporeditev in stabilizacijo točk, tehnologijo izmere ter nivoje mrež geodetskih točk, in sicer za horizontalni, višinski in gravimetrični sistem. Nove delitve v osnovi izhajajo iz obstoječe razdelitve točk, pri čemer pa je ključno upoštevanje novih tehnologij in uporabniških zahtev. Dodana je nova kategorija geodetskih točk – 3R-geometrične geodetske točke (določene z GNSS-tehnologijo). Definirani so modeli kakovosti posameznih redov in metode izmere ter tehnologije glede na zahtevano natančnost.

2.4.1 Uvod

V postopku prehoda iz starega v nov državni koordinatni sistem so bile dosedaj že izvedene nekatere ključne naloge. Predvsem na področju horizontalnega sistema sta bili realizirani dve ključni fazi in sicer vzpostavitev novega koordinatnega sestava in določitev transformacijskih parametrov za prehod med starim in novim sistemom.

Pri tem so se poleg klasičnih redov horizontalnih geodetskih točk, ki so bile zasnovane v starem koordinatnem sistemu, pričele pojavljati skupine točk, ki so bile izmerjene s tehnologijo globalnih satelitskih navigacijskih sistemov (GNSS). Te skupine točk so bile osnova tako za realizacijo novega koordinatnega sistema kot tudi za določitev povezave s starim koordinatnim sistemom. Čeprav so tovrstne točke temelj novega koordinatnega sistema, doslej še ni bilo rešeno vprašanje enotnega poimenovanja, predvsem pa njihove celostne vključitve v obstoječo nomenklaturo geodetskih točk.

V minulih letih so se tako izoblikovale skupine geodetskih točk, za katere se uporabljajo razni delovni izrazi, ki deloma nakazujejo poreklo točk oz. njihov namen, kot npr. EUREF ali ETRS točke. Takšni izrazi so v krogih geodetske stroke sicer dokaj enoznačni in ne povzročajo večjih težav, vendar pa je z uradnim uveljavljanjem novega državnega koordinatnega sistema potrebno poskrbeti tudi za ureditev

odnosov med redovi v starem koordinatnem sistemu in novo nastalimi skupinami geodetskih točk.

Posledica uvedbe novih tehnologij v geodetski izmeri je zmanjšanje potrebe po fizični stabilizaciji točk nižjih redov in s tem zmanjšanje stroškov na račun vzpostavitve in vzdrževanja mrež nižjih redov, katerih vzdrževanje bi se lahko sčasoma opustilo. Namesto mrež nižjih redov bo za navezavo na državni koordinatni sistem služila državna mreža permanentnih GNSS postaj, ki na celotnem državnem ozemlju zagotavlja ustrezno kakovostno referenco za vse vrste topografskih in katastrskih izmer.

Pričujoča naloga podaja predlog nove razdelitve geodetskih točk glede na njihov pomen in tehnične značilnosti. Spremembe se predvsem nanašajo na že omenjene horizontalne točke, ki so najobsežnejša skupina in posledično najbolj strukturirana. V dosedanjih mrežah višinskih in gravimetričnih mrež, pri katerih se večinoma ohranjajo njihova teoretična izhodišča in merske tehnike, pa so podane manj obsežne spremembe; večinoma gre za racionalizacije, ki izvirajo iz praktičnih izkušenj.

Glede višinske in gravimetrične komponente koordinatnega sistema pomeni fizično realizacijo predvsem nadgradnja obstoječe mreže nivelmanskih poligonov. Potrebno je dodati nekaj novih nivelmanskih poligonov zaradi zaključitve nivelmanskih zank na ozemlju države.

2.4.2 Obstoječe stanje

2.4.2.1 Razvrstitev geodetskih točk v redove

Sedanja razdelitev geodetskih točk izvira iz ureditev v letih 1951 in 1955, nazadnje pa je bila nomenklatura določena s Pravilnikom o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk, ki ga je leta 1981 izdala Republiška geodetska uprava SRS v Ljubljani. Nekatero določbe Pravilnika so ponekod uporabljene kot smernice pri sestavi predloga novih redov geodetskih točk.

Glede na uporabo se trenutno mreže geodetskih točk uvrščajo v tri skupine in sicer (navajano po Pravilniku):

- skupina, ki se uporablja kot izhodišče za določitev vodoravne lege drugih točk v prostoru;
- skupina mrež višinskih temeljnih geodetskih točk, ki se uporablja kot izhodišče za določitev nadmorske višine točk v mrežah položajnih točk in drugih točk v prostoru;
- skupina mrež gravimetričnih (izvirno: gravimetrijskih) temeljnih geodetskih točk, ki se uporablja za določitev medsebojne lege geoidnih in elipsoidnih ploskev in za zagotovitev predpisane natančnosti položajnih in višinskih mrež, kot tudi za uporabo v geoloških raziskavah.

Razdelitev in pomen posameznih mrež geodetskih točk je opisana v naslednjih poglavjih.

2.4.2.1.1 Skupina mrež položajnih temeljnih geodetskih točk

Posamezne mreže položajnih točk se glede na:

- metode določanja vodoravne lege,
- stopnjo njihove natančnosti in
- gostoto točk

delijo v mreže višjega in nižjega reda.

V podskupino višjih redov sodijo:

- trigonometrična mreža I. reda, skupaj z astrogeodetsko in baznimi mrežami,
- trigonometrična mreža II. glavnega in dopolnilnega reda,
- trigonometrična mreža III. glavnega reda,
- poligonometrična mreža III. glavnega reda,
- mestna trigonometrična mreža.

V podskupino nižjih redov sodijo:

- trigonometrična mreža III. dopolnilnega reda,
- poligonometrična mreža III. dopolnilnega reda,
- trigonometrična mreža IV. reda,
- poligonometrična mreža IV. reda,
- navezovalna mreža,
- mestna poligonometrična mreža I. reda,
- mestna poligonometrična mreža II. reda.

Vsaka točka položajne mreže je imela določeno tudi nadmorsko višino.

2.4.2.1.2 Skupina mrež višinskih temeljnih geodetskih točk

Posamezne mreže višinskih točk se glede na:

- metode določanja višinske lege,
- stopnjo njihove natančnosti in
- gostoto točk

delijo v mreže višjega in nižjega reda.

V podskupino višjih redov sodijo:

- nivelmanska mreža visoke natančnosti (mreža NVN),
- nivelmanska mreža I. reda
- nivelmanska mreža II. reda
- mestna nivelmanska mreža I. reda

V podskupino nižjih redov sodijo:

- nivelmanska mreža III. reda
- nivelmanska mreža IV. reda
- mestna nivelmanska mreža II. reda

2.4.2.1.3 Skupina mrež gravimetričnih temeljnih geodetskih točk

Točke z izmerjenimi vrednostmi težnega pospeška so povezane v gravimetrične mreže, ki jih lahko delimo na globalne, regionalne in lokalne mreže. Na območju posamezne države gravimetrične mreže delimo v rede, po načelu iz velikega v malo.

Glede tehničnih normativov za temeljno gravimetrično mrežo je Pravilnik iz leta 1981 predvidel izdajo posebnega predpisa direktorja tedanje Republiške geodetske uprave, vendar takšen predpis ni bil izdan. Posledično ni uradne razvrstitve gravimetričnih točk, zato se uporablja prilagojeno poimenovanje, ki večinoma izhaja iz ureditve v bivši Jugoslaviji. Tako lahko za 'uradno' stanje glede razvrstitve gravimetričnih točk privzamemo logični model centralne baze geodetskih točk, v kateri je v uporabi naslednji šifrant:

- 0. red, v katerem je 6 točk, ki so bile izmerjene z absolutnimi gravimetri v letih 1995 – 2000;
- 1. red, v katerem so točke iz Osnovne gravimetrične mreže bivše Jugoslavije, ki so bile na novo izmerjene v letu 2006;
- 2. red;
- detajlna točka.

2.4.2.2 Centralna baza geodetskih točk

Centralna baza geodetskih točk je podpora za georeferenciranje vseh ostalih zbirk prostorskih podatkov. Prehod centralne baze geodetskih točk na nov koordinatni sistem je predpogoj za prehod na vzdrževanje. Pri tem je potrebno poskrbeti za prenovo logičnega in fizičnega modela zbirke. Delitev točk na »klasične« in »GPS« točke ni več smiselna, saj bodo po prehodu na nov koordinatni sistem fizično stabilizirane točke na terenu ostale večinoma iste oziroma se bodo kvečjemu dopolnile z novimi. Z novo tehnologijo izmere bodo te točke dobile le nekatere nove neposredno izmerjene ali posredno določene položajne koordinate.

Oznake in vrste horizontalnih geodetskih točk v sedanji bazi geodetskih točk:

Oznaka	Red mreže
1	trigonometrična točka I. reda
2	trigonometrična točka II. reda
3	trigonometrična in poligonometrična točka III. reda
4	trigonometrična in poligonometrična točka IV. reda
5	navezovalna točka in mestna poligonometrična točka
6	poligonska točka
7	linijska točka
8	oslonilna točka
9	ostale točke

Oznake in vrste višinskih geodetskih točk v sedanji bazi geodetskih točk:

Oznaka	Red mreže
0	NVN
1	I. red
2	II. red
3	III. red
4	IV. red
5	mestni nivelman

Oznake in vrste gravimetričnih geodetskih točk v sedanji bazi geodetskih točk:

Oznaka	Red mreže
0	0. red
1	I. red
2	II. red
3	detajlna točka

Razdelitev horizontalnih in višinskih točk v centralni bazi točk se nekoliko razlikuje od uradne razporeditve le-teh v Pravilniku o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk. Nekateri redovi so namreč združeni (npr. mestni nivelmanski mreži 1. in 2. reda sta vodeni kot »mestni nivelman«), pojavljajo pa se tudi nova poimenovanja (npr. oslonilne točke).

2.4.3 Nova razdelitev geodetskih točk

Oprelitev novih redov geodetskih točk horizontalne, gravimetrične in višinske mreže. Novi redovi v osnovi izhajajo iz obstoječe razdelitve točk, pri čemer pa je ključno upoštevanje sedanjih tehnologij in uporabniških zahtev.

Pri novi fizični realizaciji koordinatnega sistema je delno uporabljena obstoječa geodetska infrastruktura, predvsem osnovne geodetske mreže višjih redov (horizontalne, višinske in gravimetrične), delno pa je mreža prilagojena zahtevam novih merskih tehnik in ustrezno dopolnjena.

Fizična realizacija novega koordinatnega sistema je izvedena na podlagi kakovostne nove izmere ogrodja novega koordinatnega sistema, ki vključuje predvsem mrežo točk I. reda in je določen z vklopom na bližnje IGS točke ter preračunom v ETRS 89. S tem je določen nov slovenski terestrični datum in je nov koordinatni sistem tudi praktično vzpostavljen.

Posledica uvedbe novih tehnologij izmere (GNSS) je zmanjšanje potrebe po fizični stabilizaciji točk nižjih redov in s tem zmanjšanje stroškov na račun vzpostavitve in vzdrževanja mrež nižjih redov, katerih vzdrževanje bi se sčasoma opustilo. Namesto mrež nižjih redov bo za navezavo na državni koordinatni sistem služila državna mreža permanentnih GNSS postaj, ki na celotnem državnem ozemlju zagotavlja dovolj kakovostno navezavo za vse vrste topografskih in katastrskih izmer.

Glede višinske in gravimetrične komponente koordinatnega sistema pomeni fizično realizacijo predvsem nadgradnja obstoječe mreže nivelmanskih poligonov. Potrebno je dodati nekaj novih poligonov zaradi zaključitve nivelmanskih zank na ozemlju države. V tem oziru je potrebna stabilizacija novih reperjev vzdolž teh poligonov, ter izmera teh poligonov.

2.4.3.1 Načela izbora novih redov

- Smiselno obdržati rede, ki dosegajo boljšo natančnost, kot jo bo uspelo zagotavljati posameznim tehnikam izmere v realnem času. Slednje velja predvsem za koordinate horizontalnih točk izmerjenih s tehniko GNSS;
- V obstoječi centralni bazi geodetskih točk je veliko atributov, ki opredeljujejo sorodne lastnosti točk. Cilj je vse točke primarno razdeliti (z atributom, ne fizično) v tri geodetske pomene;
- Določitev, kaj je za neko točko primarni podatek in kateri tega le opisujejo (npr. pri višinski točki je osnovni podatek višina, horizontalne koordinate pa so pomožni podatek določen iz ortofota, TTN. V primeru, da so tudi horizontalne koordinate določene z večjo natančnostjo, se lahko točka uporablja tudi kot točka horizontalne mreže:

- Opredelitev, koliko je nek podatek o točki natančen oz. točen: Višinska točka ima lahko koordinati določeni iz ortofota, lahko pa sta določeni natančnejše s tehniko GNSS in v tem primeru uporabni tudi kot točni horizontalni koordinati. Tako opisana točka se lahko uporablja tudi v drugih mrežah (npr. horizontalni ali gravimetrični, v kolikor so bile na točki izvedene tudi gravimetrične meritve – npr. točka EUVN);
- V centralni bazi točk se vodi le izvirne podatke v dogovorjeni obliki (npr. N, E – državni ravninski koordinatni sistem) in ne izvedenih; izračun in zagotavljanje slednjih je predmet ustreznih aplikacij (če so interpretacijsko-računski algoritmi za pridobitev izvedenih podatkov v smeri izpeljanih količin enolični);
- Pri izdelavi predloga razvrstitve – konceptualnega modela – se išče rešitev, ki bo omogočala izgradnjo učinkovitega in robustnega podatkovnega modela (nove centralne baze geodetskih točk);
- Nadaljnje spremembe logičnega modela centralne baze geodetskih točk potekajo le s spremembo šifrantov in pri tem ni potrebno posega v samo strukturo (relacije) baze; slednje je potrebno upoštevati pri zasnovi podatkovnega modela;
- Točke, ki so razvrščene v horizontalne, višinske in gravimetrične mreže in imajo isto številčno oznako reda, so si sorodne po njihovi vlogi, ki jo imajo za vzpostavitev in vodenje koordinatnih sistemov; lahko se medsebojno dopolnjujejo, saj je za njihovo določitev zahtevana medsebojno primerljiva stopnja natančnosti merske metode in izračuna (izravnave).

2.4.3.2 Operacije nad obstoječimi redovi

- Novi red – dodamo novi red, ki se po lastnostih bistveno razlikuje od vseh obstoječih;
- Spremenjeni red – sprememba obstoječega reda glede na nove zahteve, pri čemer je ohranjen bistven pomen (lastnost) prejšnjega reda (npr. natančnost);
- Zamrznjeni red – red se ne uporablja več oz. je odpravljen.

2.4.3.3 Dejavniki vpliva na razdelitev točk v redove

1. Uporabljena tehnika izmere (GNSS, tahimetrija, nivelman, trigonometrično višinomerstvo, absolutna gravimetrična izmera; relativna gravimetrična izmera; fotogrametrija, lasersko skeniranje, daljinsko zaznavanje);
2. Dosežena natančnost;
3. Uporabljena ali predvidena stabilizacija, izmera mikromrež za zavarovanja;
4. Obstoječa razvrstitev v skupine mrež in rede;
5. Število obstoječih in predvidenih točk, gostota na km²;
6. Prostorska razporejenost točk.

2.4.3.4 Vzdrževanje geodetskih točk

Pri vzdrževanju podatkov o geodetskih točkah je potrebno v prvi fazi sprejeti naslednje odločitve glede lastnosti in aktivnosti pri zagotavljanju ažurne evidence podatkov:

- Opredelitev ciljev pri vzdrževanju geodetskih točk glede na skupino mrež in posamezne redove;
- Izbira periode opazovanj glede na skupino mrež in posamezne redove; v okviru tega predvsem odločitev za dva velikostna reda periode:
 - redovi točk, katerih položaj bo določen stalno (npr. SIGNAL)
 - redovi točk, katerih položaj bo spremljan v perioi (npr. EUREF točke, višinska mreža I. reda);
- Navedba vseh aktualnih tehnik geodetske izmere in določitev ustreznih tehnik in izračunov za skupine geodetskih mrež in redove (delno rešeno že v tem predlogu);
- Izbira in zasnova osnovnih protokolov vzdrževanja pomembnejših redov geodetskih točk, kot npr:
 - Omrežje permanentnih GPS postaj
 - Spremljanje kinematike horizontalne komponente
 - Spremljanje kinematike vertikalne komponente

2.4.3.5 Predlog nove razdelitve geodetskih točk v mreže in redove

Predlog nove razdelitve geodetskih točk je podan glede na njihov pomen in tehnične značilnosti. Spremembe glede na obstoječe stanje se predvsem nanašajo na točke horizontalnih geodetskih mrež, ki so najboljšežnejša skupina in posledično najbolj strukturirana.

V dosedanjih mrežah višinskih in gravimetričnih mrež, pri katerih se večinoma ohranja njihova zasnova in merske tehnike, pa so podane manj obsežne spremembe; večinoma gre za predloge, ki izvirajo iz praktičnih izkušenj.

2.4.3.5.1 Konceptualni model razdelitve

Predpostavka: točka ima en sam položaj, spreminjajo se lahko njene koordinate.

Konceptualni model razdelitve temelji na predpostavki o osnovnem gradniku, ki ima naslednje značilnosti:

- osnovni gradnik je geodetska točka; geodetska točka je točka v matematičnem smislu, ki ima določene koordinate (geometrično ali fizikalno);
- geodetska točka (kot osnovni gradnik) ima enolični identifikator, poleg te lahko ima tudi oznake (eno ali več) v okviru mrež in redov, v katere je vključena;
- geodetska točka ima določene lastnosti (atribute), v okviru katerih se vodijo podatki o njej;

- osnovne geometrično določene količine, ki se za geodetsko točko (lahko) vodijo, so:
 - (y, x) – projekcijski koordinati točke v starem KS (D48/GK)
 - (e, n, h) – projekcijsko-elipsoidne koordinate točke: projekcijski koordinati točke v novem KS (D96/TM) in elipsoidna višina točke (elipsoid GRS80, D96)

Časovno komponento lahko sistema dobimo z (e', n', h') – komponente vektorja hitrosti projekcijsko-elipsoidnih koordinat točk (D96) oziroma (X', Y', Z') – komponente vektorja hitrosti 3R-kartezičnih koordinat točk (ITRF05). Menimo, da bo točk s kakovostno določenimi vektorji hitrosti relativno malo in zato ne sodijo v samo bazo; izbrani niz teh točk bo osnova za vzpostavitev kinematičnega modela, ki bo omogočal vpeljavo časovne razsežnosti sistema tudi v bazo geodetskih točk.

- osnovne fizikalno določene količine, ki se za geodetske točke (lahko) vodijo, so:
 - H_{NO} – normalna ortometrična višina točke
 - H_N – normalna višina točke
 - g – težnostni pospešek na točki
- dodatne fizikalno določene količine, ki se za geodetske točke (lahko) vodijo, so:
 - ρ – vertikalni gradient na točki
 - ξ, η – odklona težiščnice

Geodetske točke lahko glede na obseg sorodnih lastnosti razvrščamo v **mreže, redove in skupine mrež**. Pri tem ne gre za fizično razporejanje vsake posamezne točke, marveč za rezultate poizvedovanj glede na kvantitativne in kvalitativne kriterije, ki jih določa uporabnik:

Mreža

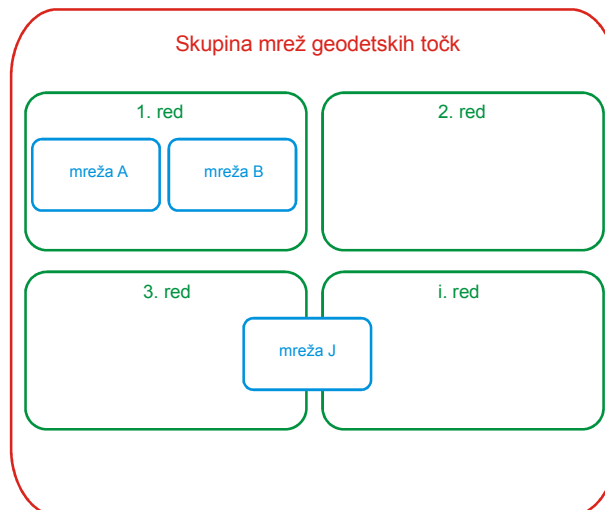
- mreža vsebuje geodetske točke, ki imajo sorodne lastnosti po pomenu ali namenu (so bile npr. določene v isti ali podobni izmeri);
- mreže so označene opisno (alfanumerično), ime izhaja iz namena (pomena, projekta), zaradi katerega je geodetska točka uvrščena v skupino;
- geodetska točka je lahko hkrati uvrščena v več mrež;
- nekatere aktualne in potencialne mreže:
 - EUREF,
 - SIREF – predlog poimenovanja zgoščenih mrež EUREF,
 - SIGNAL,
 - EUVN,
 - ETRS,
 - Geoidna mreža – vsebuje geodetske točke, ki imajo določene geometrične količine e, n, h , ter fizikalne količine H, g ; točke te mreže definirajo geoid.

Red

- red vsebuje geodetske točke, ki zadoščajo istim kvantitavnim in kvalitativnim kriterijem;
- posamezni redi so označeni z arabsko številko, najbolj zanesljiv/pomemben red ima oznako 1, razen v skupini mrež gravimetričnih geodetskih točkah, kjer je oznaka najvišjega reda 0;
- geodetska točka ne more biti hkrati razvrščena v več redov iste skupine mrež;

Skupina mrež

- geodetski točka se glede na tip izmere razvrščajo v skupine mrež:
 - **Skupina mrež (3R-) geometričnih geodetskih točk D96 – tip izmere: GNSS, pogojno tudi klasična izmera v D96 (potreben nov pravilnik!);**
 - Skupina mrež višinskih geodetskih točk – tip izmere: nivelman;
 - Skupina mrež gravimetričnih geodetskih točk – tip izmere: gravimetrija;
 - Skupina mrež (2R-) geometričnih (horizontalnih) geodetskih točk D48 – tip izmere: stare klasične mreže (**tu ostane vse kot je bilo po starem pravilniku!**);
- geodetska točka je lahko hkrati v več skupinah mrež:



2.4.3.5.2 Način predstavitve predloga

Z namenom boljše preglednosti in uporabnosti geodetskih točk je izvedena naslednja razvrstitev geodetskih točk v redove znotraj posameznih skupin mrež geodetskih točk. Pri skupini mrež geometričnih geodetskih točk D48 se ohrani razvrstitev glede na star Pravilnik.

Predlogi posameznih skupin mrež geodetskih točk so podani preko tabel. Vsaka tabela predstavlja en red, pri čemer so na levi strani navedene vrste lastnosti reda, na desni pa opis teh lastnosti za posamezni red.

Dodatna pojasnila glede nekaterih pomenov:

- »vsebuje točke« – v tem polju so navedene obstoječe vrste točk, ki se razvrstijo v določen red; s tem je omogočeno ohranjanje zgodovine/porekla določene točke na prehodu iz stare v novo razdelitev; slednje bo lahko realizirano v logičnem modelu nove centralne baze geodetskih točk (npr. kot posebno polje, ki bo označevalo način določitve posamezne točke – projekt ali poreklo);
- »lastnosti« – navedene so skupne značilnosti geodetskih točk, zaradi katerih jih je smiselno voditi skupaj;
- »tehnika izmere« – tu je navedena metoda določitve geodetskih točk (uporabljena tehnologija);
- »natančnost« – gre za kvantitativno informacijo o natančnosti izmere, s katero so bili določene koordinate ali fizikalne lastnosti geodetske točke. Natančnost je v neposredni povezavi z redom točke, saj je posamezni red določen s spodnjo mejo natančnosti, s katero morajo biti izmerjene geometrijske koordinate ali fizikalne količine geodetske točke.

2.4.3.5.3 Nadgradnja skupine mrež horizontalnih geodetskih točk – razdelitev na 2R : 3R (oziroma klasika : GNSS oziroma D48 : D96)

V to skupino točk sodijo točke, ki so v sedanji bazi rezultat t.i. projektov HZ in GPS. Točke projekta HZ so bile pridobljene s postopki klasične geodetske izmere, s tehnikami triangulacije, trilateracije in njunim kombiniranjem. Točke so zelo podrobno razvrščene v redove glede na njihovo natančnost in namen – uporabnost. Celoten sistem razdelitve HZ točk sloni na temeljni zahtevi, da so meritve in izračuni koordinat točk posameznega reda direktno navezani na višji (natančnejši red). Sčasoma se je v izmerah posameznih redov nabralo precej napak, ki so se prenašale na nižje redove in s tem povzročile nehomogeno natančnost. Evidenca horizontalnih geodetskih točk je zelo obsežna (okoli 200.000 točk), zato je bilo do nedavnega nemogoče odkriti in odpraviti lokalne anomalije, s čimer je bila vprašljiva zanesljivost tovrstnega nabora točk, predvsem tistih iz nižjih redov.

Z razvojem merskih tehnik GNSS je bila mogoča boljša ocena homogene natančnosti horizontalnih geodetskih točk in sanacija ter odprava nehomogene natančnosti nižjih redov.

V bazi geodetskih točk so se pričele voditi točke, pridobljene s tehnikami GNSS, pri čemer je bila velika večina teh točk povezana z identičnimi HZ-točkami. V primeru, ko povezava točke določene z GNSS-meritvami in HZ točke ni bila mogoča, so bile izmerjenim GNSS-koordinatam dodane približne koordinate v sistemu D48. Točke, katerih položaji so izmerjeni s tehniko GNSS, dosedaj še niso bile uradno razdeljene v redove, vendar so se med njimi v praksi izoblikovale različne skupine opazovanj, ki se ločijo predvsem po namenu določitve, zaradi katere jim je bil določen položaj, posledično pa seveda tudi po natančnosti.

Zato bi bilo smiselno poleg skupine mrež horizontalnih geodetskih točk (oz. skupine mrež 2R-geometričnih geodetskih točk v D48) vpeljati novo **skupino mrež 3R-geometričnih geodetskih točk v D96**. Nova skupina se glede na staro razlikuje v dodatni višinski komponenti (elipsoidna višina), kar je posledica GNSS-tehnologije izmere, in v geodetskem datumu.

Novo skupino bi bilo nujno uvesti na osnovi navega pravilnika!

V Sloveniji so sedaj v rabi naslednje mreže točk, ki so bile določene s tehniko GNSS (posamezne skupine točk so poimenovane z izrazom, ki se trenutno uporablja v strokovnih krogih):

- točke EUREF, ki tvorijo nov državni datum,
- ostale točke EUREF (zgostitvene izmere),
- omrežje SIGNAL,
- točke EUVN,
- točke ETRS.

Kriteriji razvrstitve v rede so:

- stabilizacija točk,
- dolžina vektorjev,
- tip izmere in oprema,
- perioda meritev,
- obdelava meritev,
- geodetski datum;

Predlog razvrstitve 3R-geometričnih geodetskih točk (v D96):

ime skupine mrež	Skupina mrež 3R-geometričnih geodetskih točk
ime reda	1. red
stabilizacija točk	stari I., II. red ali primerljiva; pri točkah SIGNAL v skladu s tehnično dokumentacijo razpisov za izgradnjo permanentnih postaj
dolžina vektorjev	manjša od 100 km (razen do IGS-točk)
tip izmere	GNSS (statična), klasična
oprema	smernice EUREF
perioda meritev	vsaj 2 × 24 urna serija, interval 15 s ali 30 s
obdelava meritev	modeliranje ionosfere in troposfere, upoštevanje korekcij anten, znanstvena programska oprema (Bernese, Gipsy)
geodetski datum	vklop na bližnje točke IGS (vsaj 3) ali na točke mreže EUREF (D96)
vsebuje točke	točke EUREF, SIREF, EUVN, SIGNAL
predvidena natanč.	standardni odklon koordinat točke manjši od 1 cm (v epohi opazovanj) – po EUREF standardu razred B (class B)
število/gostota točk	okoli 100
namen	realizacija novega državnega koordinatnega sistema, geokinematični model, infrastruktura za navezavo na državni koordinatni sistem

ime skupine mrež	Skupina mrež 3R-geometričnih geodetskih točk
ime reda	2. red
stabilizacija točk	stari II. red, pogojno III., IV. red ali primerljiva
dolžina vektorjev	manjša od 30 km
tip izmere	GNSS (statična), klasična
oprema	dvofrekvenčni GNSS-sprejemnik (L1&L2 code and carrier), dvofrekvenčna GNSS-antena
perioda meritev	od 4 do 24 ur, vsaj 15 s interval
obdelava meritev	komercialna programska oprema (GPSurvey, Trimble TC ipd.)
geodetski datum	usklajen z D96, ponoven preračun na osnovi kombiniranega izračuna EUREF-kampanj
vsebuje točke	točke ETRS, ki zadoščajo navedenim kriterijem
predvidena natanč.	standardni odklon koordinat točke manjši od 2,5 cm
število/gostota točk	okoli 150
namen	pomožna infrastruktura za navezavo na državni koordinatni sistem; vezne točke za transformacijo med starim in novim državnim koordinatnim sistemom

ime skupine mrež	Skupina mrež 3R-geometričnih geodetskih točk
ime reda	3. red
stabilizacija točk	stari III., IV. red ali primerljiva
dolžina vektorjev	manjša od 20 km
tip izmere	GNSS (statična), klasična
oprema	dvofrekvenčni GNSS-sprejemnik (L1&L2 code and carrier), dvofrekvenčna GNSS-antena
perioda meritev	od 2 do 4 ure, vsaj 15 s interval
obdelava meritev	komercialna programska oprema (GPSurvey, Trimble TC ipd.)
geodetski datum	približno usklajen z D96, navezava na omrežje SIGNAL, točke, določene v kombiniranem izračunu EUREF-kampanj, ali posameznimi preračuni le-teh
vsebuje točke	točke ETRS, ki zadoščajo navedenim kriterijem
predvidena natanč.	standardni odklon koordinat točke manjši od 3,5 cm
število/gostota točk	okoli 400
namen	pomožna infrastruktura za navezavo na državni koordinatni sistem; vezne točke za transformacijo med starim in novim državnim koordinatnim sistemom

ime skupine mrež	Skupina mrež 3R-geometričnih geodetskih točk
ime reda	4. red
stabilizacija točk	trajna
dolžina vektorjev	manjša od 15 km
tip izmere	GNSS (statična), klasična
oprema	dvofrekvenčni GNSS-sprejemnik in antena
perioda meritev	od 1 do 2 uri
obdelava meritev	komercialna programska oprema (GPSurvey, Trimble TC ipd.)
geodetski datum	približno usklajen z D96
vsebuje točke	točke ETRS, ki zadoščajo navedenim kriterijem
predvidena natanč.	standardni odklon manjši od 4 cm
število/gostota točk	okoli 60
namen	vezne točke za transformacijo med starim in novim državnim koordinatnim sistemom

ime skupine mrež	Skupina mrež 3R-geometričnih geodetskih točk
ime reda	5. red
stabilizacija točk	trajna
dolžina vektorjev	manjša od 15 km
tip izmere	GNSS (hitra statična), klasična
oprema	dvofrekvenčni GNSS-sprejemnik in antena
perioda meritev	od 20 minut do 1 ura
obdelava meritev	komercialna programska oprema (GPSurvey, Trimble TC ipd.)
geodetski datum	približno usklajen z D96
vsebuje točke	preostale točke ETRS
predvidena natanč.	standardni odklon manjši od 5 cm
število/gostota točk	okoli 1300
namen	vezne točke za transformacijo med starim in novim državnim koordinatnim sistemom

2.4.3.5.4 Skupina mrež višinskih geodetskih točk

Pri predlogu nove razdelitve višinskih geodetskih točk gre za preoblikovanje iz sedanjih sedmih redov v štiri nove redove. Ob tem je upoštevan zdajšnji obseg in stanje meritev, kakor tudi načrtovana dela ob sanaciji štirih nivelmanskih zank, ki jim bo potrebno dodati nekaj novih poligonov zaradi zaključitve nivelmanskih zank na ozemlju države. V tem oziru je potrebna stabilizacija novih reperjev vzdolž teh poligonov in izmera teh poligonov.

V 1. redu so zajete točke najvišje natančnosti, ki realizirajo višinski sistem, v 2. redu se nahajajo točke izmerjene v letih 1980 - 1990, ki bodo preračunane v nov višinski sistem in datum. V III. in IV. redu pa se nahajajo vse preostale sedanje in novo izmerjene točke lokalnega pomena, ki se v III. oz. IV. red delijo na osnovi dosežene natančnosti in s tem zanesljivosti.

Predlog nove razvrstitve višinskih geodetskih točk:

ime skupine mrež	Skupina mrež višinskih geodetskih točk
ime reda	1. red
vsebuje točke	Točke nove izmere, del točk NVN in zdajšnjega 1. reda, mareograf, normalni reper, fundamentalni reperji, novo izmerjene 4 zanke
število/gostota točk	2.000 točk
lastnosti	Osnova za državni višinski sistem; na novo izmerjene točke do 2020; na območju Slovenije na novo izmerjeni nivelmanski vlaki štirih zank; nivelmanski poligoni sestavljeni iz delov obstoječih mrež NVN in I. reda ter novih poligonov; zapiranje zank na območju države
tehnika izmere	Geometrični nivelman, merjenje temperature, komparirane late, gravimetrična izmera
stabilizacija	V splošnem so točke na dobro grajenih objektih; pri normalnem in fundamentalnih reperjih ter reperju mareografa je potrebno geološko poročilo in globlje temeljenje ter zavarovanje z izmero mikromreže
natančnost	Znotraj 1 mm/km dvojnega nivelmana
opomba	

ime skupine mrež	Skupina mrež višinskih geodetskih točk
ime reda	2. red
vsebuje točke	Preostali reperji iz NVN in I. red, obstoječi reperji II. reda, reperji mestne nivelmanske mreže 1. reda, točke merjene v '80 ih letih
število/gostota točk	1290
lastnosti	Preračun v nov višinski sistem in nov datum
tehnika izmere	Geometrični nivelman
stabilizacija	Grajeni objekti
natančnost	Znotraj 2 mm/km dvojnega nivelmana
opomba	Preračun iz starih podatkov na nov datum

ime skupine mrež	Skupina mrež višinskih geodetskih točk
ime reda	3. red
vsebuje točke	Obstoječi reperji III. in IV. reda; preostali reperji mestnih nivelmanskih mrež in nove lokalne točke; preračun v nov višinski sistem in nov datum
število/gostota točk	9565
lastnosti	Preračun v nov višinski sistem in nov datum
tehnika izmere	Geometrični nivelman
stabilizacija	Grajeni objekti
natančnost	Znotraj 4 mm/km dvojnega nivelmana
opomba	

ime skupine mrež	Skupina mrež višinskih geodetskih točk
ime reda	4. red
vsebuje točke	Obstoječi reperji III. in IV. reda; preostali reperji mestnih nivelmanskih mrež in nove lokalne točke; preračun v nov višinski sistem in nov datum
število/gostota točk	4705
lastnosti	Obstoječe točke ali na novo vzpostavljene točke za razne potrebe izvajalcev (gradbeništvo etc.)
tehnika izmere	Geometrični nivelman, trigonometrično višinomerstvo, izmera GNSS
stabilizacija	
natančnost	Slabša kot 4 mm/km dvojnega nivelmana
opomba	komercialni namen; vloga GURS-a; način vodenja evidence točk

2.4.3.5.3 Mreža gravimetričnih geodetskih točk

Predlog ustreza zdajšnji, že uveljavljeni realizaciji nove gravimetrične izmere in izhaja iz dejansko uporabljene zasnove in tehnične izvedbe opazovanj, ki so bila izvedena v zadnjih letih.

Predlog nove razvrstitve gravimetričnih geodetskih točk:

ime skupine mrež	Skupina mrež gravimetričnih geodetskih točk
ime reda	0. red
vsebuje točke	obstoječe točke 0. reda
število/gostota točk	6, ena točka na 3000 km ²
lastnosti	točke določene z absolutnim gravimetrom, geološka poročila
tehnika izmere	absolutna gravimetrija
stabilizacija	geološko poročilo
natančnost	znotraj 2 µgal
opomba	

ime skupine mrež	Skupina mrež gravimetričnih geodetskih točk
ime reda	1. red
vsebuje točke	obstoječe točke 1. reda
število/gostota točk	29, ena točka na 700 km ²
lastnosti	vklopljeno, 10min, povezava geoidne in elipsoidne ploskve na državni ravni
tehnika izmere	precizne relativne gravimetrične meritve
stabilizacija	
natančnost	10–30 µgal
opomba	

ime skupine mrež	Skupina mrež gravimetričnih geodetskih točk
ime reda	2. red
vsebuje točke	točke EUVN, nivelmanske točke 1. reda, točke SIGNAL, točke EUREF
število/gostota točk	
lastnosti	novo izmerjene točke po letu 2000
tehnika izmere	točke določene z relativnim gravimetrom
stabilizacija	
natančnost	nad 30 μ gal
opomba	

ime skupine mrež	Skupina mrež gravimetričnih geodetskih točk
ime reda	3. red
vsebuje točke	detajlne točke
število/gostota točk	2000
lastnosti	izmerjene v letih 1950 – 2000
tehnika izmere	točke določene z relativnim gravimetrom
stabilizacija	točke niso stabilizirane
natančnost	
opomba	komercialni namen; vloga GURS-a; način vodenja evidence

2.4.4 Zbirka geodetskih točk

Predlagana nova razdelitev geodetskih točk v redove se bo na uradni ravni uvedla s primernim pravnim aktom, dejansko (praktično) realizacijo te uradne ravni pa bo predstavljala nova centralna baza geodetskih točk. Iz tega razloga je potrebno novo centralno bazo geodetskih vzpostaviti na način, ki bo optimalen tako na interni (administrativni) ravni kot tudi v odnosu do uporabnikov.

Pri tem je glavna naloga vzpostavitve logičnega modela, ki odraža lastnosti geodetskih točk v novem državnem koordinatnem sestavu in relacije med njimi. Pri tem kot samostojna atributna polja ohranimo opise, ki točko bistveno določajo, medtem ko vse ostale kvalifikatorje pomaknemo na nižjo raven, ki jo izvedemo v šifrantih.

V spodnjih razdelkih so navedeni osnovni koraki pri zasnovi in izvedbi nove zbirke geodetskih točk

2.4.4.1 Logični model zbirke

Nov osnovni gradnik (geodetska točka v najširšem smislu) z enoličnim identifikatorjem povezuje vse lastnosti točke v prostoru. Na novo uvedena pojmovna raven enolično opredeljuje točko v naravi in tako bolje modelira realnost ter omogočala boljše povezovanje med razpršenimi podatki iste točke.

Konkretno to pomeni, da je točka v prostoru, ki ima določene geometrične, višinske in gravimetrične podatke v pripadajočih mrežah, v bazi opredeljena kot ista točka.

Objektni tipi

Atributi

Opisni (koordinate, lastnosti)

Grafični (topografija)

Relacije

Funkcije

2.4.4.2 Podatkovni model zbirke

Programska oprema

Relacijska baza

Izmenjevalni formati

Vnos – uvoz

Kontrole

Izvoz

2.4.4.3 Fizični model zbirke

Tehnologija

Strojna oprema

2.4.4.4 Kakovost podatkov o geodetskih točkah

Kvalitativna merila

Uporaba

Poreklo

Kvantitativna merila

Položajna natančnost

Časovna natančnost

Tematska natančnost

2.4.4.5 Uporabniški, poslovni modeli

Replikacija

Ažuriranje

Analize (poizvedbe, statistike)

Časovna dinamika (historiat)

Distribucija, cenovna politika, spletna stran

2.4.5 Prehod na novo centralno bazo geodetskih točk

Prehod na vzdrževanje v novem koordinatnem sistemu

Zahteve uporabnikov, varnostne zahteve

Protokol prehoda

Analiza prehoda, izboljšave

Prehod na vodenje v novem koordinatnem sistemu

Zahteve uporabnikov, varnostne zahteve

Protokol prehoda

Analiza prehoda

2.4.6 Zaključek

Pri izdelavi predloga o izboru geodetskih točk, ki bodo v novem koordinatnem sistemu tvorile osnovo za realizacijo koordinatnega sestava, smo se predvsem posvetili iskanju rešitve za razvrstitev izbranih geodetskih točk glede na njihove lastnosti in pomen. Ob tem so se odprla številna konceptualna vprašanja glede izhodišč in načel, na osnovi katerih bi dosegli pregledno in smiselno razvrstitev.

Po načelih modeliranja je bila najprej prepoznana osnovna entiteta 'geodetska točka', za namen razvrstitve geodetskih točk na pomenske razrede in ravni pa so bili zbrani termini 'skupina mrež', 'red' in 'mreža'.

Vprašanja, ki ostajajo deloma nerešena, so predvsem terminološka in se nanašajo na izbor, poimenovanje in definiranje osnovnih pojmov (točka, položaj, lega, koordinata ...).

Razvrstitev v novo skupino mrež (3R-geometrične/GNSS/D96) bi bilo nujno uvesti na osnovi ustreznega novega pravilnika.

2.4.7 Literatura in viri

Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2006). Projekt nove gravimetrične mreže 1 reda Republike Slovenije. V: Geodetski vestnik 50/3.

Republiška geodetska uprava Ljubljana (1981). Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk. V Uradni list SRS št. 18-980/81 12.6.1981.

Svečnikov, N. (1962). Postavljanje normalnog repera i određivanje njegove apsolutne visine.

Stopar, B. (2007). Vzpostavitev ESRS v Sloveniji.

Vodopivec, F. (1976). Raziskava stabilnosti nivelmanskih reperjev ljubljanske mestne mreže.

Vodopivec, F. (1988). Precizni nivelman.

Vodopivec, F., Breznikar, A., Kogoj, D., Koler, B. (1989). Projekt nivelmanske mreže zahodnega dela Ljubljanskega barja in raziskava stabilnosti fundamentalnega reperja FR 3.

Vodopivec, F., Koler, B., Pajer, M. (1990). Analiza natančnosti nivelmana v razvoju geodetskih mrež v Sloveniji.

2.5 Metodologija za nadzor kakovosti podatkov v novem koordinatnem sistemu (NALOGA 1.5)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Predlog pripravila: Nika Mesner in Sandi Berk, oba GI

Povzetek

Pripravljen je predlog metodologije za nadzor kakovosti podatkov v novem koordinatnem sistemu in predlog predvidenih nivojev nadzora (po nivojih zahtevane natančnosti).

Na podlagi uskladitve osnutka metodologije z zahtevami naročnika je bila pripravljena končna različica v obliki navodil za nadzor kakovosti, ki je v samostojni (ločeno vezani) prilogi:

- **Navodilo za nadzor kakovosti podatkov v novem koordinatnem sistemu.** Različica 2.0. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, marec 2008, 14+13 str.

Poseben poudarek v navodilu je namenjen nadzoru podatkov glede na položajno natančnost, optimalni določitvi vzorca za oceno natančnosti določenega podatkovnega niza ter metodam izmere in obdelavi podatkov za pravilno vrednotenje rezultatov kontrole.

Za naročnika (za izvajalce terenskih kontrol) je bilo pripravljeno tudi predavanje z naslovom Ocenjevanje kakovosti geodetske izmere, ki je bilo izvedeno dne 23. 01. 2008 na Glavnem uradu Geodetske uprave Republike Slovenije v Ljubljani. Prosojnice predavanja so v [Priloqi N1.5-01](#).

2.6 Določitev imena in oznak novega koordinatnega sistema ter kartografske projekcije (NALOGA 1.6)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Pripravljen je bil osnutek predloga imen, krajšav in definicij komponent novega koordinatnega sistema, ki vključuje tudi različne modele transformacij med koordinatnimi sistemi. Predlog imen, oznak, krajšav v zvezi z novim državnim koordinatnim sistemom je v [Prilozi N1.6-01](#).

Pripravljeni so bili tudi podroben opis in razlage v zvezi z novo državno kartografsko projekcijo. Opis nove državne kartografske projekcije in parametrov kartografske projekcije (pripravljen za objavo na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije) je v [Prilozi N1.6-02](#).

2.7 Normativna ureditev novega koordinatnega sistema (NALOGA 1.7)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Zagotovljeno je bilo aktivno sodelovalnje projektne skupine na sestankih v zvezi novo zakonodajo in podzakonskimi akti ter sodelovanje pri pripravi in dokončnem oblikovanju tehničnih pogojev, ki jih opredeljuje sprejeta zakonodaja (spremembe in popravki pravilnikov in navodil, novi formati podatkov).

V okviru te naloge poteka zbiranje gradiv o normativni ureditvi koordinatnega sistema v različnih evropskih državah. Analiza različnih pristopov ureditve in podobnosti razmer s stanjem v Sloveniji bo osnova za podajanje predlogov za pripravo ustreznih rešitev pri nas. Med drugi gre za pripravo pravilnikov, s katerimi bo urejena bodoča razdelitev in vloga osnovnih geodetskih mrež – idejne rešitve so predstavljene v okviru naloge 1.4 (glej **Poglavje 2.4** tega poročila). Zbrana gradiva ureditve tega področja v nekaterih evropskih državah so v [Prilogi N1.4-01](#).

Podroben opis nove državne kartografske projekcije bo tudi osnova za pripravo podzakonskih predpisov, ki bodo urejali novi koordinatni sistem; pripravljen je v okviru naloge 1.6 (glej **Poglavje 2.6** tega poročila).

V okviru naloge je bilo izvedenih nekaj kontaktov s tujimi svetovalci, ki so to tematiko tudi predstavili na otvoritveni konferenci projekta (glej [Prilogo N4.3-03](#)) in na 37. geodetskem dnevu (glej [Prilogo N4.3-06](#)).

Prav tako smo to tematiko obravnavali v okviru posebnega sklopa na Mednarodni regionalni delavnici o satelitskih referenčnih sistemih za katastrsko izmero, ki je bila podprta s subvencijo Nemške družbe za tehnično sodelovanje – GTZ. Obe strokovni srečanji sta bili v Novi Gorici (16. in 17. 11. 2007) – glej tudi gradiva z delavnice ([Priloga N4.3-07](#)).

3 Naloge na višinskem koordinatnem sistemu

3.1 Protokol prehoda na nov višinski sistem (NALOGA 2.1)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Poročilo pripravil: dr. Božo Koler, FGG

Nekatera gradiva pripravila: Katja Bajec, GI

Povzetek

Pripravljen je bil pregled vsebine protokola prehoda na nov višinski sistem ter analize potreb in možnosti, ki narekujejo prehod na nov višinski koordinatni sistem. Poteka tudi pridobivanje gradiva o izkušnjah iz tujine.

Pripravljen je bil osnutek strategije uvedbe novega višinskega sistema Slovenije, ki predvideva uvedbo normalnih višin; nov višinski sistem se vzpostavi na osnovi nove izmere nivelmanske mreže višjega reda ter gravimetrične izmere na reperjih.

Pripravljen je bil seznam ključnih faz (shematični prikaz) pri prehodu na nov višinski sistem s krajšimi opisi. Pripravljena je tudi analiza aktivnosti različnih evropskih držav (Finska, Hrvaška, Nemčija, Nizozemska, Portugalska, Španija, Švedska, Švica).

Nadaljuje se priprava protokola uvedbe novega višinskega sistema Slovenije, ki bo temeljil na geopotencialnih kotah in verjetno uvedbi normalnih višin; nov višinski sistem se vzpostavi na osnovi sanacije obstoječih nivelmanski mrež višjih redov ter gravimetrične izmere na reperjih. Za povezavo z elipsoidnimi višinami bo uporabljena GNSS-tehnologija.

Osnutek sheme uvedbe novega višinskega sistema je bil razširjen in popravljen glede na predloge FGG. Prav tako je bil seznam ključnih faz podrobneje razdelan v posamezne naloge, naloge pa smo na kratko razložili na podlagi pisnih pojasnil in priporočil s strani FGG ter na podlagi dogovorov na sestankih med FGG, GI in GURS.

3.1.1 Definicija višinskega sistema

Državni koordinatni sistem je razdeljen na dve komponenti in sicer horizontalno in višinsko komponento. To pomeni, da imamo horizontalni koordinatni sistem za določanje lege in višinski (vertikalni) koordinatni sistem za določanje višin. Vsaka od komponent ima zaradi zgodovinskih, tehnoloških in formalno pravnih okvirov, v katerih je bila vzpostavljena za vodenje evidenc o prostoru ter prikazovanje objektov in pojavov na območju države, določene težave in slabosti. Znanstveni in tehnološki razvoj sta omogočila določitev sodobnih meril, katerim obstoječi državni koordinatni sistem, ki ga v višinskem smislu predstavlja nivelmanska mreža točk visoke natančnosti, ne zadosti več. Za določitev višin s sodobnimi geodetskimi merskimi tehnikami, kot je GNSS (Global Navigation Satellite Systems), je dobro določen sodoben višinski sistem nujen. Dobro določen višinski sistem nam omogoča povezavo med

geometričnimi višinami, ki so rezultat izmere GNSS s fizikalnimi višinskimi sistemi, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero.

Definicija višinskega sistema je dokaj težavna naloga in je odvisna od načina določitve višine. Tako lahko govorimo o geometričnem višinskem sistemu, ki ni povezan s težnostnim poljem Zemlje. V tem primeru so višine točk določene z izmero GNSS, rezultat višinske izmere pa so t.i. elipsoidne višine, ki v praksi niso uporabne. Kadar so višine točk določene v povezavi s težnostnim poljem Zemlje, velja, da so višine določene v enem od fizikalnih višinskih sistemov, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero.

Pri izboru ustreznega sistema višin moramo upoštevati zahteve različnih uporabnikov, zahteve znanosti in posameznih strok. Tako dobimo vrsto pogojev, ki jih mora izpolnjevati teoretično neoporečni višinski sistem. Ti pogoji pa se do določene mere med seboj tudi izključujejo. Najvažnejši pogoji so (Koler, 1998):

1. Višine točk morajo biti nedvoumno definirane in določljive neodvisno od poti niveliranja. Ker nivojske ploskve težnostnega polja niso med seboj vzporedne in ker sta uravnavanje libele in lega kompenzatorja nivelirja tesno povezana s težnostnim poljem, ta pogoj ni izpolnjen za višine točk, ki so določene samo na osnovi rezultatov geometričnega nivelmana. Teorija zgoraj navedenega je bila predstavljena v Študiji stanja del na nivelmanu visoke natančnosti – Končno poročilo, UL FGG, 2005.
2. Višine točk naj bi bile določene na osnovi merjenj na površini Zemlje in pri tem naj bi upoštevali čim manj različnih hipotez (na primer o gostoti in porazdelitvi mas v notranjosti Zemlje).
3. Popravki merjenih višinskih razlik, zaradi privzetega višinskega sistema, morajo biti tako majhni, da jih ne upoštevamo pri nivelmanskih mrežah nižjih redov, ker so navezane na nivelmanske mreže višjih redov.
4. Vse točke, ki ležijo na isti nivojski ploskvi, naj bi imele isto višino. Osnovo temu pogoju predstavlja spoznanje, da imata dve točki isto višino, kadar voda med njima miruje.
5. Višine točk naj bi izpolnjevale tudi sledeče:
 - a) višine točk naj bi bile podane v metrih,
 - b) obstajala naj bi geometrična razlaga,
 - c) določene naj bi bile glede na referenčno ploskev, ki ima fizikalno razlago.
6. V zadnjem času se pojavlja zahteva, da naj bi višinski sistem omogočal enostavno povezavo z elipsoidnimi višinami, pridobljenimi na osnovi meritev GNSS.

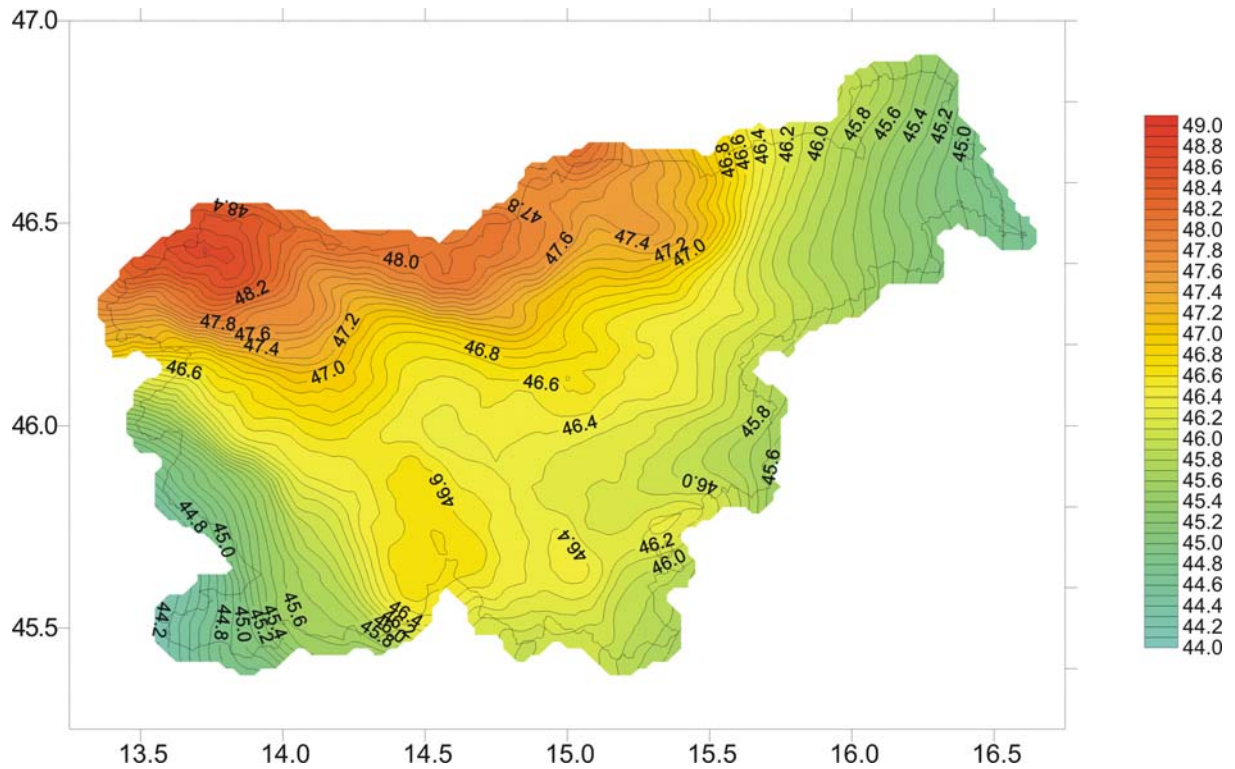
Pogoje, ki jih izpolnjujejo posamezni višinski sistemi so zbrani v preglednici 1.

Višino neke točke lahko podamo v različnih fizikalnih višinskih sistemih. Osnovo vsem fizikalnim višinskim sistemom predstavljajo **geopotencialne kote**. Te določimo na osnovi merjenih višinskih razlik in podatkov o merjenem težnostnem pospešku. Če določimo, da je višina ničelne nivojske ploskve oziroma geoida enaka 0, potem nam razlika potencialov predstavlja naravno fizikalno mero za višine točk na zemeljski površini. Enoto za geopotencialne kote imenujemo geopotencialno število ali GPU (ang. Geopotential unit), kjer je $1\text{GPU} = 1\text{ kgalm} = 10\text{ Nm/kg} = 10\text{ m}^2/\text{s}^2$.

Da dobimo višine točk podane v metrih, je potrebno geopotencialno koto deliti s težnostnim pospeškom. Glede na to s kakšno vrednostjo težnega pospeška delimo geopotencialne kote poznamo različne vrste višin. Če geopotencialne kote delimo s konstantno vrednostjo težnostnega pospeška, potem dobimo **dinamično višino**. **Normalne višine** so določene na osnovi vrednosti normalne težnosti točke na elipsoidu in težnosti pripadajoče točke na teluroidu, pri tem pa so višine neodvisne od porazdelitve mas pod površjem Zemlje. Na drugi strani je težnostni pospešek **ortometričnih višin** določen vzdolž prostorske krivulje, težiščnice, med točko na površini Zemlje in pripadajočo točko na geoidu. Zaradi nepoznavanja dejanskih vrednosti težnostnega pospeška vzdolž težiščnice je za ortometrične višine značilno, da so definirane na osnovi hipotez o spreminjanju težnostnega pospeška pod površjem Zemlje. Različni avtorji (Helmert, Baranov, Ramsayer, Strang, Chen) prevzamejo različne predpostavke pri definiranju gostote in razporeditve mas v notranjosti Zemlje, zato se lahko ortometrične višine med seboj precej razlikujejo (Lisec, 2002).

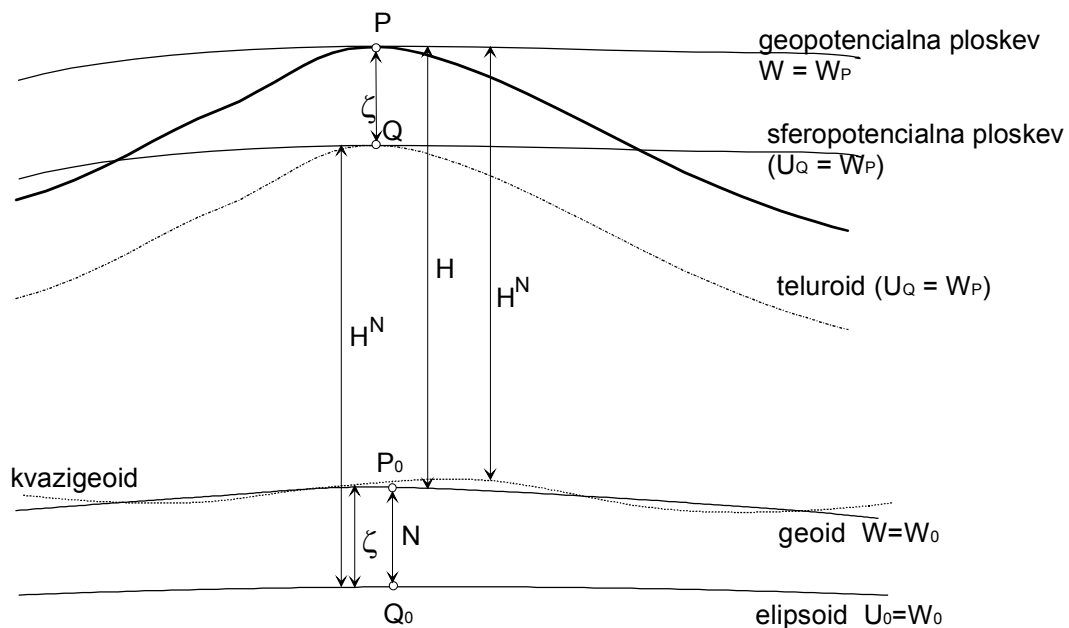
V Sloveniji so višine določene v višinskem sistemu **sferoidnih (normalnih) ortometričnih višin**. Normalne ortometrične višine danes sodijo med višine, ki so določene v zastarelem višinskem sistemu, ki so ga uporabljali v preteklosti, ko so bile meritve težnostnega pospeška zapletene in zato dolgotrajne. Za izračun popravkov merjenih višinskih razlik se namesto izmerjenega težnostnega pospeška uporablja izračunane vrednosti oziroma t.i. normalni težnostni pospešek. Sferoidne (normalne) ortometrične se nanašajo na t.i. normalno ničelno nivojsko ploskev (Leismann et al., 1992).

Višine točk, ki so določene v višinskem sistemu, ki ni določen tudi na osnovi gravimetrične izmere, so podane z **elipsoidnimi višinami**. Njihov pomen se je povečal z razvojem GNSS izmere. Elipsoidna višina predstavlja najkrajšo razdaljo med točko na površju Zemlje in referenčnim elipsoidom. Definirana je popolnoma geometrično in so za vsakdanjo uporabo neprimerne, saj pri nas točke istih elipsoidnih višin odstopajo od nivojskih ploskev od 44 m do 49 m (slika 1).



Slika 1: Geoid na območju Slovenije

Zaradi vse pogosteje uporabljene satelitske metode (GNSS) določevanja položajev točk v geodeziji in s tem opisovanja točk v kartezičnih koordinatnih sistemih, je za državni višinski sistem izrednega pomena možnost prehoda na elipsoidne višine in obratno. Povezavo med elipsoidnimi in ortometričnimi oziroma normalnimi višinami predstavlja geoidna višina (N), ki je oddaljenost elipsoida od geoida oziroma anomalija višine (ζ), ki predstavlja oddaljenost med elipsoidom in kvazigeoidom (slika 2). Danes se vse bolj uveljavlja termin kvazigeoidna višina.



Slika 2: Višine točk v različnih višinskih sistemih

Geopotencialne kote, dinamične višine in ortometrične višine se nanašajo na fizikalno definirano referenčno ploskev, ki predstavlja ekvipotencialno ploskev. Vendar to velja za ortometrične višine le teoretično, saj se odvisno od prevzetih hipotez, ortometrične višine nanašajo na svoj tako imenovani kogeoid. Kogeoid sicer poteka blizu geoida, vendar ne predstavlja ekvipotencialne ploskve. Na drugi strani se normalne višine nanašajo na kvazigeoid, ki je geometrijsko mesto točk, ni pa fizikalna ploskev. Vendar kvazigeoid prav tako odstopa od geoida le minimalno. Sferoidne (normalne) ortometrične višine se nanašajo na ničelno nivojsko ploskev (NN-ploskev), ki nima fizikalne osnove. To velja tudi za referenčni elipsoid.

Kljub skupnemu izhodišču fizikalnih višinskih sistemov – geopotencialnim kotam, imajo različni višinski sistemi različne lastnosti in izpolnjujejo različne pogoje. Na kratko so rezultati analize višinskih sistemov zbrani v spodnji preglednici, kjer so zbrani podatki o pogojih, ki jih izpolnjujejo posamezni višinski sistemi (preglednica 1).

Lastnosti	V I Š I N S K I S I S T E M I					
	Geopotencialne kote	Dinamične višine	Ortometrične višine	Normalne višine	Normalne ortom. viš.	Elipsoidne višine
1	da	da	da	da	ne	da
2	da	da	ne	da	da	da
3	ne	ne	nekateri	da	da	ne
4	da	da	ne	ne	ne	ne
5a	ne	da	da	da	da	da
5b	ne	ne	da	da	ne	da
5c	geoid	geoid	geoid	kvazigeoid	NN ploskev	ref. elipsoid
6	ne	da	da	da	da	/

Preglednica 1: Lastnosti posameznih višinskih sistemov

- 1 – enolično določene višine, neodvisne od poti niveliranja
- 2 – višine neodvisne od raznih predpostavk
- 3 – popravki merjenih višinskih razlik majhni
- 4 – točke z isto višino ležijo na isti nivojski ploskvi
- 5a – višine točk podane v metrih
- 5b – geometrična razlaga višin
- 5c – referenčna ploskev
- 6 – matematična povezava z elipsoidnimi višinami

Iz zgornje preglednice lahko vidimo, da največ pogojev sodobnega višinskega sistema izpolnjujejo normalne višine.

3.1.2 Smernice EUREF v zvezi z višinskim sistemom

Podkomisija EUREF (*European Reference Frame*) mednarodne zveze IAG je bila osnovana avgusta 1987 v Firencah. Prvi koraki pri vzpostavitvi Evropskega višinskega sistema so bili narejeni leta 1994, ko je na zahtevo CERCO po enotnem evropskem višinskem sistemu z natančnostjo 0,1 m, podkomisija EUREF na konferenci v Varšavi sprejela sklep (*Resolution 3, Warsaw 1994*) o razširitvi skupne višinske mreže UELN (*United European Levelling Network*) na države Vzhodne Evrope.

V Helsinkih, 1995, so predlagali, da naj bo EUVN (*European Vertical Reference Network*) mreža točk, ki bo določena tudi z GPS opazovanji in se nahajajo v bližini reperjev in mareografov, definirana kot del EUREF mreže (*Resolution 2, Helsinki 1995*).

Na simpoziju v Ankari je bil sprejet sklep (*Resolution 2, Ankara 1996*) da se enotni evropski višinski sistem vzpostavi na osnovi rezultatov UELN-95 v sistemu normalnih višin. Začetna naloga projekta UELN-95 je bila ponovna izravnava mrež UELN-73/86 zahodne in severne Evrope, UPLN-82 (*United Precise Levelling Network*) srednje in vzhodne Evrope ter nacionalnih mrež držav, ki niso bile vključene v UELN-73/86 ali UPLN-82. Mreža je izravnana v geopotencialnih kotah, nanaša pa se na referenčno točko sistema UELN-73 (Amsterdam). Za mrežo je značilno sledeče:

1. V mrežo so vključeni podatki iz mreže UELN-73 in nova opazovanja. Poleg tega je izboljšana konfiguracija stare mreže.
2. Mreža je razširjena z nacionalnimi mrežami Centralne in Vzhodne Evrope, ki niso bile del starega sistema.

Na predlog delovne skupine za vzpostavitev EUVN so predlagali izvedbo GPS izmere od 21 do 29. maja 1997 in pozvali vse članice EUREF komisije, da sodelujejo v omenjeni izmeri (*Resolution 3, Ankara 1996*). Na osnovi rezultatov izmere in razvoja UELN-95 bi lahko izpolnili zahteve po enotnem višinskem sistemu s centimetrsko natančnostjo. Tako so se odločili, da razvijejo novo Evropsko geokinematično višinsko referenčno mrežo, ki bi vključevala vsa opazovanja (ponovne nivelmanske izmere, GPS, gravimetrične meritve, opazovanja srednjega nivoja morja na različnih mareografih GPS), ki jih bodo posredovale članice EUREF komisije (*Resolution 4, Ankara 1996*).

Na zasedanju v Bad Neuenahr-Ahrweiler (1998) so potrdili rezultate izravnave mreže EUVN-97 GPS izmere (*Resolution 2, Bad Neuenahr - Ahrweiler 1998*) in potrdili tudi predstavljeno rešitev UELN-98, ki naj bi zajela tudi podatke o nivelmanski izmeri ob Črnem morju, Baltiku in povezavi nivelmanskih mrež Francije in Velike Britanije skozi EURO predor (*Resolution 4, Bad Neuenahr - Ahrweiler 1998*).

S projektom EUVN – Evropska višinska referenčna mreža – so poskušali sprva združiti različne nacionalne višinske datume v mejah enega centimetra. Glavni cilj projekta je določiti enotni vertikalni datum in povezati različne vrednosti za ničelni nivo morja preko dela PSMSL (*Permanent Service of Mean Sea Level*), s tem pa

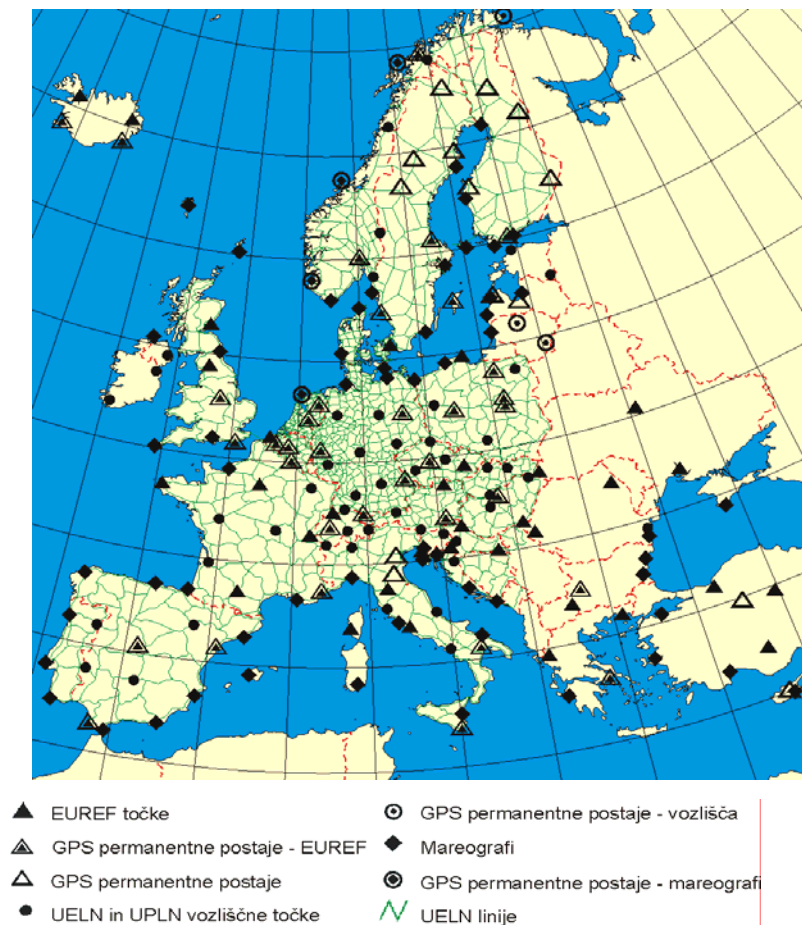
omogočati spremljanje spreminjanja nivoja morja, ki naj bi bilo posledica ogrevanja ozračja. Projekt je bil zamišljen tudi kot priprava podatkov za vzpostavitev geokinetičnega referenčnega višinskega sistema Evrope in absolutnega svetovnega višinskega sistema (AWHS – Absolute World Height System).

Za realizacijo projekta EUVN so potrebni sledeči podatki:

1. GPS izmera za pridobitev elipsoidnih višin na vseh EUVN točkah,
2. Nivelmanska in gravimetrična izmera EUVN točk z navezavo na vozliščne točke UELN. Tako pridobimo fizikalne višine za vse EUVN točke,
3. Spremljanje spreminjanja nivoja morja z mareografi.

Tako so vsem EUVN točkam določene tridimenzionalne koordinate v ETRS89 ter geopotencialne kote. EUVN predstavlja geometrično-fizikalni referenčni sestav za Evropo. Poleg geopotencialnih kot so vsem točkam določene normalne višine H^N , ki se nanašajo na sistem GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*), dobimo pa jih tako, da geopotencialno koto delimo z normalnim težnostnim pospeškom (glej enačbo 1) [<http://evrs.leipzig.ifag.de/>]:

$$\gamma = \gamma_0 - \frac{0,3086[mGal/m] \cdot h}{2} + \frac{0,072 \cdot 10^{-6}[mGal/m^2] \cdot h^2}{2}. \quad (1)$$



Slika 3: Evropska višinska referenčna mreža - EUVN
[<http://evrs.leipzig.ifag.de/Relations.html>]

Skupno je v EUVN vključeno 196 točk: 66 EUREF in 13 permanentnih opazovalnic, 54 UELN in UPLN (*United Precise Levelling Network of Central and Eastern Europe*) točk ter 63 mareografov. EUVN predstavlja osnovo pri vzpostavitvi geokinematičnega referenčnega sistema, ki je definiran kot EVS 2000 (European Vertical System). V UELN - 98 je bilo vključenih 3063 vozliščnih točk, ki so bile navezane na referenčno točko v Amsterdamu NAP (*Normal Amsterdams Peil*). Tako so bile na voljo normalne višine za več kot 20 držav, ki so posredovale podatke za vključitev v UELN-95/98.

Na zasedanju v Pragi (1999) so sprejeli koncept integrirane kinematične višinske mreže na območju Evrope, ki ga je predlagala delovna skupina EVS (European Vertical System) in temelji na podatkih izmer permanentnih GPS postaj, ponovljenih nivelmanskih izmerah, mareografskih opazovanjih in ponovljenih absolutnih gravimetričnih izmerah. Omenjeni kinematični pristop je nadomestilo za statični višinski sistem, ki je določen z UELN – 95 in EUVN mrežo (*Resolution 5, Praga 1999*).

V Tromsu (2000) so priporočili, da geoidne višine, ki so določene na osnovi GPS in nivelirane mreže EUVN, uporabijo za določitev evropskega geoida. Poleg tega so članice pozvali, da posredujejo podatke o mareografskih opazovanjih in zgostijo mrežo EUVN točk (*Resolution 3, Tromsø 2000*).

Z zahtevami po enotnem višinskem sistemu v Evropi in povpraševanjem po teh podatkih, je podkomisija mednarodne organizacije EUREF oblikovala osnutek o realizaciji EVRS, ki je bil predstavljen na EUREF konferenci v Tromsu (*Resolution 5, Tromsø 2000*), kjer je bil Evropski višinski referenčni sistem EVRS definiran na sledeči način:

1. Vertikalni datum je ničelna nivojska ploskev, v kateri je težnostni potencial Zemlje W_0 enak normalnemu potencialu U_0 srednjega elipsoida Zemlje:

$$W_0 = U_0$$

2. Višine točk so podane z razlikami težnostnega potenciala ΔW_P med točko obravnave P , in ničelno nivojsko ploskvijo sistema EVRS. Razlika potencialov $-\Delta W_P$ se imenuje tudi geopotencialna kota C_P .

$$-\Delta W_P = W_0 - W_P = C_P$$

Normalne višine so ekvivalentne geopotencialnim kotam.

3. Glede obravnave plimovanja čvrste zemlje je EVRS t.i. "zero tidal system", kar pomeni, da so pri meritvah težnosti odstranjeni direktni privlačni učinki Sonca in Lune, vendar je ohranjen posredni privlačni učinek, ki je posledica elastičnosti Zemlje.

Realizacija EVRS je znana pod imenom EVRF2000 sestav, predstavljajo ga vozliščne točke UELN95/98, ki je razširjen v Estonijo, Latvijo, Litvo in Romunijo; točkam so določene geopotencialne kote in normalne višine, ki se nanašajo na referenčno točko v Amsterdamu (NAP; $C_{NAP} = 0$). Normalne višine se nanašajo na elipsoid GRS80, geodetski datum EVRF2000 pa predstavlja referenčna točka v Amsterdamu EVRS 000A2530/13600¹ z vrednostjo absolutnega težnostnega pospeška v sistemu IGSN71 $g = 9,81277935 \text{ ms}^{-2}$ oziroma geopotencialno koto v UELN95/98 sistemu $C_P = 70259 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ (Mäkinen, 2004).

¹ Številka v UELN

Na simpoziju v Dubrovniku so sprejeli priporočilo, da so nivelmanski podatki skladni z definicijo EVRS in sklepom 16, ki so ga sprejeli na srečanju IAG leta 1983 (*Resolution 3, Dubrovnik 2001*). Na osnovi EUVN točk, ki so navezane na UELN mrežo so predlagali določitev evropskega geoida decimetrsk natančnosti, ki bo skladen z ETRS89 in EVRS (*Resolution 4, Dubrovnik 2001*).

V Ponta Delgadi so ugotovili, da je za terestrične referenčne sisteme, ki predstavljajo osnovo za geoznanosti in tudi praktično uporabo, zelo pomembna dolgotrajna stabilnost in visoka natančnost 10^{-9} , ki jo lahko zagotovimo s kombinacijo geodetskih in gravimetričnih izmer. Podprli so predlog o vzpostavitvi Evropske kombinirane geodetske mreže (ECGN – European Combined Geodetic Network) in prosili podkomisijo za Evropo Mednarodne komisije za gravimetrijo in geoid (IGGC – International Gravity and Geoid Commission) da se vključi in Mednarodno hidrografska organizacijo (IHO – International Hydrographic Organisation), da podpre predlog v delu, ki se nanaša na mareografska opazovanja (*Resolution 2, Ponta Delgada 2002*).

V Toledu so potrdili vseevropska referenčna sistema ETRS89 in EVRS, kot osnovo za geodetske referenčne podatke, ki so del evropskih prostorskih infrastrukturnih podatkov. Glede na potrebo po transformacije geografskih podatkov iz nacionalnih referenčnih sistemov v vseevropske referenčne sisteme z najvišjo možno natančnostjo, so podprli predlog o razširitvi EUREF/EuroGeographics informacijskega sistema s podatki o višinskem sistemu in gravimetričnimi podatki. Tako bi lahko realizirali Geodetski informacijski in servisni sistem (*Resolution 3, Toledo 2003*).

Na konferenci v Bratislavi so razpravljali o Svetovnem višinskem sistemu (WHS – World Height System), ki bi ga bilo možno realizirati na osnovi definicije EVRS, ki je bila sprejeta na EUREF konferenci leta 2000 in napredka globalnih gravitacijskih modelov. Zaradi iniciative o vzpostavitvi evropskih prostorskih infrastrukturnih podatkov (ESDI – European Spatial Data Infrastructure) v okviru projekta INSPIRE in evropskega globalnega monitoringa okolja in varnosti (GMES – European Global Monitoring for Environment and Security), so tehnični delovni skupini naložili nalogo, da pripravi tehnične specifikacije za nov evropski vertikalni referenčni sestav (EVRF – European Vertical Reference Frame), ki bi bil na voljo leta 2006 (*Resolution 3, Bratislava 2004*).

Glede na potrebo po novi realizaciji EVRS so na Dunaju članice zaprosili, da posredujejo vse podatke o novih nivelmanskih izmerah za potrebe realizacije UELN2006 in podatke o nacionalnih višinskih referenčnih sistemih in podatke za točke ECGN, ki bi jih uporabili pri vzpostavitvi EVRS (*Resolution 3, Dunaj 2005*).

V Londonu so ponovno ugotovili, da obstaja potreba po vseevropskem višinskem sistemu, za potrebe ureditve geografskih podatkov, ki bi ga lahko vzpostavili na osnovi posredovanih novih podatkov posameznih članic in na osnovi tehničnih specifikacij, ki jih bo pripravila delovna skupina in realizirali kot EVRS oziroma EVRF 2007 (*Resolution 3, London 2007*).

Glede na razvoj in realizacije Evropskega višinskega sistema, ki ga lahko razberemo iz sprejetih resolucij na EUREF konferencah, lahko vidimo, da se je evropski višinski sistem razvijal postopno od:

a) Statičnega pristopa

UELN-95 je fizikalno definiran višinski sistem, z ničelno točko v Amsterdamu in natančnostjo 0,1 m; zadnja realizacija sistema je UELN-95/98; EUVN97 je elipsoidni višinski sistem z natančnostjo 0,01 m; sistem je bil realiziran z GPS izmero leta 1997.4, rezultati pa so podani v ITRF96 in ETRS89. Višine se navezujejo na referenčno točko, določeno z opazovanji gladine morja.

b) H kinematičnemu pristopu

EVRS 2000 – sami začetki segajo že v leto 1996, ko je bil na konferenci v Ankari sprejet sklep (*Resolution 4, Ankara 1996*) o razvoju kontinentalnega kinematičnega referenčnega višinskega sistema s centimetrsko natančnostjo, ob upoštevanju vseh podatkov, ki bi pripomogli k realizaciji projekta: ponovne nivelmanske izmere, GPS, gravimetrične meritve, opazovanja srednjega nivoja morja na različnih mareografih. Statični pristop je bil nadomeščen s kinematičnim pristopom v Pragi leta 1999.

V zvezi z uvajanjem novega višinskega sistema v Sloveniji, so predvsem pomembne resolucije, ki jih lahko uporabimo, kot smernice pri uvajanju novega višinskega sistema in so bile sprejete:

- 1996, Ankara: Izvedba GPS izmere leta 1997 za potrebe EUVN (točke določene z nivelmansko, gravimetrično in GPS izmero),
- 2000, Tromsø: Definicija EVRS in potreba po zgostitvi EUVN točk, za potrebe določitve geoida,
- 2001, Dubrovnik: Evropski geoid bo določen na osnovi EUVN točk,
- 2003, Toledo: ETRS89 in EVRS predstavljata horizontalno in višinsko komponento evropskega referenčnega sistema ESRS (European Spatial Reference System).

3.1.3 Aktivnosti nekaterih držav v zvezi z višinskim sistemom

Glede na sprejete EUREF resolucije in priporočila, tudi v drugih evropskih državah potekajo aktivnosti v zvezi z uvajanjem novih višinskih sistemov. Skandinavske države imajo posebno geodetsko komisijo, ki se ukvarja z vzpostavitvijo višinskega sistema v Skandinaviji, določitve povezave z EVRS2000 in INSPIRE GIS standardi (Mäkinen et al., EUREF 2003).

a) NORVEŠKA

Star višinski sistem z oznako NN1954, ki je bil definiran na osnovi opazovanj med leti 1916 do 1954, so nadomestili z novim višinskim sistemom NN2000. Novi višinski sistem je določen na osnovi izmer nivelmanske mreže, ki so bile izvedene med leti 1916-1980 (precizni nivelir z libelami), 1980-1996 (precizni nivelir s kompenzatorjem, motorizirani nivelman), 1997-2007 (digitalni nivelir DiNi12). V nivelmanski mreži je stabilizirano 17.000 reperjev, ki so povezani z nivelmanskimi linijami skupne dolžine približno 10.000 km. Stare merjene višinske razlike popravijo za vrednosti vertikalnih premikov, saj le ti znašajo do 5 mm/leto. Vzroki za uvedbo novega višinskega sistema so:

- geodinamika,
- odstopanja med nivelmanskimi mrežami Švedske in Finske,
- nekonsistentnost med niveliranimi višinami in trigonometrično mrežo,
- stare višine niso določene ne v ortometričnem ne v normalnem sistemu višin.

Za nov višinski sistem NN2000 bodo uporabili:

- normalne višine,
- vertikalni datum EUVN (Amsterdam),
- obdobje določitve vertikalnega datuma je leto 2000.

Razlika med novim in starim višinskim sistemom znaša od +35 do -10 cm. Tako velika sprememba višin ob prehodu na nov višinski sistem, povzroči tudi probleme s predstavitvijo višin (plastnice) na kartah večjih meri. Rešitev za ta problem poskušajo poiskati z dvema testnima projektoma, ki trenutno potekata:

1. plastnice označene z dvema barvama (nov in star sistem),
2. uporaba laserskega skeniranja, ki bi omogočilo rekonstrukcijo novih višin (predvidoma v obdobju 10 let).

Nivelmansko izmero izvajajo vsako leto (norveška ekipa 350 – 400 km na leto in najeta švedska 150 km) predvsem na območjih, kjer je izrazita geodinamika. Podatke o ponovnih izmerah na teh območjih uporabijo za izboljšanje modela vertikalnih premikov, s katerim popravijo stare merjene višinske razlike.

Za potrebe določitve geopotencialnih kot, so gravimetrične meritve na reperjih izvajali do leta 1996. Tako imajo težnostni pospešek izmerjen na približno 70 – 80 % reper-

jev 1. reda. Danes meritev ne izvajajo več, saj težnostni pospešek določijo z interpolacijo iz obstoječih podatkov (modela težnostnega pospeška, ki je izdelan za celo državo).

Za potrebe vpetja geoida v višinski sistem, so uporabili 2500 točk, ki so bile vključene v višinsko mrežo in GPS izmero. Točke so določene na 2 do 3 km vzdolž nivelmanskih linij oziroma na povprečni razdalji 40 km, za točke, ki niso istočasno vključene v nivelmansko mrežo. GPS meritve na reperjih so se izvajale s približno 2 urnimi opazovanji s statično metodo (z natančnostjo 1-2 cm).

Natančnost višinskega modela je odvisna od oddaljenosti GPS-nivelirane točke. Glede na njihove izkušnje velja:

- <10 km → 25 mm
- 15 km → 50 mm
- 20 km → 100 mm
- 30 km → 200 mm

b) ŠVEDSKA (Nacionalno EUREF poročilo 2004)

V obdobju od 1979 do 2003 so zaključili tretjo izmero preciznega nivelmana. V višinsko mrežo je vključeno 50.000 točk, ki so povezane z nivelmanskimi linijami skupne dolžine 50.000 km.

Novi višinski sistem (RH2000) bo sledil smernicam, ki so bile postavljene z uvedbo EVRS2000. Na osnovi treh opravljenih izmer bodo pripravili model vertikalnih premikov, ki ga bodo uporabili za popravljanje merjenih višinskih razlik. Vertikalni datum bo definiran z navezavo na EVRS (Amsterdam). V izravnavo bodo vključeni tudi podatki o izmerah nivelmanskih mrež na Norveškem in Finskem, ter pribaltske države (Litva, Latvija in Estonija so nivelmansko izmero zaključile 2005). Skupna izravnava nivelmanske mreže skandinavskih in baltskih držav bo odpravila odstopanja v višinah točk na mejnih območjih posameznih držav in bo omogočala izvajanje geodetskih del visoke natančnosti brez transformacij podatkov na mejnih območjih. Razlike med starim in novim sistemom bodo znašale od -2 do 7 cm (Mäkinen et al., EUREF 2003).

c) FINSKA (Nacionalno EUREF poročilo 2006)

Na območju Finske so tretjo izmero nivelmanske mreže zaključili leta 2004. Stari višinski sistem N60 bodo nadomestili z novim, ki ga bodo imenovali N2000. Ker bodo višine določene s skupno izravnavo nivelmanskih mrež skandinavskih in pribaltskih držav, so osnovne značilnosti višinskega sistema podobne, kot v ostalih državah:

- Vertikalni datum bo sovpadal z datumom evropskega višinskega sistema
- Višine bodo določene v višinskem sistemu normalnih višin
- Razlike med starim in novim višinskim sistemom se bodo gibale med 20 in 42 cm.

d) NIZOZEMSKA (Nacionalno EUREF poročilo 2007)

Leta 2006 so zaključili izmero nivelmanske mreže II. reda, s skupno dolžino nivelmanskih linij 30.000 km. Podatke o 5. precizni nivelmanski izmeri, ki je potekala med leti 1997 in 1999, so bili poslani v Leipzig, za potrebe izračuna UELN 2005. Nizozemska je v EUVN mrežo vključena s 15 permanentnimi GPS postajami.

e) NEMČIJA (Nacionalno EUREF poročilo 2002)

Zaradi združitve Vzhodne in Zahodne Nemčije, sta bila na območju združene Nemčije do leta 1990 v uporabi dva višinska sistema:

- normalne-ortometrične višine (Zahodna Nemčija)
- normalne višine z izhodiščem v Kronstadtu (Vzhodna Nemčija).

Po letu 1990 so uvedli nov višinski sistem: DHHN92, ki je bil realiziran januarja 2002. Višine so bile izračunane v višinskem sistemu normalnih višin (Molodensky) v vertikalnem datumu EUVN (Amsterdam). Razlike med novimi višinami in višinami prejšnjih dveh sistemov so znašale tudi do nekaj decimetrov.

Za potrebe uporabe GPS višinomerstva so leta 1993 pričeli z določanjem kvazigeoida, ki je definiran na osnovi sledečih podatkov:

- kvazigeoidne višine so določene z GPS in Nivelmansko izmero 650 točk ($\sigma = 1,05$ cm),
- anomalije težnosti, pridobljene z gravimetričnimi meritvami na 250.000 gravimetričnih točkah ($\sigma = 1$ mGal),
- digitalni model reliefa, 30x30 m,
- geopotencialni model EGM96.

Končni rezultat je model kvazigeoida s standardnimi odkloni:

- v ravnini 1 cm,
- v hribovitem svetu 2 cm,
- v visokogorju 4 cm.

f) POLJSKA

Na Poljskem so pričeli s 4. izmero precizne nivelmanske mreže leta 1999 in jo zaključili leta 2003. V tem času so izmerili 17.500 km nivelmanskih linij. Prav tako so izvedli gravimetrično in GPS izmero za potrebe določitve kvazigeoidnih višin.

g) ŠVICA (Nacionalno EUREF poročilo 2005)

Posodobili so več kot 100 let staro višinsko mrežo in prešli iz starega višinskega sistema LN02 v novi sistem LHN95. Višine so določene v višinskem sistemu ortometričnih višin, ki je tesno povezan z gravimetrično mrežo. Izdelali so tudi program HTRANS za transformacijo med LHN95 in LN02. Poleg tega imajo program za transformacijo iz nacionalnega višinskega sistema v evropski višinski sistem.

V naslednjih letih načrtujejo ponovno izmero absolutne in relativne gravimetrične mreže, ter povezavo z gravimetričnimi mrežami Nemčije, Avstrije in Italije. Po izmeri bo mreža ponovno izravnana, rezultati bodo zbrani v bazi, ki bo dostopna javnosti. Leta 2004 in 2005 so bila izvedena tudi absolutna gravimetrična opazovanja na fundamentalni postaji Zimmerwald.

Novi nacionalni model geoida Švice - CHGeo2004 je bil dokončan marca 2005. Določen je na osnovi sledečih podatkov:

- gravimetrična opazovanja,
- odkloni navpičnice,
- GPS višine.

Poleg standardnih modelov (topografije in globalni geopotencialni model) je bil za redukcijo opazovanj uporabljen tudi enostaven 3D model gostote Zemljine skorje. Uradni model geoida CHGeo2004 je vpet v novo višinsko mrežoLHN95 natančnosti $\sigma = 2-3$ cm. Tako je možno določiti višine točk z GNSS višinomerstvom z nekaj centimetrsko točnostjo. Za potrebe primerjave in izmenjave podatkov s sosednjimi državami je bil določen tudi kvazigeoid.

h) AVSTRIJA (Predstavitev na EUREF 2003)

V Avstriji so se odločili, da uvedejo ortometrični višinski sistem, v vertikalnem datumu EUVN (Amsterdam). Ortometrični višinski sistem uvajajo na osnovi podatkov o gostoti zemeljske skorje, ki jo potrebujemo pri izračunu težnostnega pospeška vzdolž težiščnice. Razlike med starim in novim višinskim sistemom znašajo od -8 (na višini 2580 m) do 48 cm (na višini 150 m). Nastale razlike so posledica spremembe vertikalnega datuma (Trst - Amsterdam) približno 30 cm, uvedbe novega višinskega sistema namesto starih normalnih ortometričnih višin (približno 10 cm/1000 m višinske razlike), geodinamike (od 5 do 10 cm) in izravnave geopotencialnih razlik. Način transformacije iz novih ortometričnih višin v normalne višine, ki so v uporabi v EVRS2000, še ni določen. Za stare normalne ortometrične višine uporabljajo za transformacijo v EVRS2000 enostavno linearno enačbo, ki zagotavlja boljšo natančnost prehoda od 4 cm.

i) FRANCIJA (Nacionalno EUREF poročilo 2007)

V Franciji poteka nivelmanska izmera NIREF mreže, ki so jo izmerili leta 2006. Skupna dolžina izmerjenih nivelmanskih linij znaša 4120 km. Razlogi za ponovno nivelmansko izmero so raziskave in poenotenje vertikalnega referenčnega sistema. Poleg tega bodo rezultati uporabljeni za spremljanje geodinamike na območju Francije in za spremljanje spreminjanja nivoja morij. Podatke bodo uporabili tudi za vključevanje v UELN in EUVN. Podatke o težnostnem pospešku na reperjih bodo pridobili z interpolacijo in višine bodo določene v višinskem sistemu normalnih višin. Rezultate izmere bodo uporabili za primerjavo s starim višinskim sistemom (IGN69), vklop geoida na osnovi nivelmanske in GPS izmere.

j) ŠPANIJA (Nacionalno EUREF poročilo 2003)

Od leta 2001 teče projekt REDNAP, katerega cilj je vzpostavitev nove precizne nivelmanske mreže, ki bi nadomestila obstoječo, zdaj že dotrajano mrežo. Leta 2001 in 2002 so stabilizirali reperje v SV Španiji in v regijah (Cantabria, Basque Country, Castilla y León, Madrid, Castilla-La Mancha, Aragón in Valencia), kjer je bilo stabiliziranih 2500 reperjev. Leta 2003 so pričeli z izmero nove nivelmanske mreže, na kateri izvajajo tudi GPS in gravimetrična opazovanja. Projekt naj bi se zaključil 2008.

k) PORTUGALSKA (Nacionalno EUREF poročilo 2004)

Na Portugalskem so leta 2003 obnovili dva mareografa v mestih Cascais and Lagos. Poleg tega so v mestih Gaia in Mértola ponovili absolutno gravimetrično izmero, ki je bila predhodno izvedena leta 1994. Poleg tega so absolutno gravimetrično izmero izvedli v mestu Cascais. Absolutna gravimetrična točka je stabilizirana v stavbi, na kateri se nahaja permanentna GPS postaja in je v bližini mareografa.

V relativno gravimetrično mrežo Portugalske je vključeno več kot 6500 točk z gostoto 1 točka/25 km².

V letih 1970 do 1980 so bile na 120 točkah izvedene tudi astronomske meritve, ki jih bodo uporabili za določitev geoida.

Iz zgoraj navedenih podatkov je jasno, da v večini evropskih držav potekajo nove nivelmanske izmere, poleg tega izvajajo na posameznih točkah tudi gravimetrične in GPS izmere. Osnovni cilj je pridobiti podatke za kvalitetno vpetje kvazigeoida v višinsko mrežo, ki v končni fazi omogoča uporabo GPS višinomerstva z nekaj centimetrovsko natančnostjo v praksi. Vse izmere, ki se izvajajo so v skladu z resolucijami in priporočili, ki so bile sprejete na EUREF konferencah in se nanašajo na višinski sistem.

3.1.4 Razlogi in namen uvajanja novega višinskega sistema v Sloveniji

Razloge za uvajanje novega višinskega sistema lahko najdemo v:

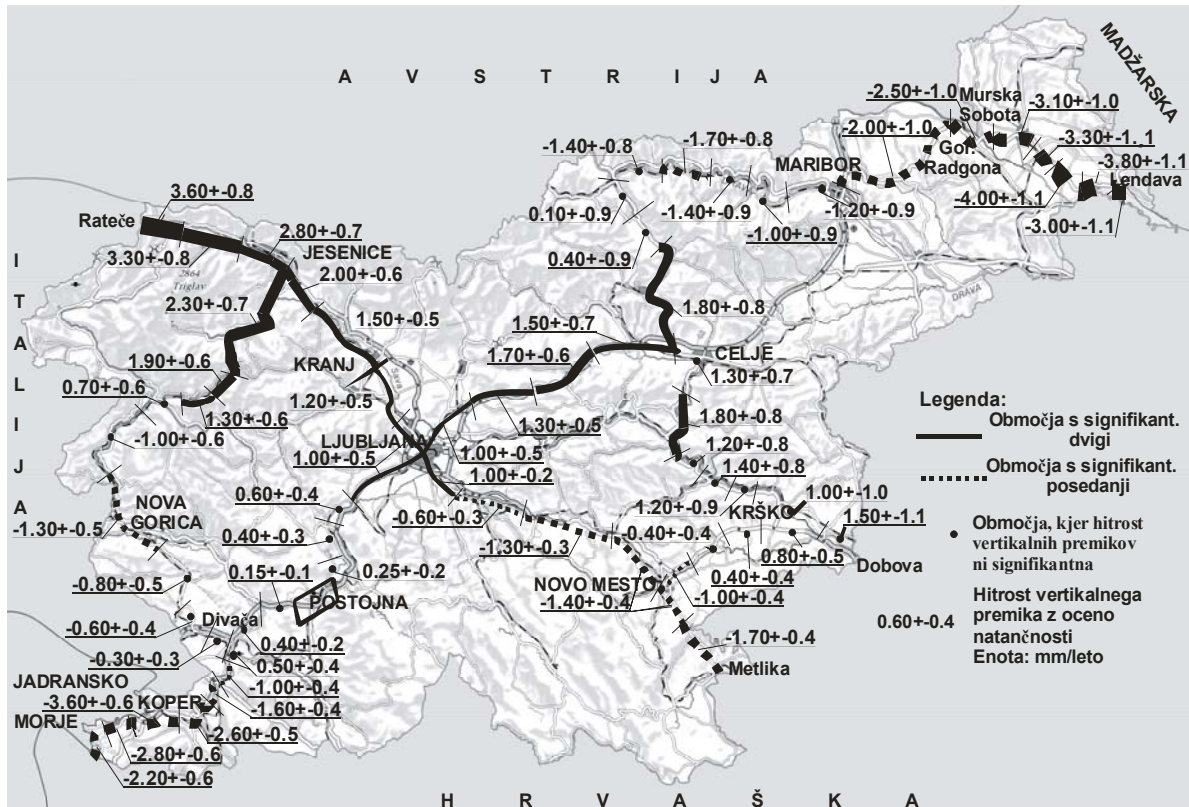
a) Nivelmanski mreži Slovenije

Trenutno je nivelmanska mreža Slovenije, določena na osnovi zelo raznovrstnih podatkov. Tako so v nivelmansko mrežo vključeni nivelmanski poligon iz izmere I. NVN, ki je potekala po drugi svetovni vojni, iz izmere II. NVN, ki je potekala na območju Slovenije v začetku sedemdesetih in izmere nivelmanskih poligonov I. reda, ki so potekale po letu 1989.

b) Geodinamiki na območju Slovenije

Zavedati se moramo, da je na območju Slovenije prisotno intenzivno geodinamično dogajanje, ki se kaže tudi v relativno velikih letnih hitrostih vertikalnih

premikov (slika 4). Glede na dejstvo, da osnovo nivelmanske mreže Slovenije, predstavljajo nivelmanski poligoni, ki so bili izmerjeni pred skoraj 20, 35 oziroma 45 leti, je jasno, da obstajajo razlike med dejanskimi višinami reperjev na terenu in podatki iz Centralne baze geodetskih točk. Glede na hitrosti vertikalnih premikov na območju Slovenije, ki so določene na osnovi izmere I. in II. NVN ter izmer po letu 1989, lahko te razlike znašajo od centimetra pa do več kot decimetra.



Slika 4: Hitrosti vertikalnih premikov (mm/leto) na območju Republike Slovenije

c) Obstoječem višinskem sistemu Slovenije

Temeljna geodetska višinska mreža Republike Slovenije je podana z višinami reperjev v normalnem ortometričnem sistemu višin, ki niso določene na osnovi nivelmanske in gravimetrične izmere, ki predstavljata osnovo za vzpostavitev sodobnega višinskega sistema.

d) Višine so podane glede na ničelno nivojsko ploskev

V sistemu normalnih ortometričnih višin ne obstaja geometrijska izhodiščna ploskev kot v primeru ortometričnih višin (geoid) in normalnih višin (kvazigeoid) (preglednica 1). Referenčno ploskev predstavlja ničelna nivojska ploskev, ki jo geometrijsko določa položaj vseh točk, ki so določene v normalnih ortometričnih višinah na ozemlju Slovenije. Ploskve se ne da izračunati s pomočjo enačb. Aproximiramo jo lahko samo z neko analitično ploskvijo izračunano na osnovi

velikega števila točk z znano elipsoidno višino (GNSS izmera) in normalno ortometrično višino.

c) Razvoj GNSS izmere

Glede na razvoj in prodor metode GNSS izmere v prakso, ter potrebe po GNSS višinomerstvu, ni možno določiti geoidne/kvazigeoidne višine, ki nam omogoča preračunavanje elipsoidnih višin v različne višinske sisteme z visoko natančnostjo (slika 2).

e) Vključevanje v EVRS

Za zagotovitev homogenosti podatkov na območju Evrope, za katere je pomembna tudi višinska komponenta (navigacija, GIS), je potrebno uskladiti tudi nacionalne vertikalne sisteme z evropskim vertikalnim referenčnim sistemom EVRS (European Vertical Reference System). Kot posledica uspešne izvedbe vse evropskih višinskih projektov UELN (United European Levelling Network) in EUVN (European Vertical GPS Reference Network), je komisija EUREF sprejela EVRS (European Vertical Reference System) kot evropski fizikalni višinski sistem.

f) Upoštevanje priporočil EUREF komisije in direktive INSPIRE, ki predpostavlja, da osnovo prostorskim podatkov predstavlja evropski koordinatni sistem

S postopnim uvajanjem novega horizontalnega koordinatnega sistema ETRS89 v Sloveniji, bomo uspešno sledili priporočilom EUREF komisije in ostalim evropskim državam in nadomestili stari neustreznost koordinatni sistem s sodobnim, ki zagotavlja nemoteno uporabo GNSS izmere v praksi in ustrezno natančnost določitve položajnih koordinat točk. Podobno stanje bo potrebno doseči tudi pri višinskem sistemu.

Osnovni namen uvajanja novega višinskega sistema v Sloveniji, je zagotoviti ustrezno kvalitetno osnovo za izvedbo GNSS višinomerstva ustrezne natančnosti v praksi. Kvalitetno osnovo predstavljajo podatki o nivelmanski in gravimetrični izmeri višinske mreže Slovenije. Novi višinski sistem mora biti določen na osnovi geopotencialnih kot. Ker so ortometrične višine določene na osnovi težnostnega pospeška in predpostavk o porazdelitvi mas v notranjosti Zemlje, ki je lahko določena na osnovi kvalitetnih modelov gostote zemeljske skorje, ki jih v Sloveniji trenutno nimamo, je smiselno razmišljati o uvedbi normalnih višin. V evropski višinski mreži so višine točk prav tako določene v sistemu normalnih višin. Omenjeni sistem prevladuje tudi pri uvajanju novih višinskih sistemov v ostalih evropskih državah.

Za potrebe določitve geoidne višine oziroma kvazigeoidne višine, je potrebno na točkah izvesti tudi izmero GNSS. Seveda je zaželeno, da so vsi potrebni podatki za posamezno točko določeni v istem času oziroma z malim časovnim zamikom.

Z uvedbo novega višinskega sistema v Sloveniji, bomo zagotovili tudi ustrezno vključevanje v EVRS in skupaj z že delno uvedenim horizontalnim koordinatnim sistemom vzpostavili nov koordinatni sistem, ki bo del evropskega prostorskega referenčnega sistema - ESRS (European Spatial Reference System). Poti, ki vodijo do zastavljenega cilja, pa so seveda različne.

3.1.4.1 Uvedba novega višinskega sistema na osnovi obstoječih podatkov

Pri uvedbi sodobnega višinskega sistema na osnovi obstoječih podatkov, predstavlja velik problem raznolikost podatkov, ki so združeni v nivelmanski mreži Slovenije in vertikalni premiki, ki so prisotni na območju Slovenije. Naslednji problem predstavljajo podatki o gravimetričnih in izmerah GNSS na višinskih točkah. Tako za gravimetrično izmero, ki je bila izvedena v okviru izmere II. NVN, ne vemo, kako so bile meritve izvajane, kateri popravki so bili upoštevani in kakšna je kvaliteta izvedenih gravimetričnih meritev. Poleg tega nam manjkajo podatki o gravimetričnih izmerah na nivelmanskimi poligonih, ki so bili nivelirani po letu 1980 in so vključeni v današnjo nivelmansko mrežo na območju Slovenije. Torej, če predpostavimo, da bi lahko z gravimetrično izmero pridobili manjkajoče podatke za vzpostavitev sodobnega višinskega sistema, ki bi obstoječe višine točk v Centralni bazi geodetskih točk spremenil v velikostnem redu nekaj desetih milimetra ali milimetra samega, je to glede na velikost vertikalnih premikov povsem brezpredmetno.

Dejstvo, je da na osnovi obstoječih podatkov nima smisla razmišljati o uvedbi novega višinskega sistema, saj bi to predstavljalo nepotreben strošek, pri uporabnikih pa bi vzbudili lažno prepričanje, da so višinske mreže, ki so stabilizirane na območju Slovenije sodobne, kvalitetne in zanesljive. Kvalitetne in zanesljive nivelmanske mreže, v sodobnem višinskem sistemu, lahko na območju Slovenije vzpostavimo le na osnovi nove nivelmanske in gravimetrične izmere.

3.1.4.2 Uvedba novega višinskega sistema na osnovi nove nivelmanske in gravimetrične izmere

Zaradi pomislekov, ki so prisotni pri uvedbi novega višinskega sistema na osnovi obstoječih podatkov in ker Slovenija zaradi intenzivnega geodinamičnega dogajanja ni »stabilna«, je smiselno razmišljati samo o novi nivelmanski in gravimetrični izmeri. Za prehod na nov višinski sistem je bil izdelan predlog nove nivelmanske mreže Republike Slovenije in osnutek pravilnika nivelmanske izmere (Razvoj OGS 2006-Prehod na nov koordinatni sistem-Končno poročilo).

V projektirani novi nivelmanski mreži R Slovenije znaša skupna dolžina nivelmanskih zank 2456 km in dolžina nivelmanskih poligonov 1931 km. Pri novi izmeri nivelmanske mreže Slovenije je potrebno poskrbeti za sočasno nivelmansko in gravimetrično izmero. Poleg tega je potrebno izvesti tudi gravimetrično izmero na vseh nivelmanskih poligonih 1. reda, ki so bili nivelirani v zadnjem obdobju. Pri tem upoštevamo, da je potrebno gravimetrično izmero najprej izvesti na »mlajših« in kasneje na »starejših« nivelmanskih poligonih. Kvalitetno osnovo za izvedbo gravimetrične izmere, za potrebe uvedbe novega višinskega sistema, nam predstavlja osnovna gravimetrična mreža Slovenije. Nova osnovna gravimetrična mreža je sestavljena iz gravimetrične mreže 0. reda (6 točk) in gravimetrične mreže 1. reda (29 točk), ki je bila izmerjena konec leta 2006. V izmero so vključene tudi točke onstran meja Slovenije: ekscenter avstrijske absolutne točke in štiri hrvaške relativne gravimetrične točke. Tako je bila dosežena večja homogenost naše gravimetrične mreže, poleg tega pa je mreža navezana na gravimetrične mreže sosednjih držav (Avstrija in Hrvaška).

3.1.5 Višinski datum nivelmanske mreže Slovenije

Za določitev nadmorskih višin točk je zelo pomembno, da je predhodno določena primerjalna ploskev, od katere računamo nadmorske višine točk. Tako je vertikalni datum nivelmanske mreže podan s srednjim nivojem morja v določenem obdobju, ki je definiran kot ničelna nivojska ploskev. Srednji nivo morja je določen na osnovi rezultatov dolgoletnih opazovanj nihanj nivoja morja z mareografi, ki ga predstavlja aritmetična sredina nivoja morja, na eni točki morske obale v daljšem časovnem obdobju.

Višine vseh reperjev v slovenski nivelmanski mreži so izračunane v vertikalnem datumu Trst. Vertikalni datum predstavlja ničelna nivojska ploskev oziroma srednji nivo morja, ki je bil določen leta 1875 na osnovi enoletnih mareografskih opazovanj na pomolu Sartorio v Trstu. Nivelmanska mreža Republike Slovenije je navezana na avstro-ogrski fundamentalni reper številka No 394 (FR 1049), ki je stabiliziran pod Pohorjem v bližini Ruš. Višina normalnega reperja je bila določena v času avstro-ogrške nivelmanske izmere, ki je potekala na območju Slovenije. Glede spremembe obstoječega vertikalnega datuma nivelmanske mreže Slovenije (Trst) imamo več možnosti:

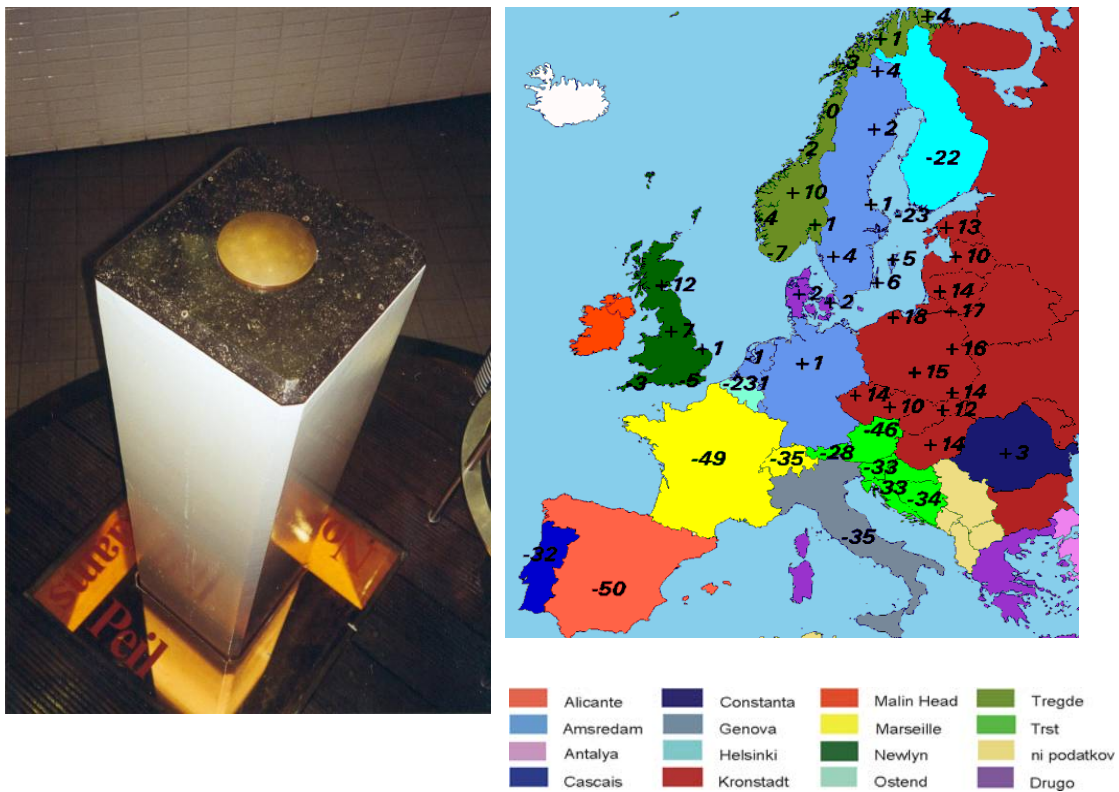
3.1.5.1 Nacionalni višinski datum

Agencija RS za okolje – ARSO je v okviru evropskega projekta FP5 ESEAS–RI (Framework Programme 5 European Sea Level Service – Research Infrastructure) in nacionalnega projekta posodobitve hidrološke mreže prenovila in nadgradila mareografsko postajo Koper. Namen projekta je vzpostavitev infrastrukture za izvajanje sodobnih standardiziranih mareografskih in drugih opazovanj v okviru Evropske službe za spremljanje višine morja ESEAS.

V Kopru je bila tako konec leta 2005 postavljena nova mareografska postaja (v nadaljnjem besedilu: MP), ki ustreza mednarodnim standardom in zahtevam za registracijo in dolgoročno spremljanje nivoja morja. Geodetska izmera MP Koper je bila izvedena po priporočilih medvladne oceanografske komisije IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (Manual on Sea level Measurement and Interpretation, 1985, 1994, 2002). Med drugimi priporočili IOC je posebej pomembna nedvoumna in kakovostna povezava opazovanj nivoja morja s terestričnimi koordinatnimi sistemi. Poleg tega mora biti referenčna točka MP lokalno stabilna oziroma moramo poznati njen premik v času, če želimo obravnavati MP kot geodetsko referenčno točko (točko omrežja SIGNAL ter točko višinskega sistema). Zato moramo spremljati horizontalno in višinsko stabilnost referenčne točke MP, ki jo lahko zagotovimo z izvedbo nivelmanske, gravimetrične, GPS in terestrične izmere MP Koper (Razvoj OGS 2006-Prehod na nov koordinatni sistem-Končno poročilo).

3.1.5.2 Višinski datum EUVN

Vertikalni datum Evropske nivelmanske mreže je določen z višino normalnega reperja v Amsterdamu – NAP (Normal Amsterdams Peil – slika 5). Nadmorske višine točk na območju Slovenije so po podatkih EVRS za približno 33 cm previsoke, glede na vertikalni datum EUVN, na osnovi primerjave na EUVN točkah, ki so izmerjene na območju Slovenije (preglednica 3), pa lahko vidimo, da je razlika približno 40 cm.



Slika 5: NAP in primerjava EUVN glede na nacionalne višinske datume [EVRS, 2007]

Na EUREF konferenci v Bratislava (2004) so razpravljali tudi o vzpostavitvi vertikalnega datuma svetovnega višinskega sistema – WHS (World Height System), ki je definiran na osnovi potenciala geoida ($W_0 = 62\,636\,856,0 \pm 0,5 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$). Primerjava NAP z WHS, ki je bila opravljena na osnovi globalnega geopotencialnega modela EGM96 (Earth Gravity Model 1996), elipsoidnih in normalnih višin na reperjih, je pokazala, da znaša razlika -11,0 cm (Burša et al., 1999).

Pri uvedbi novega vertikalnega datuma, bodo spremembe višin točk večje, kot v primeru uvedbe novega višinskega sistema. Kateri datum bo uveden je verjetno odvisno tudi od posledic, ki jih lahko povzročijo večje spremembe višin pri uporabnikih. Problem so tudi geodetski načrti večjih meril, kjer lahko večja sprememba vertikalnega datuma presega natančnost določitve višin točk iz načrta in povzroči probleme pri vključevanju podatkov z novimi višinami v obstoječe, ki so določene v starih višinah (ponovno generiranje plastnic!).

Jasno je, da uvedba sodobnega višinskega sistema predstavlja tudi možnost, da hkrati uvedemo tudi nov vertikalni datum višinskih mrež na območju Slovenije. Nacionalni vertikalni datum lahko zagotovimo na osnovi opazovanj spremljanja nivoja morja z sodobno mareografsko postajo, ki je postavljena v Kopru. Poznavanje nacionalnega vertikalnega datuma oziroma razlike, glede na nek drugi vertikalni datum, v katerem so določene višine na območju določene države, je pomembno tudi s stališča definiranja poplavnih linij priobalnih območij. Mareografska postaja Koper je nenazadnje pomembna tudi zaradi spremljanja spreminjanja nivoja morja, ki je posledica klimatskih sprememb. Vse skupaj je povezano tudi z ustreznim prostorskim načrtovanjem na območjih, ki so poplavno ogrožena zaradi visokih vodostajev morja.

Uvedba evropskega ali svetovnega vertikalnega datuma pa v končni fazi pomeni zagotavljanje enotnega višinskega datuma na širšem območju oziroma v EVRS, ki je predvsem pomembno za izmenjavo podatkov, kjer je pomembna tudi višinska komponenta (GIS) in navigacijo.

Na odločitev, kateri vertikalni datum uvesti, je odvisno tudi od razlike, ki bi nastala med starimi in novimi višinami. Če uvedemo vertikalni datum EUVN (Amsterdam), potem lahko pričakujemo, da bodo obstoječe višine točk nižje za približno 40 cm (preglednica 3). S praktičnega vidika to pomeni, da bodo vse točke, ki imajo trenutno višino enako/manjšo pričakovani razliki po uvedbi novega datuma imele višino 0/negativno. Glede na dejstvo, da naj bi bila nivelmanska izmera opravljena v 12 letih, ocenjujemo, da trenutno ni potrebe, da se odločimo, kateri vertikalni datum bomo uvedli. Da bi se kasneje lažje odločili predlagamo:

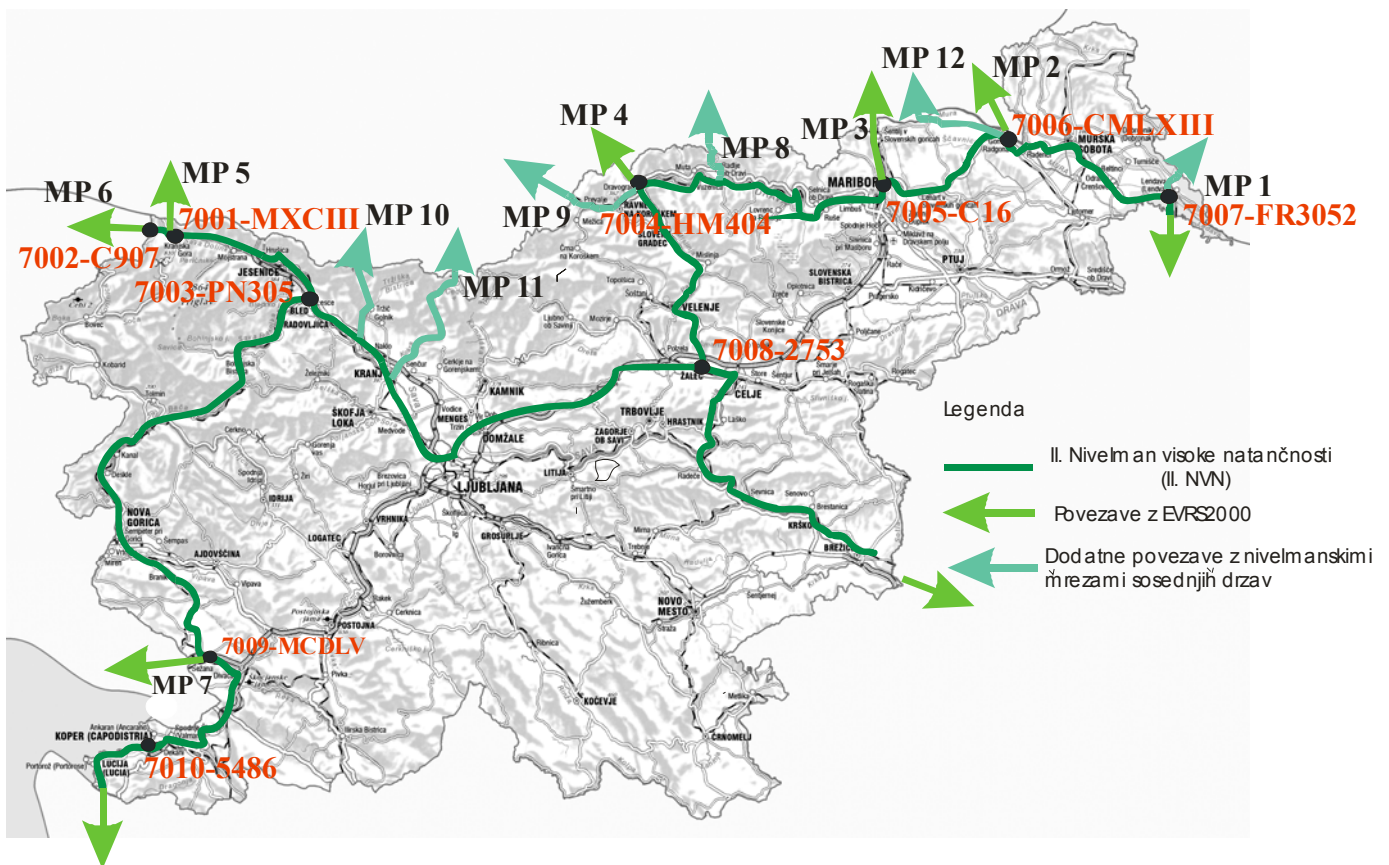
1. Da se na osnovi mareografskih opazovanj v Kopru določi dejanska sprememba srednjega nivoja morja v Kopru glede na »geodetsko ničlo«, ki je določena z vertikalnim datumom Trst. Tako bomo dobili oceno spremembe novih višin točk v nacionalnem vertikalnem datumu, glede na trenutno veljavne višine v vertikalnem datumu Trst.
2. Primerjamo spremembo višin točk glede na pričakovano razliko - 40 cm, če uvedemo vertikalni datum EUVN.
3. Na osnovi pričakovanih sprememb višin ob uvedbi nacionalnega ali EUVN vertikalnega datuma, analiziramo posledice, ki jih bo imela uvedba novega vertikalnega datuma, na detajlno geodetsko izmero oziroma že izdelane geodetske načrte in karte in vse podatke, ki vsebujejo višinsko komponento.
4. V primeru razlike, ki bo večja od natančnosti predstavitve višin na geodetskih načrtih večjih meril, bo potrebno izdelati navodila uporabnikom, kako uporabljati in združevati nove in stare geodetske načrte, ki se bodo razlikovali v višinski komponenti.
5. Poleg tega je potrebno preveriti količino podatkov, ki vsebujejo višinsko komponento in jih izmenjujemo znotraj Evropske skupnosti in bi morali biti določeni v vertikalnem datumu EUVN.

Ne glede na odločitev kateri vertikalni datum bomo uvedli, bomo morali za območje Slovenije določiti transformacijske parametre za prehod iz enega v drug vertikalni datum in v verjetno bo smiselno v Bazi geodetskih točk voditi podatke o nacionalni in EUVN višini reperja.

3.1.5.3 Povezovanje nivelmanske mreže s sosednjimi državami

Povezovanje nivelmanske mreže s sosednjimi državami je predvsem pomembno zaradi vključevanja nivelmanske mreže Republike Slovenije v EVRS2000. Poleg tega lahko določimo razlike v višinah na mejnih območjih, kar je seveda pomembno za izvedbo projektov, ki segajo preko meja države.

V času izmere II. NVN in kasneje, so bile izvedene nivelmanske izmere, s katerimi je bila nivelmanska mreža II. NVN povezana z nivelmanskimi mrežami sosednjih držav. Nekatere od navezav nivelmanske mreže Slovenije z nivelmanskimi mrežami sosednjih držav, so služile za povezavo z evropsko nivelmansko mrežo in navezavo na evropski vertikalni datum. Nivelmanska mreža Republike Slovenije je v EVRS 2000 vključena preko navezav II. NVN z nivelmanskima mrežama Avstrije in Italije (slika 6).



Slika 6: Navezava nivelmanske mreže Republike Slovenije z nivelmanskimi mrežami sosednjih držav.

Povezava II. NVN z avstrijsko nivelmansko mrežo višjih redov, je bila izvedena na mejnih prehodih Gornja Radgona (reper A-533992), Šentilj (A-52265), Dravograd (A-53736) in Korensko sedlo (A-55293). Italijanska nivelmanska mreža je bila navezana

² Reper avstrijske nivelmanske mreže

z mrežo II. NVN na mejnih prehodih Rateče (MCDXCIV3), Nova Gorica (MCDXXXII) in Fernetiči (CØ4) (Bilajbegovič idr., 1991).

Podatki o vozliščnih reperjih slovenske nivelmanske mreže, ki so vključeni v EVRS2000 so zbrani v končnem poročilu Razvoj OGS 2006-Prehod na nov koordinatni sistem

V zvezi s povezavami nivelmanske mreže Slovenije s sosednjimi državami je potrebno izvesti sledeče:

1. Italija

Iz slike 6 lahko vidimo, da smo z nivelmansko mrežo Italije zelo slabo povezani. V okviru nove izmere nivelmanske mreže, se bo potrebno dogovoriti tudi o dodatnih navezavah italijanske in slovenska nivelmanske mreže. Predlagamo, da se navezava naredi na mejnih prehodih Škofije, Vrtojba/Nova Gorica, Rateče.

2. Avstrija

Z Avstrijo imamo največ povezav, kar je rezultat dodatnih povezav nivelmanskih mrež, ki so bile izvedene v 90. letih. V zvezi z navezavo nivelmanskih mrež Avstrije in Slovenije, moramo zagotoviti izmenjavo podatkov z Avstrijo in dopolnitev podatkov v zvezi z navezavo na EVRS2000.

3. Madžarska

Z Madžarsko se je potrebno dodatno dogovoriti za navezavo na Goričkem (prehod Hodoš), saj bomo morali na Goričkem izmeriti nivelmanski poligon, za navezavo gravimetrične točke 1. reda GT29 na nivelmansko mrežo.

4. Hrvaška

S Hrvaško imamo nivelmansko mrežo navezano samo preko starih povezav nivelmanskih mrež I. in II. NVN bivše SFRJ. V 90. so že potekali razgovori o ponovnih navezavah, vendar do realizacije ni prišlo. Predlagamo, da se podobno kot z Italijo in Madžarsko poskušamo dogovoriti o povezavah, ko se bo nivelmanska izmera izvajala v bližini hrvaške nivelmanske mreže. Možne povezave s hrvaško nivelmansko mrežo so v Murskem Središču, Ormož ali Središče ob Dravi, Rogatec, Dobova, Starod, Jelšane in Sečovelje.

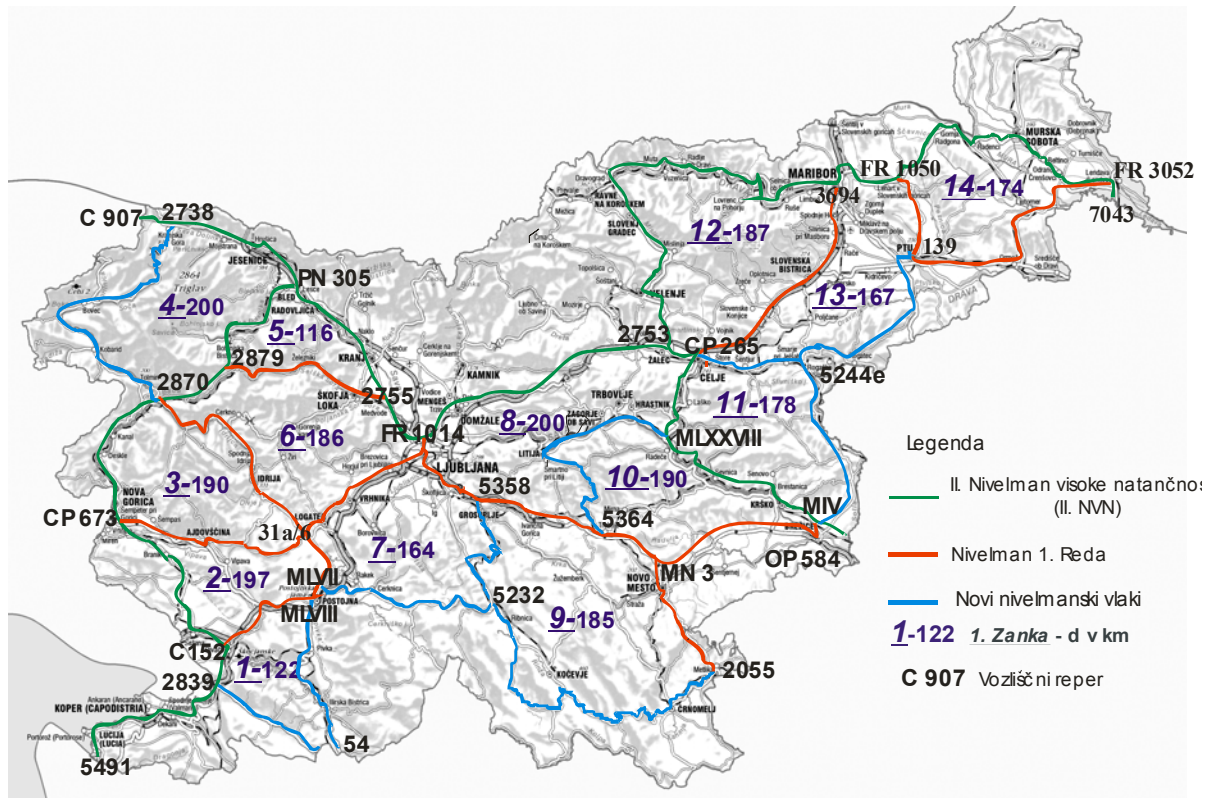
³ Reper slovenske nivelmanske mreže

⁴ Reper italijanske nivelmanske mreže

3.1.6 Časovni plan izvedbe prehoda na nov višinski sistem

Prehod na novi višinski sistem je predvsem odvisen od hitrosti izvajanja nivelmanske izmere. Plan izmere, ki je bil narejen lani predvideva izmero nivelmanske mreže v 12 letih (Razvoj OGS 2006-Prehod na nov koordinatni sistem-Končno poročilo). Če želimo izmero izvesti v krajšem času in tako zagotoviti uvedbo sodobnega višinskega sistema v krajšem, bolj razumnem času, je potrebno izkoristiti notranje rezerve na GURS, če seveda obstajajo in sestaviti več kot tri ekipe za izmero, ki bi morale na letni ravni izmeriti več, kot je bilo lani predvideno (40 km/ekipo). Druga možnost je seveda povečanje finančnih sredstev za potrebe uvajanja sodobnega višinskega sistema, s katerimi bi lahko preko letnih razpisov izmerili več kot 10 km nivelmanskih linij, kot smo jih upoštevali pri planu izmere v lanskem letu.

Poleg izmere na nivelmanski mreži, bo potrebno izvesti tudi nivelmanske, gravimetrične in GNSS izmere na točkah SIGNAL, absolutnih in relativnih gravimetričnih točkah za potrebe zgojitve EUVN mreže točk na območju Slovenije.



Slika 7: Predlog nove nivelmanske mreže v Sloveniji

Na osnovi predloga nove nivelmanske mreže (slika 7), je plan izmere v posameznih letih sledeč:

1. leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Dekani-Kozina	CP88-2839	Del NVN3	22
	Kozina - Divača	2839 – C152	Del NVN3	11
	Divača – Postojna	C152 – MLVII	Del 1/22	28
	Postojna -Planina	MVII – MLVIII	Del 1/22	11
	Planina – Kalce	MVII – 31a/6	Del 1/22	10
	Kalce –Ljubljana	FR1014 – 31a/6	Del 1/22	41
	Določen normalni reper, izravnava zanke 3 ⁵			123
2. leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Divača – Nova Gorica	C152 – CP673	Del NVN3	56
	Most na Soči – Podbrdo	2870 – 2879	Del NVN3	22
	Podbrdo – Lesce	2879 – PN305	Del NVN3	34
	Lesce – Jeprca	PN305 – 2755	Del NVN5	35
	Izravnava zanke 2, 3, 5 in 6			147
3. leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Most na Soči – Kranjska Gora	2870 – 2738	2/5	105
	Kranjska Gora – Lesce	2738 – PN305	Del NVN4	39
	Kranjska gora – Rateče	2753 – C 907	Del NVN4	5
	Izravnava zanke 4 in navezava z Italijo (Škofije, Vrtojba/N. Gorica, Rateče)			149
4. leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Celje – Zidani most	CP265 - MLXXVIII	Del NVN6	26
	Maribor – Celje	3694 – CP265	1/25	58
	Maribor – Hrastovec	3694 – FR1050	Del NVN11	21
	Vrhovo - Brestanica		Del NVN6	27
	Povezava prevzetih podatkov (Brestanica-Dobova + navezava Hrvaška, Hrastovec-Lendava)			132
5. leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Hrastovec – Lendava	FR1050 – FR3052	Del NVN11	81
	Lendava – Petišovci	FR 3052 - 7043	Del NVN12	7
	Murska Sobota - Hodoš			37
	Izravnava zanke 14, navezava Hrvaška (Mursko središče, Ormož ali Središče ob Dravi) in Madžarska (Hodoš, Dolga vas, Pince)			125

⁵ V izravnavo prevzamemo nivelmanski poligon Kalce–Most na Soči iz leta 1992.

6.leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Arja vas – Velenje - Maribor	2753 – 3694	Del NVN11	123
	Arja vas – Celje	2753 – CP265	Del NVN6	6
	Izravnava zanke 14, navezava Avstrija (Vič)			129
7.leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Celje – Mestinje	CP265 – 5244e	Del 2/8	27
	Mestinje – Brežice	5244e – MIV	Del 2/8	81
	Ptuj – Mestinje	139 – 5244e	2/9+ del 1/12	38
	Izravnava zank 11 in 13, navezava Hrvaška (Rogatec)			146
8.leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Bogenšperk - Bič			10
	Matlika – Žlebič	2055 – 5232	2/3	63
	Žlebič - Grosuplje	5232 - 5358	2/4	36
	Izravnava zanke 9 in 10 (prevzamemo podatke iz 1/26 leto 1992)			110
9.leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Ljubljana – Grosuplje	FR1014 – 5358	Del 1/26	26
	Draga – Grosuplje	5364 – 5358	Del 1/26	16
	Draga – Novo Mesto	5364 – MN3	Del 1/26	40
	Brežice – Novo mesto	MIV – MN3	Del 1/26	46
	Izravnava zanke 8, 9, 10			128
10.leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Postojna – Jelšane	MLVII - 54	1/5	45
	Jekšane – Rupa (CRO)	54 - ? ¹⁶	Na Hrvaškem	3
	Rupa (CRO) – Starod	? ¹¹ - ? ¹⁷	Na Hrvaškem	8
	Starod - Kozina	? ¹² – 2839	Nov	27
	Žlebič – Planina	5232– MVII	2/2	51
	Izravnava zanke 1 in 7, navezava s Hrvaško (Starod, Jelšane)			134
Stari nivelmanski vlaki 1992-2000				
11.leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Most na Soči – Kalce	2870 – 31a/6	1/24	61
	Kozina - Sečovelje	2839 - 5491	Del NVN2 in NVN3	50
	Brestanica - Dobova	MLXI– OP 584	Del NVN6	28
				139

⁶¹ Reper se nahaja na območju Republike Hrvaške.

¹⁷ Reper je potrebno še stabilizirati.

12.leto	Od - do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Ljubljana – Arja vas	FR1014 – 2753	66	Del NVN5
	Lendava – Ptuj	FR3052 – 139	70	Del 1/46
	Ptuj – Hrastovec	139 – FR1050	23	Del 1/46
			159	

Preglednica 2: Plan izmere nove nivelmanske mreže Slovenije

3.1.6.1 Faze uvajanja novega višinskega sistema

Novi višinski sistem bo uveden po sledečih fazah:

a) Izbira (stabilizacija) normalnega reperja

- za normalni reper lahko uporabimo fundamentalni reper FR 1014, ki je stabiliziran v Črnučah, če se nahaja na geološko stabilnem območju,
- predlagamo, da se pridobi geološko poročilo o stabilnosti območja v okolici FR1014.

b) Obnova uničenih (Kranj, Trojane, Zidani most) in stabilizacija novih fundamentalnih reperjev

- izbira lokacije novih fundamentalnih reperjev,
- geološka ocena lokacije, za nove fundamentalne reperje,
- stabilizacija se lahko izvede postopno, glede na plan izmere nivelmanske mreže, vendar vsaj eno leto pred izmero.

c) Navezava točk SIGNALA in gravimetričnih točk na reperje

- zgostitev EUVN mreže točk na območju Slovenije,
- kvalitete vklop kvazigeoida v višinsko mrežo, preko kvazigeoidnih višin, ki jih dobimo na osnovi nivelmanske, gravimetrične in GNSS izmere.

d) Izmera nivelmanske mreže Slovenije

- sprotna obdelava podatkov in izravnava zank v vertikalnem datumu Trst in preračun nivelmanskih poligonov nižjih redov na izmerjenem območju,
- rezultati izmere se predajo v uporabo takoj po izračunu.

e) GPS izmera na točkah gravimetrične in nivelmanske mreže (FR)

- mreža, ki je primerljiva z EUVN – združuje nivelmansko, gravimetrično in GPS izmero,
- služi za dodatno zgostitev EUVN točk.

g) Končna izravnava nivelmanske mreže Slovenije

h) Preračun nivelmanskih poligonov nižjih redov v nov višinski sistem

Preračun reperjev na nivelmanskih poligonih nižjih redov, je možen na več načinov, saj gravimetrične meritve vzdolž nivelmanskih poligonov nižjih redov kratkoročno niso smiselne. Izračun geopotencialnih kot teh reperjev oz. neposredni izračun njihovih normalnih višin se lahko opravi na naslednji način:

h1) Interpolacija (predikcija vrednosti težnega pospeška na reperju)

V tem primeru lahko uporabimo okoli 5500 točk z znanimi vrednostmi težnega pospeška na ozemlju RS in mejnih območjih Avstrije, Italije in Hrvaške. Z merjenimi vrednostmi težnega pospeška lahko izračunamo anomalije težnosti prostega zraka ali Bouguerove anomalije (bolje, saj je njihov potek bolj gladek in se lažje interpolirajo), ki jih lahko s pomočjo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov predcirkamo v pravilni mreži, ki zajema ozemlje RS. Iz predcirkane mreže vrednosti anomalij težnosti lahko interpoliramo vrednost težnega pospeška v poljubni točki z znanimi horizontalnimi koordinatami (npr. \square , \square oz. X, Y) in nadmorsko višino H. Preden pristopimo kolokaciji je potrebno iz izračunanih anomalij težnosti na izmeritvenih točkah odstraniti vpliv topografije in trend, ki je določen z globalnim geopotencialnim modelom (EGM96) in sistematično odvisnost anomalij težnosti od nadmorske višine točke (v primeru uporabe anomalij prostega zraka). Za izračun topografskega vpliva potrebujemo digitalni model višin (DMV) večje in manjše ločljivosti (t. i. grobi in fini). Nujno je, da so DMV-ji na območju Slovenije podani v koordinatah glede na geocentrični elipsoid (WGS-84, GRS 80), saj je potrebno vpliv na posamezni točki računati v območju polmera 167 km od točke; torej v točkah na meji Slovenije, je območje vpliva daleč na ozemlju sosednjih dežel. Prosto dostopni DMVI-ji so manjše natančnosti kot modeli, izračunani pri nas. Zato je potrebno razpoložljive DMV-je preračunati iz GK-koordinat v koordinate glede na WGS-84 oz. GRS 80 (položajna sta elipsoida skoraj identična).

h2) Preračun višine reperjev na osnovi ustreznih enačb

Gre za neposreden preračun (točneje transformacijo) višine iz starega v novi sistem. V uporabi najdemo več enačb. Ene vsebujejo elemente predhodne metode (upoštevajo vrednost težnega pospeška v točki), druge opravijo čisto višinsko transformacijo. V obeh primerih nastopijo v enačbah parametri kot so:

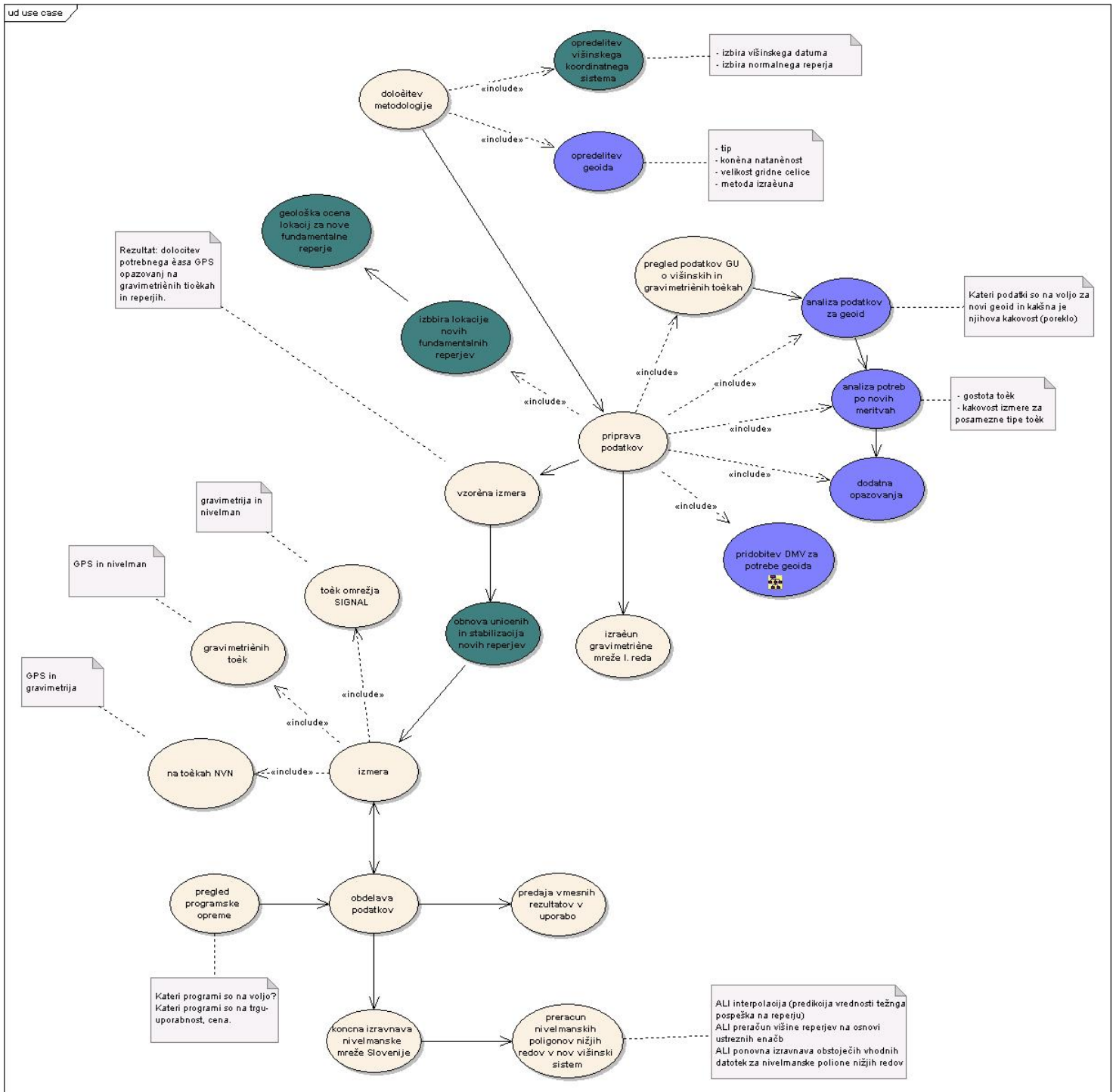
- razlika v višinskem datumu,
- sistematične razlike v reperjih višjih redov (na katerih so vpeti poligoni nižjih redov),

V obeh primerih je potrebno poznati položaj reperjev (horizontalne koordinate, bodisi v D48, bodisi v novem koordinatnem sistemu). Zadoščal bi verjetno grafični zajem koordinat z listov DTK.

h3) Ponovna izravnava obstoječih vhodnih datotek za nivelmanske poligone nižjih redov

V tem primeru se lahko srečamo s sledečimi problemi:

- navezni reperji niso več ohranjeni,
- odstopanje lahko preseže dovoljeno odstopanje (vprašljiva kvaliteta višine točke).



3.2 Navezava gravimetričnih točk na nivelmansko mrežo (NALOGA 2.2)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Poročilo pripravil: dr. Božo Koler, FGG

Nekatera gradiva pripravil: Matija Klanjšček, GI

Povzetek

Pripravljen je idejni osnutek plana povezave gravimetričnih točk na nivelmansko mrežo.

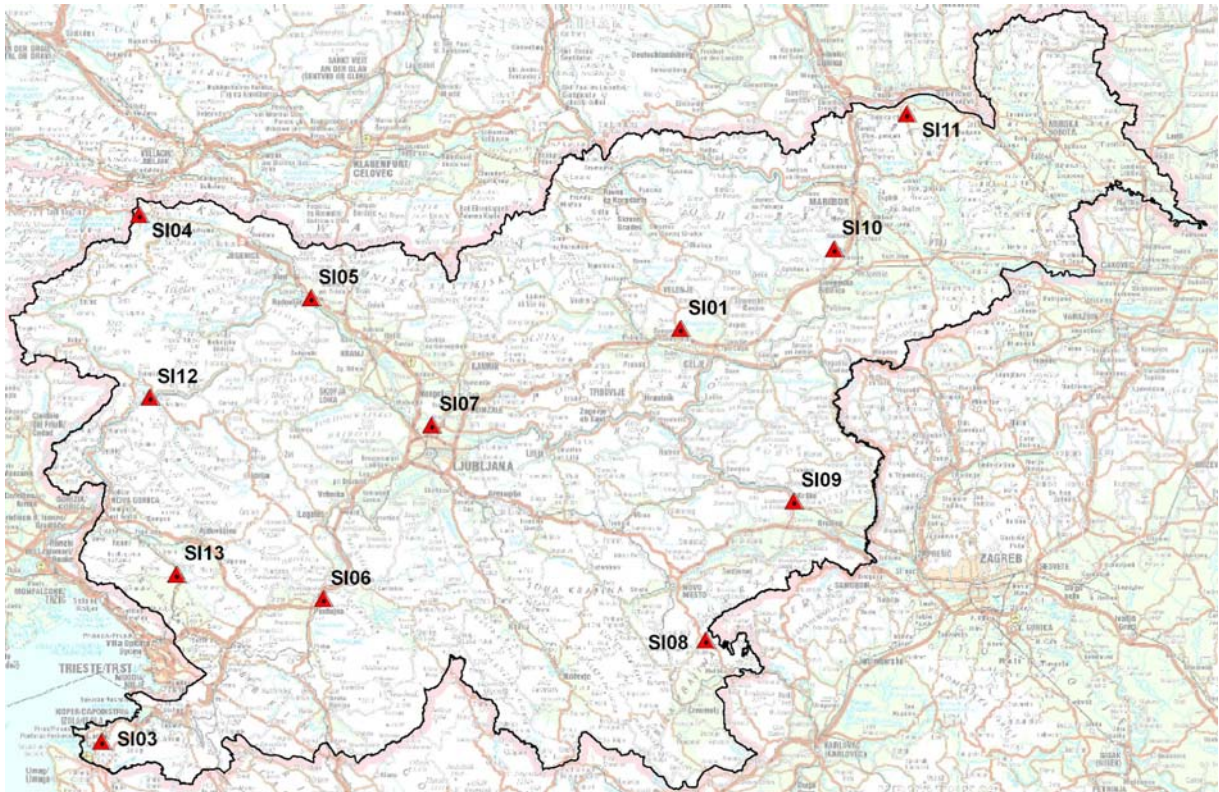
Upoštevana je analiza vplivov določitve položaja/višin na kakovost izračuna nivelmana (kriteriji za GPS-izmero in niveliranje gravimetričnih točk) ter zahteve glede določitve novega geoida.

Glede na dosedanje ugotovitve bo za določitev ustreznih kriterijev glede vrste, načina, trajanja in obdelave meritev ter potrebne gostote točk predlagana posebna vzorčna izmera. Zato je bil pripravljen tudi predlog vzorčne izmere, ki obsega predlog testnega območja z argumenti za izbor, predlog izmer z različnimi merskimi tehnikami, okvirno število točk, vključenih v vzorčno izmero ter predvidene rezultate vzorčne izmere; glej tudi 2. nalogo 3. sklopa.

Predlog vzorčne izmere je pripravljen v okviru naloge 3.2 – glej **Poglavje 4.2.2**.

3.2.1 Namen izvedbe različnih izmer

Iz resolucij EUREF komisije lahko vidimo, da so v višinsko mrežo vključene tudi EUVN točke, na katerih so bile izvedene nivelmanske, gravimetrične in GPS izmere. Podatki o opravljenih vseh treh izmerah na točki, nam omogočajo določitev kvazigeoidne višine, ki jo potrebujemo za določitev ali vključitev ploskve kvazigeoida v višinski sistem na določenem območju. V evropsko mrežo EUVN točk je na območju Slovenije vključeno 12 točk (slika 7).



Slika 7: Mreža EUVN točk na območju Slovenije

Za potrebe kvalitetnega vpetja geoida v državni koordinatni sistem in določitve kvazigeoidne višine, potrebujemo na območju Slovenije geodetske točke, ki imajo določeno elipsoidno višino, normalno višino in težnostni pospešek. Točke, ki že imajo določene vse tri komponente, so t.i. EUVN točke, ki smo jih na območju Slovenije določili za potrebe določitve evropskega geoida, leta 1999/2000 in dopolnili 2005/2006 (glej preglednico 3). Iz navedenih podatkov je razvidno, da so časovno zelo raznovrstni. V spodnji preglednici so zbrani podatki za vse EUVN točke, ki so bile določene na območju Slovenije. V preglednici so zbrani sledeči podatki:

a) Razlika vertikalnih datumov Amsterdam in Trst

Razlike višin EUVN točk, ki so določene v vertikalnem datumu Amsterdam oziroma Trst znaša približno 40 cm. Tako so uradne nadmorske višine točk, ki so v uporabi v Sloveniji so višje od točk, ki so določene v vertikalnem datumu Amsterdam.

b) Geoidne višine izračunane iz različnih podatkov

V preglednici so izračunane tudi kvazigeoidne višine, ki so določene na osnovi elipsoidne višine EUVN točke in nivelirane višine (v vertikalnem datumu Amsterdam in Trst pred in po preračunu nivelmanske mreže Slovenije, ki je bil izveden leta 2000). Geoidna višina za EUVN točke je določena tudi iz (kvazi)geoida Slovenije, ki ga je leta 2000 v svoji doktorski disertaciji določil Boško Pribičević (Pribičević, 2000). Geoid je izračunan s pomočjo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov z znano tehniko "remove – restore". V izračun ploskve geoida je bilo

vključenih 97 točk z izmerjenimi odkloni navpičnice in tudi skupaj 4605 točkastih anomalij težnosti.

Natančnost izračunanih geoidnih višin je v povprečju ± 3 cm, vendar je ta na območjih, kjer je število točk z znanimi geoidnimi višinami (GPS/nivelman) večja. Največji problem sedanje rešitve geoidne ploskve so namreč t.i. GPS/nivelman točke, saj so višine točk, ki so bile uporabljene za višinsko orientacijo ploskve spremenile svoje vrednosti zaradi preračuna nivelmanske mreže Slovenije (Koler in Vardjan, 2003). Ta je bil izveden po opravljenem računanju obstoječega geoida.

c) Razlike geoidnih višin

Razlike med geoidnimi višinami, ki so določene iz različnih podatkov so različne. Poleg tega se razlike geoidnih višin na posameznih točkah prav tako razlikujejo. Del teh razlik lahko pripišemo neustrezni vključitvi obstoječega (kvazi)geoida v višinsko mrežo Slovenije in del tudi vertikalnim premikom, ki so prisotni na območju Slovenije in nehomogenosti podatkov, ki smo jih uporabili za izračun geoidnih višin. Tako je bila nivelmanska izmera navezana na točke, katerih višine so bile določene z izmero II. NVN leta 1971, GPS izmera pa leta 1999/2000 oziroma 2005/2006.

Na osnovi razlik geoidnih višin, ki so določene iz različnih podatkov, lahko vidimo, da kvazigeoid Slovenije ni ustrezno vpet v nivelmansko mrežo Slovenije in ne omogoča določitve višin točk z GNSS metodo izmere z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo na celotnem območju Slovenije.

Ime točke	Oznaka EUVN	Leto izmere	Elips. viš. ⁹ [m]	EUVN višina ¹⁰ [m]	Nadmor. viš. ¹¹ [m]	Stara nadmor. ort. viš. ¹² [m]	Razlike. ver. dat. Amst.-Trst [m]	Geoidna višina				Razlike geoidnih višin ⁸	
								EUVN [m]	Trst po 2000 [m]	Trst pred 2000 [m]	(Kvazi) geoid SLO ¹³ [m]	Trst po 2000 [mm]	Trst pred 2000 [mm]
Velika Pirešica	SI01	1971/1999	342,176	295,214	295,638	295,594	-0,424	-46,962	-46,538	-46,582	-46,549	-10,6	-33,4
Malija	SI03	1971/2000	323,128	278,186	278,595	278,664	-0,409	-44,942	-44,533	-44,464	-44,594	-61,4	130,6
Kranjska Gora	SI04	1971/1999	898,308	849,393	849,820	849,735	-0,427	-48,915	-48,488	-48,573	-48,568	-80,6	-4,4
Radovljica	SI05	1971/2005	551,022	503,220	503,645	503,708	-0,425	-47,802	-47,377	-47,314	-47,472	-94,8	157,8
Postojna	SI06	1971/1999	783,074	736,426	736,832	736,821	-0,406	-46,647	-46,241	-46,252	-46,335	-93,9	82,9
Črnuče	SI07	1971/2005	332,885	286,022	286,442	286,411	-0,420	-46,863	-46,443	-46,474	-46,464	-21,2	-9,8
Dole	SI08	1971/1998	499,470	452,810	453,213	453,169	-0,402	-46,660	-46,258	-46,302	-46,228	30,14	-74,14
Videmska skala	SI09	1971/2006	205,774	159,341	159,758	159,722	-0,417	-46,433	-46,016	-46,052	-45,960	55,76	-91,76
Bukovec	SI10	1971/2006	475,553	428,798	429,210	429,166	-0,412	-46,755	-46,343	-46,387	-46,379	-36,3	-7,7
Lokavec	SI11	1971/1998	449,152	402,635	403,054	403,073	-0,419	-46,517	-46,097	-46,078	-46,132	-34,8	53,8
Most na Soči	SI12	1971/2006	266,897	219,861	220,281	220,182	-0,420	-47,036	-46,616	-46,715	-46,756	-139,7	40,7
Štanjel	SI13	1971/2006	333,547	287,858	288,272	288,292	-0,414	-45,689	-45,275	-45,255	-45,303	-28,3	48,3

Preglednica 3: Geoidne višine in razlike med njimi določene iz različnih podatkov

⁸ Razlike geoidnih višin so računane glede na trenutni (kvazi)geoid Slovenije

⁹ ETRS 89

¹⁰ Vertikalni datum Amsterdam

¹¹ Vertikalni datum Trst/po preračunu leta 2000

¹² Vertikalni datum Trst/pred preračunom leta 2000

¹³ Trenutno je v veljavi (kvazi)geoid, ki ga je leta 2000 v svoji doktorski disertaciji določil Boško Pribičević

Za potrebe kvalitetnega vpetja geoida Slovenije v višinsko mrežo, je potrebno obstoječo mrežo EUVN točk, na katerih so bile izvedene gravimetrična nivelmanska in GNSS izmera, zgostiti. Za posamezne manjkajoče podatke na točkah (vrednost težnostnega pospeška, normalna ortometrična oziroma normalna višina ali elipsoidna višina) predlagamo sledeče postopke izmere:

3.2.1.1 Gravimetrična izmera

Težnostni pospešek na točki mora biti določen z natančnostjo 1 mgala. Gravimetrično izmero navežemo na vsaj dve točki gravimetrične mreže 1. reda. Tako bomo lahko meritve kontrolirali glede prisotnosti grobih pogreškov. Poleg tega bomo lahko merjene vrednosti izravnali in ocenili a posteriori natančnost določitve težnostnega pospeška na posamezni točki SIGNALA. Pri transportu in nastavitvi gravimetra upoštevamo zahteve, ki so bile določene za izmero gravimetrične mreže 1. reda. Gravimetrično izmero izvedemo po metodi profila. Po postavitvi instrumenta na točki izvedemo tri eno minutne meritve. Meritev, ki bi bila izvedena z natančnostjo okoli mgal/3, ponovimo, če nam razmere omogočajo, drugače zapišemo opombo v zapisnik. Težnostni pospešek merimo na reperjih, ki služijo za navezavo točke SIGNALA. Težnost na točki SIGNALA izračunamo s pomočjo merjene višinske razlike in upoštevanjem normalnega težnostnega gradienta.

3.2.1.2 Trigonometrično višinomerstvo

Točko SIGNALA povežemo z reperjem z metodo trigonometričnega višinomerstva. Stojišča za trigonometrično izmero si stabiliziramo začasno.

Glede na velikost mreže, razpoložljiv instrumentarij in dosedanje izkušnje z meritvami v podobnih geodetskih mrežah predlagamo klasično terestrično geodetsko izmero mreže. Mikromrežo bi obravnavali kot triangulacijsko-trilateracijsko mrežo za določitev iskanih količin (dolžin stranic v trikotniku) in višinsko mrežo, ki temelji na trigonometričnem višinomerstvu za določitev višin točk. Določitev dolžin stranic v trikotniku in določitev višin točk bi izvedli na osnovi izmere horizontalnih smeri, poševne dolžine baze in zenitnih razdalj med točkami mreže.

V lokalni geodetski mreži bi merili smeri in dolžino baze ter zenitne razdalje, ob hkratni izmeri meteoroloških parametrov, in sicer:

- horizontalne smeri po girusni metodi, 2 girusa;
- poševno dolžino istočasno z opazovanji smeri;
- zenitne razdalje istočasno z opazovanji smeri;
- višino instrumenta in tarč izmerimo z merskim trakom na mm;
- zračni tlak in temperaturo v času izmere na stojišču instrumenta.

Dolžina posameznih stranic naj ne bi presegala 250 m.

Meritve izvedemo z elektronskim tahimetrom, ki zagotavlja natančnost opazovanih količin vsaj: σ_{α} in $\sigma_z = (1-2)''$, $\sigma_s = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.

3.2.1.2.1 Obdelava merskih vrednosti

Iz opazovanih horizontalnih smeri v več girusih izračunamo aritmetično sredino posamezne smeri, ki bo uporabljena v izravnavi opazovanj v mikromreži.

Iz opazovane poševne dolžine v več ponovitvah bi izračunali aritmetično sredino za posamezno dolžino. Ko bi opazovali posamezno dolžino, bi na stojišču istočasno merili še temperaturo in zračni tlak, ker je mikromreža mreža majhnih dimenzij in bi predpostavili, da so meteorološki pogoji na stojišču in pri vizirani točki enaki. Najprej bi na podlagi valovne dolžine nosilnega valovanja izračunali lomni količnik za normalno atmosfero po enačbi Edlena 1966. Na podlagi izmerjenih meteoroloških podatkov bi izračunali dejanski lomni količnik zraka po enačbi Barrel&Sears in nato meteorološki popravek oz. dolžino, popravljeno zaradi meteoroloških vplivov. Nato bi to dolžino reducirali na ničelni nivo. Tako reducirana dolžina nam dalje služi za izračun horizontalnih dolžin do točke SIGNALA. V izračunih bi v vseh redukcijah, kjer nastopa polmer Zemlje, uporabili vrednost 6370000 m. Kjer pa v redukcijah nastopa koeficient refrakcije za svetlobno valovanje, bi uporabili vrednost 0.13.

Iz opazovanih zenitnih razdalj v več ponovitvah bi izračunali aritmetično sredino posamezne zenitne razdalje. Iz izračunanih dolžin in zenitnih razdalj bi izračunali višinske razlike med točkami z metodo trigonometričnega višinomerstva.

3.2.1.3 Geometrični nivelman

Reper ali točka, ki služi za navezavo točke SIGNALA ali gravimetrične točke I. reda, je potrebno navezati na nivelmanski poligon višjega reda. Pri nivelmanski izmeri upoštevamo sledeče:

- Niveliramo s preizkušenim nivelirjem, ki zagotavlja natančnost vsaj 0.5 mm/km dvojnega nivelmana (po zagotovilih proizvajalca);
- uporabljamo komparirane invar nivelmanske late (starost certifikata 1 leto), na vsakem reperju/točki izmerimo tudi temperaturo invar traku;
- niveliramo iz sredine oziroma razlika med vsoto dolžin vizur spredaj in zadaj ne sme presegati 1 m;
- maksimalna dolžina vizure lahko znaša do 30 m;
- nivelmansko linijo niveliramo v obe smeri;
- odstopanje dvakrat merjene višinske razlike mora biti manjša, kot je predpisano dovoljeno odstopanje za niveliranje nivelmanskih linij NVN;
- oceno natančnosti merjene višinske razlike naredimo na osnovi odstopanj dvakrat merjenih nivelmanskih linij.

3.2.2 Natančnost določitve različnih višin točk

Če izhajamo iz natančnosti določitve nadmorskih višin točk v obstoječi državni nivelmanski mreži, potem lahko iz spodnje preglednice vidimo, da so nadmorske višine vozliščnih reperjev določene z natančnostjo $\sigma_H < 12$ mm. Na osnovi te ugotovitve predlagamo, da so elipsoidne višine točk prav tako določene s podobno natančnostjo (približno 10 mm).

Vozliščni reper	Nadmorska višina (m)	σ_H (mm)
C-152	440.34840	10.00
2870	182.45341	9.73
31a/6	495.12280	9.08
MLVIII	536.23289	9.49
PN-305	507.95853	9.51
FR-1014	296.22738	7.98
2753	251.72801	5.65
MIV	154.09413	7.71
3694	279.63671	3.12
FR-3052	160.70952	7.95
FR-3053	170.47272	8.41
FR-3020	117.63901	8.15
MLXXXVIII	115.11108	9.71
MXXIX	58.00074	10.40
FR-1029	172.11132	11.83
5486	1.95102	11.03
C-907	851.61173	11.19

Preglednica 4: Nadmorske višine vozliščnih reperjev nivelmanske mreže Slovenije in ocena natančnosti

3.2.3 Časovni plan izmere na točkah SIGNAL-a in gravimetričnih točkah

Ker potrebujemo za določitev geoidnih višin tudi elipsoidne višine ustrezne natančnosti (približno 10 mm), predlagamo, da prvo zgostitev mreže EUVN točk opravimo z dodatno gravimetrično in nivelmansko izmero na posameznih točkah SIGNALA (preglednica 5). Za točke SIGNALA obstaja dovolj dolgi niz GNSS opazovanje, na osnovi katerega lahko določimo elipsoidno višino z ustrezno natančnostjo. Za ostale točke, na katerih je potrebno izvesti še GNSS izmero, je potrebno predhodno analizirati in določiti ustrezno metodo GNSS izmere, ki bo omogočala določitev elipsoidne višine s centimetrsko natančnostjo. V spodnjih preglednicah so zbrani podatki o točkah, ki jih je potrebno izmeriti v posameznem letu, vrsta izmere, ki jo je potrebno opraviti in podatki za navezavo gravimetrične in nivelmanske izmere.

Točka	Gravimetrična izmera ¹⁴	Nivelmanska izmera	GNSS izmera
Slov. Gradec	GT17 – Sl. Gradec – GT14-Celje –Ptuj – GT17	NVN11-1	✓ ¹⁵
Ptuj	GT17 – Sl. Gradec – GT14-Celje –Ptuj – GT17	I-46 ali mestna(nov)	✓
Celje	GT17 – Sl. Gradec – GT14-Celje –Ptuj – GT17	Mestna – NVN6-1	✓
Trebnje	GT2 - Trebnje – GT28 – Črnomelj – GT2	I/26	✓
Črnomelj	GT2 - Trebnje – GT28 – Črnomelj – GT2	Nov nivel. poligon	✓
Nova Gorica	GT2- Koper-GT19 – Nova Gorica – GT6- GT2	NVN3-2	✓
Koper	GT2- Koper-GT19 – Nova Gorica – GT6- GT2	NVN 2	✓

Preglednica 5: Točke SIGNALA za prvo zgostitev mreže EUVN točk

V spodnji preglednici je pripravljen terminski plan izmere na vseh ostalih točkah SIGNALA in gravimetričnih točkah I. reda. Terminski plan izmere je usklajen s planom izmere nivelmanske mreže Slovenije (preglednica 3). Tako bi za točke manjkajoče podatke (težnostni pospešek, normalna višina ali elipsoidna višina) pridobili v istem času oziroma časovna razlika med izvedbo posameznih izmer na določenem območju ne bi bila prevelika.

Točka	Gravimetrična izmera ¹⁷	Nivelmanska izmera	GNSS izmera
Leto izmere: 2008			
GT4	✓	I/22	✗ ¹⁶
GT6	✓	NVN3-2	✗
GT7	✓	I/24	✗
GT19	✓	NVN2	✗
GT20	✓	NVN3-1	✗
AGT100	✓	2/21	✗
AGT500	✓	✓	✗
Radovljica	2-Ljubljana-11- Radovljica-2	NVN5-1	✓
Ljubljana	2-Ljubljana-11- Radovljica-2	NVN5-1	✓

¹⁴ Gravimetrično izmero je potrebno izvesti tudi na reperjih, ki služijo za navezavo nivelmanske izmere

¹⁵ Izmera je bila že opravljena

¹⁶ Izmero je potrebno opraviti

Leto izmere: 2009			
GT1	✓	NVN5-1	✗
GT2	✓	I/22	✗
GT5	✓	NVN3-2	✗
GT13	✓	NVN-3-3	✗
Leto izmere: 2010			
Bovec	AGT600-Bovec-GT8	2/5 (novi)	✓
GT8	✓	2/5 (novi)	✗
AGT600	✓	2/5 (novi)	✗
GT9	✓	2/5 (novi)	✗
GT10	✓	NVN 4	✗
GT11	✓	NVN4	✗
Leto izmere: 2011			
AGT300	✓	NVN6-1	✗
Brežice	GT28-Brežice-GT27	NVN6-2	✓
AGT400	✓		✗
GT18	✓	I/25	✗
Maribor	AGT400 – Maribor – GT18	I/25	✓
Leto izmere: 2012			
GT22	✓	NVN11-2	✗
GT24	✓	NVN12	✗
GT25	✓	I-12	✗
GT29	✓	NVN11-2	✗

Točka	Gravimetrična izmera ⁷	Nivelmanska izmera	GNSS izmera
Leto izmere: 2013			
GT14	✗	NVN11-1	✗
GT17	✗		✗
Velika Polana	GT22 – Vel. Polana - GT24	NVN12	✓
Bodonci	GT22 – Bodonci - GT29	NVN11-2-dolga	✓
Leto izmere: 2014			
GT26	✓	I/25 (mestna)	✗
GT16	✓	Holmec	✗
GT15	✓	Prebold-Šoštanj	✗
Leto izmere: 2015			
AGT200	✓	2/3	✗
GT21	✓	2/4	✗
GT23	✓	2/3	✗

Leto izmere: 2016			
GT27	✓	I/26	✗
GT28	✓	I/26	✗
GT3	✓	2/2	✗
GT12	✓	I/5	✗
Ilirska Bistrica	GT4 – Ilir. Bistrica – GT12	I/5	✓

Preglednica 6: Terminski plan izmere točk SIGNALA in gravimetričnih točk I. reda

3.3 Priprava projekta za povezavo omrežja SIGNAL z nivelmansko in gravimetrično mrežo (NALOGA 2.3)

*Pripravi: Matija Klanjšček, GI
Konzultacije in recenzija: dr. Božo Koler, FGG*

Povzetek

Zbrana je bila dokumentacija o stalnih postajah v omrežju SIGNAL – o makro- in mikrolokacijah, načinu stabilizacije točk oziroma anten in o zavarovanjih ter gradivo o nivelmanski in gravimetrični mreži. Na podlagi zbranega je bil pripravljen osnutek projekta za povezavo omrežja SIGNAL na državni višinski sistem.

Pripravljen je bil osnutek idejne rešitve za povezavo omrežja SIGNAL z nivelmansko in gravimetrično mrežo. Ta obsega pregled in pripravo podatkov o permanentnih postajah, izbor ustreznih kartografskih podlag na mikrolokacijah, in zbiranje podatkov o geodetskih točkah na mikro- in makrolokacijah, ki bi lahko prišle v poštev za navezavo.

Izdelana je bila pregledna karta (več verzij), ki na skupnem sloju prikazuje stalne postaje omrežja SIGNAL, točke gravimetrične mreže (absolutne in relativne) in višinske točke (reperje) kot del posameznih nivelmanskih vlakov. Ta karta je bila osnova za določitev prioritete plana, katere permanentne postaje omrežja SIGNAL so najprej predvidene za gravimetrično izmero ter določitev normalnih ortometričnih višin. Prioritetni plan je bil pripravljen na osnovi prostorske pokritosti Slovenije z gravimetričnimi točkami, njihove oddaljenosti od permanentnih postaj, ter oddaljenosti od primernih nivelmanskih vlakov. Kot priloga planu izmere je bila izdelana še ena karta, ki prikazuje prioritete permanentne postaje ter izhodiščne gravimetrične točke za izvedbo gravimetričnih meritev. Plan je bil poslan naročniku v pregled in pripombe, uporabljen pa bo za pripravo plana terenskih ogledov (reko-gnosciranja) za dokončni izbor optimalnih variant na posameznih lokacijah.

Pregledna karta stalnih postaj omrežja SIGNAL, EUVN točk ter absolutnih in relativnih točk gravimetrične mreže je v [Prilogi N2.3-01](#).

Pregledna karta stalnih postaj omrežja SIGNAL, EUVN točk, absolutnih in relativnih točk gravimetrične mreže ter višinskih točk (reperjev) kot del posameznih nivelmanskih poligonov je v [Prilogi N2.3-02](#).

Pregledna karta prioritetenih stalnih postaj ter izhodiščnih gravimetričnih točk za izvedbo gravimetričnih meritev je v [Prilogi N2.3-03](#).

Podatki o stalnih postajah omrežja SIGNAL so v [Prilogi N2.3-04](#).

Predlog navezave permanentnih postaj na nivelmanske poligone je v [Prilogi N2.3-05](#).

Predlog navezave permanentnih postaj na gravimetrično mrežo je v [Prilogi N2.3-06](#).

3.3.1 Namen naloge

Glavni namen naloge je izdelava projekta povezave permanentnih postaj (v nadaljevanju PP) omrežja SIGNAL z obstoječim višinskim sistemom ter omrežjem gravimetričnih točk. Osnovni namen je za vsako PP pridobitev vseh treh pomembnih višinskih podatkov (elipsoidne višine, nadmorske višine, vrednosti težnostnega pospeška) za potrebe izračuna geoida.

3.3.1.1 Obseg naloge

V nalogi so opredeljeni splošni postopki navezave PP na nivelmansko in gravimetrično mrežo (določitev referenčnih točk, predvidene merske tehnike, postopki izvedbe in obdelave meritev). Predlagana so tudi konkretna izhodišča za posamezno PP, predvsem na podlagi obstoječih podatkov višinskega sistema, lokacije PP, prostorskih podlag in ocenjenih karakteristik terena na makro območjih posameznih PP. V zaključnem delu je izdelana še kadrovsko-finančna ocena celotnega projekta.

3.3.1.2 Predvideni rezultati naloge

Rezultati naloge oziroma dela, ki jih naloga obravnava in predlaga, bodo lahko služili kot operativna navodila za dejansko izvedbo predlaganih del na terenu. Rezultat izvedbe teh del pa bo pridobitev dobrih nadmorskih višin ter znanih vrednosti težnostnega pospeška za vsako PP omrežja SIGNAL. Ti podatki bodo koristni za vklop oziroma izračun novega geoida, sočasno pa bodo pomenili dodano operativno vrednost omrežju SIGNAL – predvsem možnost direktne določitve nadmorskih višin detajlnih točk z navezavo na PP.

3.3.2 Metodologija

3.3.2.1 Pripravljalna dela

Za potrebe planiranja izvedbenega dela naloge so bili pregledani in pripravljeni razpoložljivi podatki: podatki o PP, baza točk višinske mreže, prostorske podlage (digitalni ortofoto, topografski načrti, karte manjših meril), ter modeli višin. Opravljena so bila različna pripravljala dela.

3.3.2.1.1 Pregled obstoječih podatkov

Pregled in priprava podatkov o PP:

- pridobitev podatkov o koordinatah položajev PP (ETRS 89) in transformacija v državni koordinatni sistem D-48;
- izdelava točkovnega sloja (shp) položajev PP z vsemi potrebnimi opisnimi podatki (polno ime PP, 4-črkovna oznaka, tip sprejemnika, tip antene, višina antene, ETRS koordinate položajev, datumi "log" datotek,);
- določitev lokalnega območja okoli posamezne PP za potrebe preučitve terenskih danosti glede možnosti razvoja nivelmanskih poligonov oziroma zank (4×4 km, $R = 5$ km).

Pregled in obdelava baze višinskih točk (reperjev):

- pridobitev podatkov baze vseh višinskih točk;
- izdelava točkovnega sloja (shp) položajev višinskih točk z vsemi opisnimi podatki;
- klasifikacija višinskih točk po posameznih redovih;
- prostorski presek sloja višinskih točk z lokalnim območjem posamezne PP (makro območji $r = 10$ km in $r = 5$ km ter mikro območje 4×4 km).

Izbor ustreznih kartografskih podlag:

- priprava rastrov kartografskih podlag za širše območje (DPK 250, TK 50, DTK 25);
- priprava rastrov TTN 5 (10) za lokalna območja posameznih PP:
 - presek okolice PP z listi TTN in izbor ustreznih listov,
 - združitev izbranih listov po posameznih slojih skenogramov TTN (H, NPI, RP),
 - razrez po posameznih slojih sestavljenih listov na izbrana lokalna območja 4×4 km,
 - združitev posameznih slojev TTN v enotne barvne rastre (3 barve) za vsa lokalna območja posameznih PP;
- priprava rastrov DOF 5 za lokalna območja posameznih PP:
 - presek okolice PP z listi DOF 5 in izbor ustreznih listov,
 - združitev izbranih listov,
 - razrez sestavljenih listov na izbrana lokalna območja 4×4 km.

Izbor ustreznih podatkov višinskih modelov:

- priprava rastrov DMR 12,5 za lokalna območja posameznih PP:
 - presek okolice PP z datoteko DMR 12,5 (ena datoteka za območje cele Slovenije),
 - razrez datoteke na izbrana lokalna območja 10 × 10 km;
- priprava rastrov DMR 5 za lokalna območja posameznih PP:
 - presek okolice PP z datotekami DMR 5 (razdeljene po trigonometričnih sekcijah) in izbor ustreznih sekcij,
 - združitev izbranih sekcij,
 - razrez sestavljenih sekcij na izbrana lokalna območja 4 × 4 km.

3.3.2.1.2 Izdelava karte višinskih in gravimetričnih točk

Izdelani sta bili pregledni karti (več verzij), ki na skupnem sloju prikazujeta permanentne postaje GPS omrežja SIGNAL, EUVN točke ter absolutne in relativne točke gravimetrične mreže ([Priloga N2.3-01](#)), oziroma permanentne postaje GPS, EUVN-točke, točke gravimetrične mreže ter višinske točke (reperje) kot del posameznih nivelmanskih poligonov ([Priloga N2.3-02](#)). Ti dve karti sta bili osnova za določitev prioritete plana, katere PP omrežja SIGNAL so najprej predvidene za gravimetrično izmero ter določitev nadmorskih višin. Prioritetni plan je bil določen na osnovi prostorske pokritosti Slovenije z gravimetričnimi točkami, njihove oddaljenosti od PP, ter oddaljenosti od primernih nivelmanskih poligonov. Kot priloga planu izmere je bila izdelana še ena karta, ki prikazuje prioritete permanentne postaje ter izhodiščne gravimetrične točke za izvedbo gravimetričnih meritev ([Priloga N2.3-03](#)).

Sočasno so bili v planu opredeljeni tudi osnovni principi gravimetrične izmere, geometričnega nivelmana in trigonometričnega višinomerstva (izvedba meritev in obdelava merskih vrednosti) za potrebe prenosa nadmorskih višin na permanentne postaje GPS omrežja SIGNAL, kar je podrobneje opisano v nadaljevanju tega poročila.

3.3.2.2 Postopek prenosa nadmorskih višin

V bližnji okolici posamezne PP določimo primerna izhodišča za prenos nadmorskih višin. Izhodiščno višinsko točko za prenos nadmorskih višin je treba navezati na nivelmanski poligon višjega reda z metodo geometričnega nivelmana. Izhodiščne točke so lahko bližnje obstoječe višinske točke (reperji) ali na novo (začasno ali permanentno) stabilizirane višinske točke. Na PP prenesemo nadmorsko višino iz izhodiščne točke z metodo trigonometričnega višinomerstva. Potek nivelmana, izbira in stabilizacija izhodiščne višinske točke ter konfiguracija mikromreže za prenos višine, so odvisni od lokalnih terenskih karakteristik, urbane infrastrukture, bližine primerne nivelmanskega poligona za navezavo, ter karakteristik posamezne PP in objekta, na katerem je posamezna PP stabilizirana. V nadaljevanju so podane splošne smernice za izvedbo posameznih merskih metod, specifični primeri za vsako PP pa so obravnavani ločeno.

3.3.2.2.1 Geometrični nivelman

Obstoječi reper ali novo višinsko točko, ki služi kot izhodiščna točka za navezavo višin na omrežje SIGNAL, je treba navezati na nivelmanski poligon višjega reda. Dolžina nivelmanske linije oziroma poligona je odvisna od oddaljenosti posamezne PP od primernege repera. Potek nivelmanske linije je v grobem opredeljen v planu, podrobneje pa ga določi terenska ekipa na podlagi predhodnega rekognosciranja terena. Pri nivelmanski izmeri je treba upoštevati sledeče:

- niveliranje naj bo izvedeno s preizkušenim nivelirjem, ki zagotavlja natančnost vsaj 0.5 mm/km dvojnega nivelmana (po zagotovilih proizvajalca);
- uporabi se komparirane invar nivelmanske late (starost certifikata 1 leto);
- na vsakem reperju/točki se izmeri tudi temperaturo invar traku;
- niveliranje se izvede iz sredine oziroma razlika med vsoto dolžin vizur spredaj in zadaj ne sme presegati 1 m;
- maksimalna dolžina vizure lahko znaša do 30 m;
- nivelmansko linijo je treba nivelirati v obe smeri;
- odstopanje dvakrat merjene višinske razlike mora biti manjše, kot je predpisano dovoljeno odstopanje za niveliranje nivelmanskih linij NVN;
- oceno natančnosti merjene višinske razlike se izvede na osnovi odstopanj dvakrat merjenih nivelmanskih linij.

3.3.2.2.2 Trigonometrično višinomerstvo

Obstoječi reper ali novo višinsko točko, ki služi kot izhodiščna točka za navezavo višin na omrežje SIGNAL, se poveže s posamezno PP z metodo trigonometričnega višinomerstva. Vsaj potrebna stojišča mikromreže se stabilizira začasno. Način viziranja na PP (točno mesto viziranja) se določi za vsako posamezno PP posebej. V kolikor je možno, se predlaga nadomestitev antene s prizmo (možnost navitja prizme na nosilno palico antene, enak navoj). Logistika terenskih del je odvisna od vsake posamezne PP posebej oziroma od dostopnosti posamezne antene (menjava antene s prizmo – dostopnost s strehe, uporaba avtodvigala).

Glede na velikost mikromreže, razpoložljiv instrumentarij in dosedanje izkušnje z meritvami v podobnih geodetskih mrežah, se predlaga klasična terestrična geodetska izmera mreže. Mikromrežo se obravnava kot triangulacijsko-trilateracijsko mrežo za določitev iskanih količin (dolžin stranic v trikotniku) in kot višinsko mrežo, ki temelji na trigonometričnem višinomerstvu za določitev višin točk. Določitev dolžin stranic v trikotniku in določitev višin točk se izvede na osnovi izmere horizontalnih smeri, poševne dolžine baze in zenitnih razdalj med točkami mreže.

V lokalni geodetski mikromreži se izmeri smeri in dolžino baze ter zenitne razdalje. Dolžina posameznih stranic naj ne bi presegala 250 m. Sočasno se izmeri meteorološke parametre. Merjene količine:

- horizontalne smeri po girusni metodi (2 girusa),
- poševne dolžine, istočasno z opazovanji smeri,
- zenitne razdalje, istočasno z opazovanji smeri,
- višina instrumenta in tarč (z merskim trakom na mm natančno),
- zračni tlak in temperaturo na stojišču instrumenta (v času izmere).

Meritve naj bodo izvedene z elektronskim tahimetrom, ki zagotavlja natančnost opazovanih količin vsaj: σ_{α} in $\sigma_z = (1-2)''$, $\sigma_s = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.

Postopek izračuna¹⁷:

Iz opazovanih horizontalnih smeri v več girusih se izračuna aritmetična sredina posamezne smeri, ki se uporabi v izravnavi opazovanj v mikromreži.

Iz opazovane poševne dolžine v več ponovitvah se izračuna aritmetično sredino za posamezno dolžino. Ko se opazuje posamezno dolžino, se na stojišču istočasno izmeri še temperatura in zračni tlak; ker je mikromreža mreža majhnih dimenzij, se predpostavlja, da so meteorološki pogoji na stojišču in pri vizirani točki enaki. Najprej se na podlagi valovne dolžine nosilnega valovanja izračuna lomni količnik za normalno atmosfero po enačbi "Edlena 1966". Na podlagi izmerjenih meteoroloških parametrov se izračuna dejanski lomni količnik zraka po enačbi "Barrel&Sears" in nato meteorološki popravek oziroma dolžina, popravljena zaradi meteoroloških vplivov. Nato se ta dolžina reducira na ničelni nivo. Tako reducirana dolžina se uporabi za izračun horizontalnih dolžin do posamezne PP. V izračunih se v vseh redukcijah, kjer nastopa polmer Zemlje, uporabi vrednost $R = 6\,370\,000 \text{ m}$. Kjer v redukcijah nastopa koeficient refrakcije za svetlobno valovanje, se uporabi vrednost $k = 0,13$. Iz opazovanih zenitnih razdalj v več ponovitvah se izračuna aritmetično sredino posamezne zenitne razdalje.

Iz izračunanih dolžin in zenitnih razdalj se z metodo trigonometričnega višinomerstva izračuna višinska razlika med točkami.

¹⁷ Podrobneje so postopek izračuna in enačbe opisani v knjigi Dušana Kogoja: Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji, Ljubljana 2002.

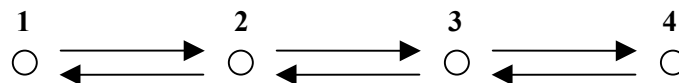
3.3.2.3 Postopek prenosa vrednosti težnostnega pospeška

Za potrebe določitve vrednosti težnostnega pospeška na posamezni PP je treba izvesti gravimetrično izmero. Gravimetrična izmera za vsako PP pomeni izvedbo terenskih gravimetričnih meritev na vsaki posamezni točki v predvidenem geometrijskem liku (glede na plan meritev in razporeditev gravimetričnih točk).

3.3.2.3.1 Gravimetrične meritve

Gravimetrična izmera se naveže na vsaj dve točki gravimetrične mreže 1. reda, da je možno kontrolirati prisotnost grobih pogreškov v izvedenih meritvah. Tako je merjene vrednosti možno tudi izravnati in oceniti a-posteriori natančnost določitve težnostnega pospeška na posamezni PP. Težnostni pospešek na točki mora biti določen z natančnostjo 1 mgala. Pri transportu in nastavitvi gravimetra je treba upoštevati zahteve, ki so bile določene za izmero gravimetrične mreže 1. reda¹⁸.

Težnostni pospešek se izmeri na obstoječem reperju ali novi višinski točki, ki služi kot izhodiščna točka za navezavo višin na omrežje SIGNAL. Gravimetrična izmera se izvede po metodi profila. Metoda profila pomeni metodo dvojnih meritev linije z dnevno povrnitvijo na začetno točko. Prednosti te metode so izključitev enostranskih pogreškov ter možnost kontrole skokov v hodu gravimetra.



Slika 3.3-1: Metoda profila.

Po postavitvi instrumenta na točki se izvedejo tri enominutne meritve. Med izmero je treba spremljati natančnost meritev in vrednost merjene količine. Če posamezne meritve med seboj zelo odstopajo in odstopanja presegajo mgal/3, je priporočljivo meritve ponoviti, v kolikor razmere to omogočajo, oziroma v zapisniku pripisati ustrezno opombo.

Težnost na posamezni PP se izračuna s pomočjo merjene višinske razlike in upoštevanjem normalnega težnostnega gradienta (gradient težnega pospeška je pomemben pri določitvi sprememb težnega pospeška in se uporablja za vrednotenje in interpretacijo podatkov gravimetrične izmere). Spremembo težnega pospeška po višini podaja vertikalni gradient normalne težnosti.

¹⁸ Razvoj OGS 2006, Prehod na nov koordinatni sistem, končno poročilo, poglavje 4: Gravimetrični sistem (GI, 20. 11. 2006)

3.3.3 Izdelava projektov za posamezne stalne postaje omrežja SIGNAL

V nadaljevanju so podrobneje predstavljene posamezne PP (grafični in atributni podatki so v prilogah). Zbrani so podatki o vsaki PP, potrebni za izvedbo zahtevanih meritev. Na ustreznih podlagah je predstavljena makro in mikro lokacija posamezne PP. Izbrane so razpoložljive in primerne višinske točke za prenos nadmorskih višin, s podanimi ocenami predvideni dolžin in višinskih razlik nivelmanskih poligonov (predlog izmere, ki ne pogojuje končne izvedbe, katera je v veliki meri odvisna od dejanskega stanja na terenu). Predlagane so gravimetrične točke, ki bi bile pri izvedbi gravimetrične izmere za posamezno PP vključene v merski profil.

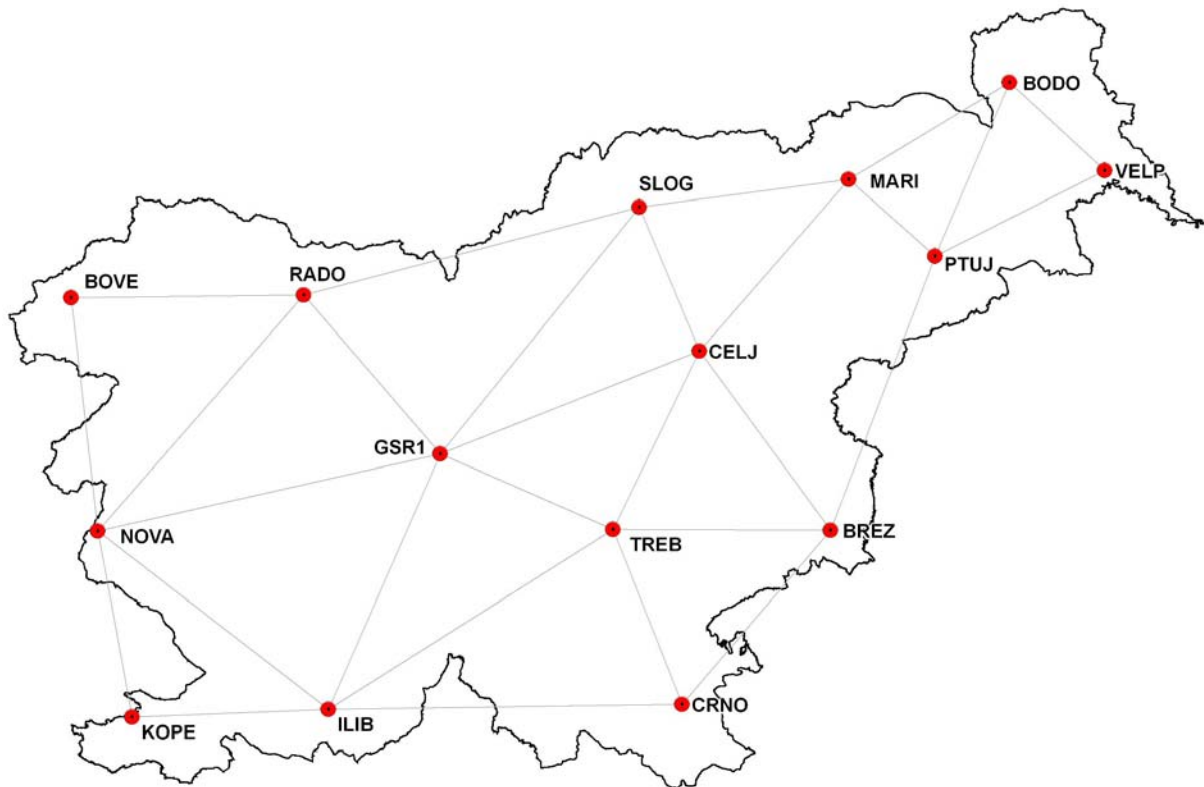
3.3.3.1 Pregled stalnih postaj omrežja SIGNAL

Na območju Slovenije je petnajst stalno delujočih GPS-permanentnih postaj, ki skupaj tvorijo omrežje SIGNAL. Spodnja preglednica podaja splošne podatke o posameznih PP (ime, oznaka, uporabljena oprema), datumi log-datotek predstavljajo ažurno stanje oziroma vključujejo zadnje spremembe do zaključka tega elaborata. Podrobnejši in ažurni podatki so razpoložljivi na spletnih straneh službe za GPS (www.gu-signal.si).

Ime GPS postaje	Oznaka	Tip sprejemnika	Tip antene	Višina antene	Log-datoteke (www.gu-signal.si)
Bodonci	BODO	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0,065 m	bodo_20071221.log
Bovec	BOVE	Leica SR530	Zephyr Geodetic 2 w/Radome	0,065 m	bove_20080110.log
Brežice	BREZ	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0,065 m	brez_20071221.log
Celje	CELJ	Leica GPS1200	AX1202	0,065 m	celj_20071221.log
Črnomelj	CRNO	Leica SR530	Zephyr Geodetic 2 w/Radome	0,065 m	crno_20071221.log
Ilirska Bistrica	ILIB	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0,065 m	ilib_20071221.log
Koper	KOPE	Leica GPS1200	AT504 w/LEIS Dome	0,065 m	kope_20071221.log
Ljubljana	GSR1	Leica SR530	AT504 w/LEIS Dome	0,065 m	gsr1_20071221.log
Maribor	MARI	Leica SR530	AT504 w/LEIS Dome	0,065 m	mari_20071221.log
Nova Gorica	NOVA	Leica GPS1200	AX1202	0,065 m	nova_20071221.log
Ptuj	PTUJ	Leica GPS1200	AX1202	0,065 m	ptuj_20071221.log
Radovljica	RADO	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0,065 m	rado_20071221.log
Slovenj Gradec	SLOG	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0,065 m	slog_20071221.log
Trebnje	TREB	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0,065 m	treb_20071221.log
Velika Polana	VELP	Leica GPS1200	AX1202	0,065 m	velp_20071221.log

Preglednica 3.3-1: Seznam permanentnih GPS-postaj omrežja SIGNAL.

V [Prilogi N2.3-04](#) je podrobneje predstavljena vsaka posamezna PP. Na podlogah DOF in TTN so prikazana lokalna območja posamezne PP ($M = 1 : 5000$ oziroma $1 : 10\,000$ v primeru PP Bovec) s fotografijami objekta, na katerem je posamezna PP stabilizirana, ter detajlnimi fotografijami pritrditve GPS-anten. Vrisani so bližnji reperji NVN, 1., 2. in 3. reda ter izbrani reper za navezavo na nivelman, skupaj s predlagano linijo niveliranja (potek niveliranja in izbor reperjev je podrobneje prikazan na izrisih v [Prilogi N2.3-05](#)). Izpisani so tudi vsi pomembni atributni podatki, kot so polno ime in oznaka GPS-postaje, tip sprejemnika in antene, višina antene, ETRS89 koordinate in približne GK koordinate, naslov objekta, na katerem je posamezna PP stabilizirana, ter kontaktni podatki.



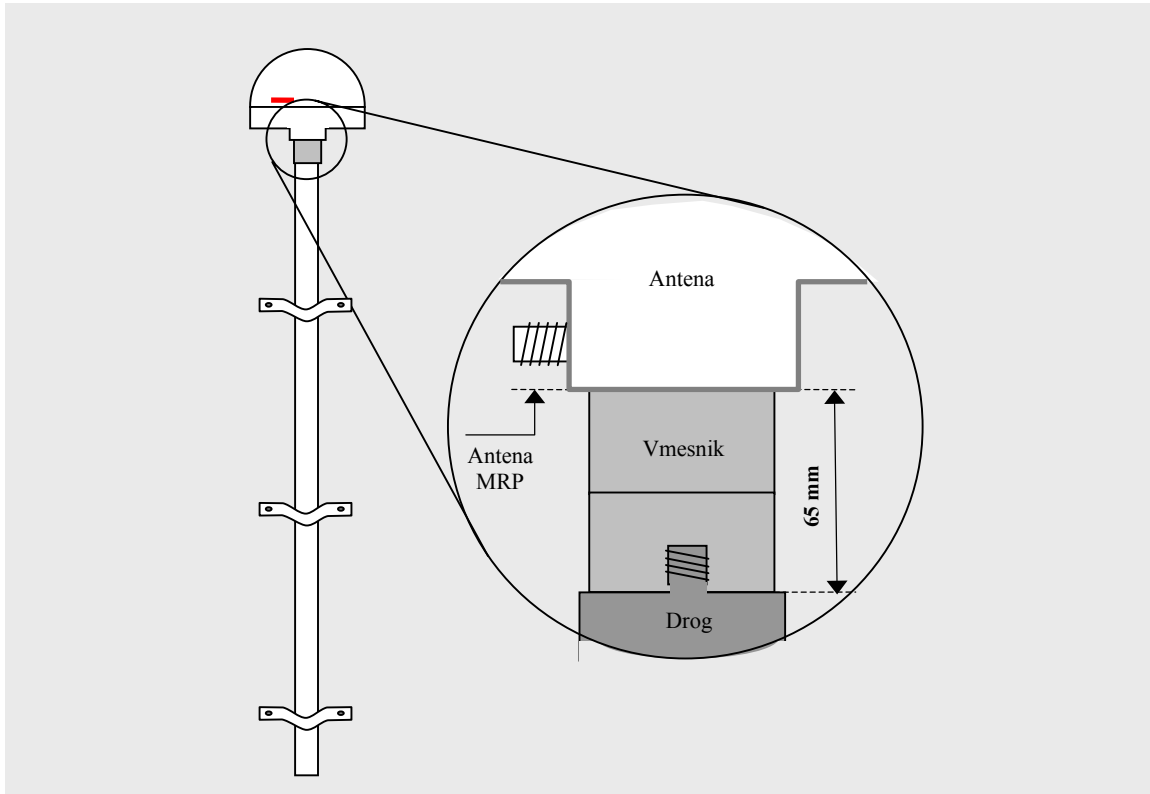
Slika 3.3-2: Permanentne GPS-postaje omrežja SIGNAL.

3.3.3.1.1 Stabilizacija GNSS-anten stalnih postaj

Za potrebe izvajanja klasičnih meritev trigonometričnega višinomerstva je pomemben način stabilizacije oziroma pritrditve GPS-antene na posamezen objekt, ki skupaj s sprejemnikom ter preostalo strojno in programsko opremo sestavlja permanentno GPS-postajo. Vse antene so stabilizirane na enak način.

GPS-antena je nameščena na drogu iz nerjavečega jekla (različnih dolžin). Drug je okroglega profila $\Phi 76.1$ mm, debeline 3.1 mm. Na vrhu ima standarden 5/8" navoj, ki poleg antene omogoča namestitvev tudi katerekoli druge geodetske opreme (prizma, tarča, elektronski tahimeter). Antenski drog je na objekt (zid) običajno pritrjen z jeklenimi objemkami. Vrh nosilnega droga predstavlja izhodiščno točko za določitev višine antene (vse koordinate in višine se nanašajo na točko na vrhu droga). Višina antene, ki je upoštevana pri vseh opazovanjih, meritvah in nastavitvah v programski opremi, znaša 0,065 m. Takšen univerzalen način pritrditve antene omogoča enotno izvedbo meritev trigonometričnega višinomerstva v primeru vseh

PP. Predvidena je začasna prekinitev delovanja posamezne PP (ustrezno objavljena!), demontaža GPS-antene ter pritrditev prizme oziroma tarče za potrebe izvajanja klasičnih meritev z elektronskim tahimetrom¹⁹. Na mestu antene je predvidena zgolj montaža tarče in ne tudi instrumenta, torej zgolj viziranje na točko v eni smeri (instrument na tleh → GPS antena oziroma izhodiščna točka za določitev višine posamezne PP). Spodnja slika prikazuje način pritrditve antene na nosilni drog ter izhodiščni nivo za določitev višine antene.



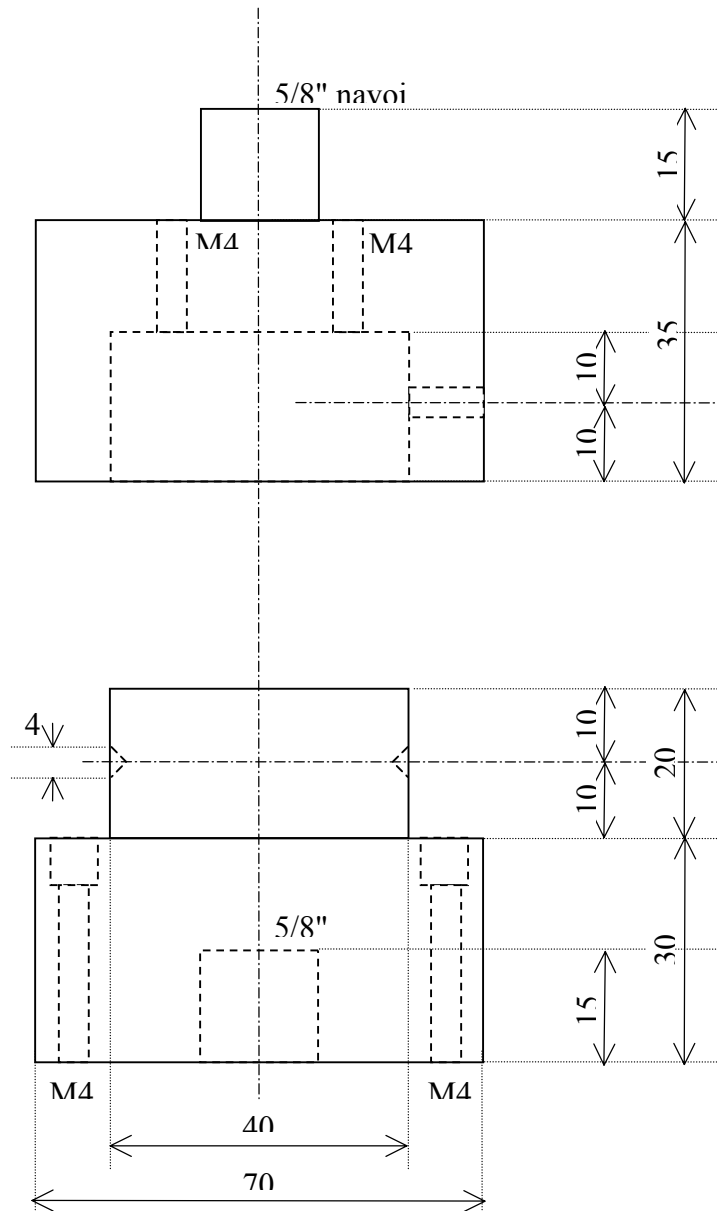
Slika 3.3-3: Način stabilizacije oziroma namestitve GPS-antene na nosilni drog.

Na vrh nosilnega droga je pritrjen vmesnik (adapter), ki na obeh straneh omogoča pritrditev s standardnim 5/8" vijakom ter hkrati orientacijo oziroma obračanje antene. Vmesnik je sestavljen iz dveh aluminijastih delov. 5/8" vijak zgornjega dela vmesnika, ki je privit na anteno, je dodatno varovan z dvema M4 vijakoma. 5/8" vijak spodnjega dela vmesnika, ki je privit na drog, je prav tako varovan z dvema vijakoma M4. Vmesnik omogoča obračanje antene za 360° in s tem ustrezno orientacijo (sever). V zahtevani smeri se vmesnik fiksira s tremi diametralno nameščenimi vijaki med spodnjim in zgornjim delom vmesnika. Skupna višina vmesnika je 0.065 m.

¹⁹ Predvsem če mesto viziranja ni dobro vidno, sicer pa namestitev tarče ni nujna, saj predvideni postopek prenosa višin s trigonometričnim višinomerstvom omogoča posredno določitev dolžin.



Slika 3.3-4: Razstavljen vmesnik za pritrditev GPS-antene, pogled od zgoraj (levo) in od spodaj (desno).



Slika 3.3-5: Načrt vmesnika za pritrditev GPS-antene.

3.3.3.2 Stalne postaje in nivelman

Obstoječi reper ali novo višinsko točko, ki bo služila kot izhodiščna točka za navezavo višin na omrežje SIGNAL, je treba navezati na nivelmanski poligon višjega reda. V primeru posamezne PP je osnovni pogoj ne prevelika oddaljenost PP od najbližjega primernege repera. Kot maksimalni kriterij je bila izbrana oddaljenost znotraj radija 10 km, primerjalno pa še manjši kriterij oddaljenosti znotraj radija 5 km od posamezne PP. Preverjeno je bilo, kateri nivelmanski poligoni oziroma nivelmani katerega reda ustrezajo posameznemu kriteriju. V analizo je bil vključen nivelman visoke natančnosti (NVN) ter nivelmani 1., 2. in 3. reda. V nadaljevanju (in v [Prilogi N2.3-05](#)) so za vsako posamezno PP podrobneje prikazani predlogi za navezavo na nivelman znotraj 5-kilometerskega območja, s hierarhičnim upoštevanjem razpoložljivih reperjev. Praviloma se uporabi NVN in reperje 1. reda, izjemoma 2. oziroma 3. reda. Čeprav ta predlog predvideva tudi uporabo slednjih, se izvedbo del časovno prilagodi planu nove nivelmanske izmere oziroma se izvedbo del na »problematičnih« PP predvidi za konec (Bovec, Bodonci).

Spodnja preglednica in sliki podajajo rezultate omenjene analize. Za navezavo na NVN ustreza kriteriju maksimalne oddaljenosti (10 km) 10 permanentnih postaj (Koper, Nova Gorica, Radovljica, Ljubljana, Brežice, Celje, Slovenj Gradec, Maribor, Bodonci, Velika Polana) oziroma 67 %. Z vključitvijo nivelmana 1. reda ustrezajo kriteriju dodatne 3 postaje (Ilirska Bistrica, Trebnje, Ptuj) ali skupaj 13 postaj oziroma 87 %. Z vključitvijo nivelmana 2. reda ustrezata maksimalnemu kriteriju še preostali 2 postaji (Bovec, Črnomelj) ali skupaj vseh 15 postaj. Velja izpostaviti primera PP Ljubljana in Bodonci, kjer bližina NVN sicer ustreza kriteriju 10 km, vendar je oddaljenost le-tega na meji in bi bila morda primernejša uporaba reperjev 1. reda. Za navezavo na NVN ustreza manjšemu kriteriju oddaljenosti (5 km) 7 permanentnih postaj (Koper, Nova Gorica, Radovljica, Brežice, Celje, Slovenj Gradec, Maribor) oziroma 47 %. Z vključitvijo nivelmana 1. reda ustreza kriteriju dodatnih 5 postaj (Ljubljana, Ilirska Bistrica, Trebnje, Ptuj, Velika Polana) ali skupaj 12 postaj oziroma 80 %. Z vključitvijo nivelmana 2. reda ustrezata dodatni 2 postaji (Bovec, Črnomelj) ali skupaj 14 postaj oziroma 93 %. Z vključitvijo nivelmana 3. reda ustreza še zadnja postaja (Bodonci) ali skupaj vseh 15 postaj²⁰.

Red nivelmana	10 km		5 km	
	št. PP	%	št. PP	%
NVN	10	67	7	47
1. red	13 (14)	87 (93)	12 (13)	80 (87)
2. red	15	100	14	93
3. red	-	-	15	100

Preglednica 3.3-2: Število PP znotraj primerne oddaljenosti od nivelmanov različnih redov.

²⁰ Del nivelmanskega poligona od Dolenje vasi do Črnomlja je bil leta 2007 ponovno izmerjen z natančnostjo, ki ustreza 1. redu. Baza višinskih točk še ni bila dopolnjena, ker bodo nove meritve dokončno obdelane z izravnavo po navezavi nivelmanske zanke na poligon 1. reda.



Slika 3.3-6: Potek NVN (rdeča), nivelmana 1. (modra) in 2. reda (zelena) znotraj območja maksimalne oddaljenosti $r = 10$ km od PP.



Slika 3.3-7: Potek NVN (rdeča), nivelmana 1. (modra), 2. (zelena) in 3. reda (rumena) znotraj območja oddaljenosti $r = 5$ km od PP.

3.3.3.2.1 Izbor reperjev za navezavo stalnih postaj

V prvem koraku je bil izveden prostorski presek točkovnega sloja vseh reperjev z makro območjem ($r = 5$ km) okoli posamezne PP (izbranih **2976** reperjev). V drugem koraku so bili izbrani reperji nivelmana visoke natančnosti ter reperji 1., 2. in 3. reda oziroma tisti reperji, pri katerih znaša vrednost atributa za red (vrsto mreže) v bazi temeljnih višinskih geodetskih točk RED = 0, 1, 2 ali 3 (skladno s šifrantom za red oziroma vrsto mreže). Na ta način je bilo izbranih **423** reperjev. Izmed slednjih so bili izločeni neuporabni reperji oziroma tisti reperji, pri katerih znaša vrednost atributa uporabnosti v bazi temeljnih višinskih geodetskih točk ID_UPORABNOSTI = 2, 3, 4, 5, 6 ali 7 (skladno s šifrantom uporabnosti reperja, prikazanim v spodnji preglednici). Na ta način je bilo izločenih še 136 višinskih točk, v izboru pa je ostalo **287** primernih reperjev (katerih atribut uporabnosti znaša 1 oziroma je neznan).

Vrste uporabnosti reperja	ID_UPORABNOSTI
uporaben	1
omejeno uporaben	2
neuporaben	3
neodkrit	4
uničen	5
manjša natančnost	6
za grobe meritve	7

Preglednica 3.3-3: Šifrant uporabnosti reperja.

Točkovni sloj izbranih višinskih točk je bil vključen v nadaljnji, podrobnejši pregled. Za makro območje ($r = 5$ km) okoli posamezne PP so bili pregledani vsi reperji znotraj prvega izbora. Predlog najprimernejšega reperja je bil izdelan na podlagi naslednjih kriterijev (z upoštevanjem vseh kriterijev v spodnjem hierarhičnem zaporedju):

- čim bližji reper oziroma čim krajša predvidena pot niveliranja;
- čim enostavnejša pot niveliranja (prometnice, majhne višinske razlike);
- glede na atribut LETO_VISINE (čim novejše meritve oziroma določitev višine);
- glede na atribut ID_SANACIJE (ali je reper že bil saniran);
- glede na atribut OPOMBE.

3.3.3.2.2 Izbor optimalne poti niveliranja

Z izborom najprimernejšega reperja je bila predlagana tudi najprimernejša pot niveliranja (čim krajša, čim enostavnejša, vzdolž prometnic, s čim manjšimi višinskimi razlikami). Dokončen izbor in izvedba meritev bosta odvisna od dejanskega stanja višinskih točk in splošne situacije na terenu. V [Prilogi N2.3-05](#) je zgoraj opisani izbor za vsako PP prikazan tudi grafično. Uporabljena je topografska karta DTK 50 (izris makro območja v merilu ~ 1 : 59 000). Prikazani so vsi reperji v ožjem izboru ter predlagana pot niveliranja od izbranega reperja do posamezne PP²¹. Za vsako predlagano pot niveliranja je izdelan višinski profil vzdolž predvidene trase (na osnovi DMR 12,5 m). Izpisani so tudi opisni podatki za posamezno PP (polno ime in oznaka GPS-postaje, tip sprejemnika in antene, višina antene, ETRS89 koordinate) ter za posamezen predlagani reper (številka reperja, red, višina, leto stabilizacije, leto zadnjih meritev, dolžina predvidene nivelmanske linije, red-številka kontrolnega reperja). Izbor reperjev za navezavo posamezne PP na obstoječo mrežo višinskih točk je predstavljen v spodnji preglednici.

Oznaka PP	Številka reperja	Red	Višina reperja [m]	LETO VISIN	Dolžina niveliranja [m]	Red-številka kontrolnega reperja
BODO	7864b	3	218,6815	0	7600	3-7864a
BOVE	65	2	430,7439	2003	120	2-64
BREZ	OP-686	NVN	147,1202	1970	2180	0-117
CELJ	2757	NVN	242,5278	1970	1220	0-CP-299
CRNO	37e	(1)	(173,8590)	(2007)	190	2-13 (1-13)
GSR1	MN-5802	1	296,2387	1992	2620	1-MN-5787
ILIB	HM-12378	1	405,3998	0	1760	1-MLXXXVI
KOPE	9001	NVN	7,6082	2006	260	0-N5007
MARI	14SL	NVN	270,2296	0	700	0-1/23
NOVA	MCDXXXII	NVN	74,7024	0	4160	0-1
PTUJ	139	1	222,9455	2002	540	1-137
RADO ²²	CP-486	NVN	501,3757	1970	1490	0-OP-291
SLOG	1854	NVN	405,5215	0	230	0-CP-203
TREB	5371	1	278,0439	1992	140	1-5370b
VELP	194	1	166,1191	2002	3560	1-196

Preglednica 3.3-4: Predlog izbora reperjev za navezavo PP na nivelman.

²¹ Predvidena dolžina nivelmanskega poligona in višinski profil se nanašata samo na prvi predlagani reper. Pri navezavi na dodatni, kontrolni reper, bo glede na izbor le-tega skupna dolžina niveliranja temu ustrezno daljša.

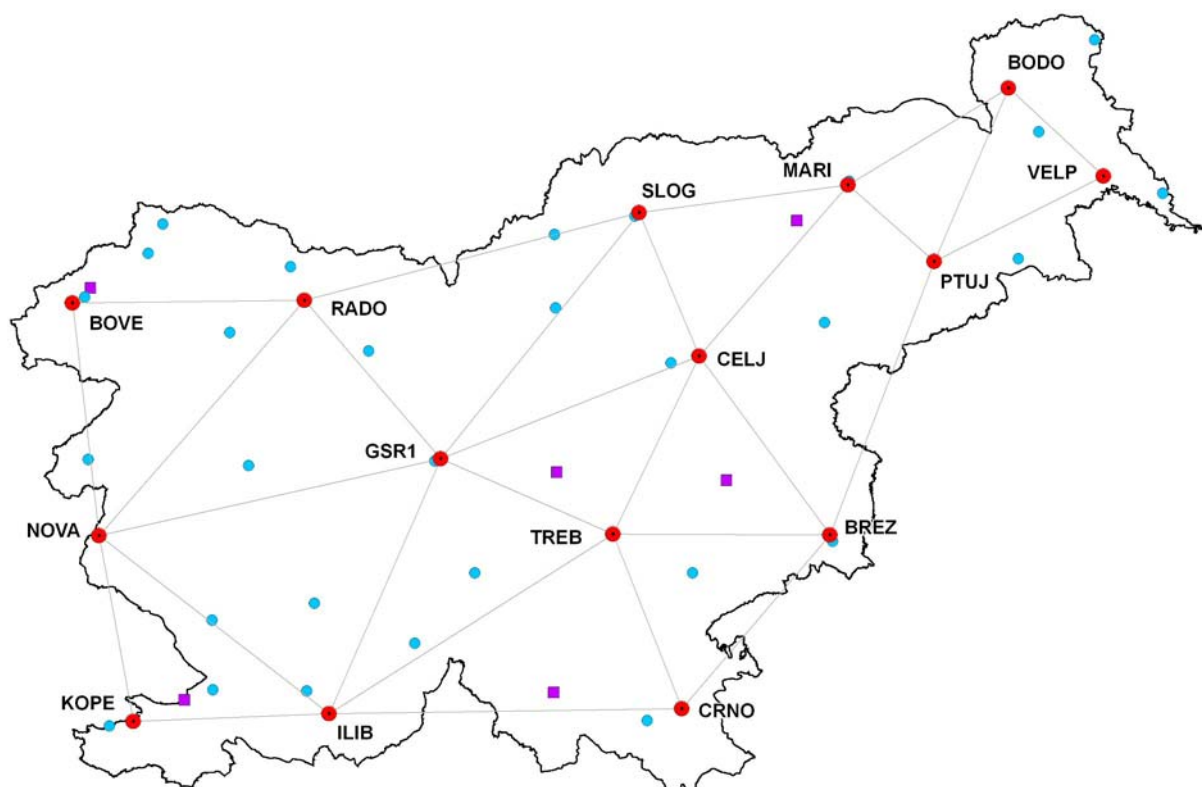
²² V primeru Radovljice je glede na uporabljene kartografske in topografske podloge (DTK 50, TTN 5, DOF 5) pričakovati spremembo stanja na terenu – gradbišče avtoceste (reper CP-486 je ohranjen, stanje ostalih treba predhodno preveriti).

3.3.3.2.3 Kontrolne meritve

Za navezavo vsake PP na nivelman so potrebne še kontrolne meritve, in sicer se izvede navezava na dodatni, kontrolni reper v bližini (predlog je podan v zgornji preglednici in v [Prilogi N2.3-05](#)), ter primerja na oba načina dobljene višinske razlike. Navezava na kontrolni reper je potrebna zaradi kontrole dobljenih višinskih razlik, predvsem zaradi morebitnih odstopanj kot posledica sprememb stanja oziroma stabilizacije navezovalnih reperjev na terenu (premik reperja, premik objekta, uničen reper, ipd.). V primeru, da je razlika med merjeno in dano višinsko razliko večja, kot je predpisano dovoljeno odstopanje za 1. red nivelmanske mreže, je potrebno navezavo izvesti na naslednji reper. V grafičnih prilogah ([Priloga N2.3-05](#)) so predlagani kontrolni reperji prikazani poudarjeno in z izpisanim redom-številko reperja, ni pa predlagana pot niveliranja.

3.3.3.3 Stalne postaje in gravimetrija

Za potrebe določitve vrednosti težnostnega pospeška na posamezni PP je treba izvesti gravimetrično izmero. Gravimetrična izmera za vsako PP pomeni izvedbo terenskih gravimetričnih meritev na vsaki posamezni točki v predvidenem geometrijskem liku (glede na plan meritev in razporeditev gravimetričnih točk). Spodnja slika prikazuje razporeditev absolutnih (vijolični kvadrati) in relativnih (modri krogi) gravimetričnih točk, skupaj s permanentnimi GPS-postajami omrežja SIGNAL.



Slika 3.3-8: Razporeditev absolutnih (vijolični kvadrati) in relativnih (modri krogi) gravimetričnih točk ter GPS-postaj omrežja signal.

Točke, ki bodo vključene v izmero za določitev težnostnega pospeška na posamezni PP, so opredeljene in grafično prikazane v planu izmere za vsako PP posebej ([Priloga N2.3-06](#)). Na izrisih so prikazane, poimenovane in medsebojno povezane tiste točke, ki so v primeru posamezne PP predvidene za vključitev v gravimetrično izmero oziroma v zaključene like. Izbor gravimetričnih točk za navezavo posamezne PP na obstoječo gravimetrično mrežo je predstavljen v spodnji preglednici.

Skladno s prioritarnim planom, katere PP omrežja SIGNAL so najprej predvidene za gravimetrično izmero ter določitev nadmorskih višin, so te posamezne PP postaje v tabeli obarvane rdeče. Prav tako so prioritete PP in v tabeli navedene točke gravimetrične mreže označene z rdečo barvo tudi na priloženi karti, ki prikazuje prioritete PP ter izhodiščne gravimetrične točke za izvedbo gravimetričnih meritev ([Priloga N2.3-03](#)).

Ime PP	Oznaka PP	Gravimetrija
Bodonci	BODO	22 - BODO - 29 - 22
Bovec	BOVE	600 - BOVE - 8 - 600
Brežice	BREZ	28 - BREZ - 27 - 28
Celje	CELJ	17 - SLOG - 14 - CELJ - PTUJ - 17
Črnomelj	CRNO	2 - TREB - 28 - CRNO - 2
Ljubljana	GSR1	2 - GSR1 - 11 - RADO - 2
Ilirska Bistrica	ILIB	4 - ILIB - 12 - 4
Koper	KOPE	2 - KOPE - 19 - NOVA - 6 - 2
Maribor	MARI	400 - MARI - 18 - 400
Nova Gorica	NOVA	2 - KOPE - 19 - NOVA - 6 - 2
Ptuj	PTUJ	17 - SLOG - 14 - CELJ - PTUJ - 17
Radovljica	RADO	2 - GSR1 - 11 - RADO - 2
Slovenj Gradec	SLOG	17 - SLOG - 14 - CELJ - PTUJ - 17
Trebnje	TREB	2 - TREB - 28 - CRNO - 2
Velika Polana	VELP	22 - VELP - 24 - 22

Preglednica 3.3-5: Predlog izvedbe gravimetričnih meritev za navezavo PP na gravimetrično mrežo.

Gravimetrična izmera na prioritarnih PP je planirana skladno s planom izvajanja nove nivelmanske izmere, z namenom pridobitve časovno čim bolj enotnih meritev. Zato je predvideno izvajanje gravimetričnih meritev na več PP v eni zaključeni zanki. Za preostale PP plan zaenkrat predvideva gravimetrično izmero v manjših, lokalnih zankah. Kasneje se lahko gravimetrična izmera tudi na teh PP prilagodi planu nove nivelmanske izmere.

3.3.4 Kadrovsko-finančna ocena

V nadaljevanju so podana izhodišča za podrobnejšo kadrovsko-finančno oceno, ki se lahko naknadno izvede na osnovi konkretnih urnih postavk ter predvidene dinamike del. Glede na pričakovani obseg del je ocenjena potreba po kadrih ter čas, potreben za izvedbo posamezne naloge v sklopu projekta. Izhodiščni kriteriji za podajo ocene so bili:

- število operaterjev, potrebnih za izvedbo posamezne naloge (niveliranje, trigonometrično višinomerstvo, gravimetrična izmera);
- dolžina predvidenih nivelmanskih vlakov;
- oddaljenost gravimetričnih točk v sklopu posamezne izmere;
- čas, potreben za izvedbo posamezne naloge.

3.3.4.1 Splošne predpostavke za izvedbo projekta

Za izvedbo podrobnejšega kadrovsko-finančnega plana predlagamo naslednje predpostavke (bistvene so povzete v spodnji preglednici), ki so bile upoštevane tudi pri v nadaljevanju podani okvirni oceni:

- trajanje delovnega dneva je 8 ur;
- hitrost niveliranja je cca. 700 m/uro;
- čas trajanja izvedbe postopkov trigonometričnega višinomerstva na območju ene PP je cca. 2 uri (začasna stabilizacija točk, namestitve tarče, izvedba meritev);
- čas trajanja gravimetrične izmere na eni točki je cca. 30 minut;
- za vsako PP je predviden en dan za potrebe terenskega ogleda in stabilizacijo izhodiščne točke za prenos nadmorske višine in vrednosti težnostnega pospeška;
- za PP, vključene v krajše, lokalne gravimetrične zanke (do 100 km medsebojne oddaljenosti točk po cesti), je predvidena izvedba gravimetričnih meritev in postopkov trigonometričnega višinomerstva v enem dnevu;
- nekatere PP so vključene v iste gravimetrične zanke oziroma je predvidena gravimetrična izmera na več PP v enem dnevu;
- dolžina in čas vožnje med posameznimi gravimetričnimi točkami sta ocenjena na podlagi planiranja najhitrejše poti (www.promet.si);
- ocenjena sta dolžina in čas samo za enkratno vožnjo od izhodišča do izhodišča, brez vmesnih vračanj zaradi ponavljanja meritev;
- organizacija in postopek izvedbe terenskih del v okvirni oceni ni vključena (vožnja na delovišče in nazaj, organizacija lokalnih terenskih ekip, nočitve, zapleti na delovišču, ipd.);
- predvidene kadrovske potrebe za izvedbo niveliranja so 1 operater in 2 figuranta, za izvedbo postopkov trigonometričnega višinomerstva 2 operaterja in 1 figurant, za izvedbo gravimetričnih meritev pa 1 operater in 1 figurant (voznik);
- potrebe po številu operaterjev in figurantov so odvisne od organizacije del oziroma sočasne izvedbe več predvidenih nalog.

Vrsta meritev	Število operaterjev	Število figurantov	Ocenjena hitrost izvajanja meritev
geometrični nivelman	1	2	700 m/uro
trigonometrično višinomerstvo	2	1	2 uri za eno PP
gravimetrična izmera	1	1	30 minut za eno GT

Preglednica 3.3-6: Predpostavke glede kadrovskih potreb in hitrosti izvajanja del.

3.3.4.1 Izhodišča za podrobnejši plan po posameznih stalnih postajah omrežja

V prejšnjem poglavju našete predpostavke so bile osnova za predlog izhodišč za izvedbo podrobnejšega kadrovsko-finančnega plana, predvsem glede na predviden obseg del na posameznih permanentnih postajah. Ocenjen čas za izvedbo del na posamezni PP je predstavljen v spodnji preglednici. Podane so ocene o času, potrebnem za izvedbo posameznih meritev (niveliranje, trigonometrično višinomerstvo, gravimetrična izmera), okvirnem času, potrebnem za vožnjo med posameznimi gravimetričnimi točkami, ter skupna ocena predvidenega trajanja del za vsako PP. Gre za splošne, okvirne ocene, ki pa so lahko primerno izhodišče za izdelavo podrobnejšega plana.

Oznaka PP	dolžina niv. [m]	čas niv. [h]	čas trig. viš. [h]	dolžina grav. zank [km]	čas vožnje [h]	št. grav. točk	čas grav. [h]	čas skupaj [h]
BODO	15200	22	2	85	1,5	4	2	27,5
BOVE	240	0,5	2	10	0,5	4	2	5
BREZ	4360	6	2	80	1	4	2	11
CELJ	2440	3,5	2	185	3	6	3	11,5
CRNO	380	0,5	2	200	3	5	2,5	8
GSRI	5240	7,5	2	120	1,5	5	2,5	13,5
ILIB	3520	5	2	70	1	4	2	10
KOPE	520	1	2	340	4	6	3	10
MARI	1400	2	2	55	1,5	4	2	7,5
NOVA	8320	12	2	-	-	-	-	14
PTUJ	1080	1,5	2	-	-	-	-	3,5
RADO	2980	4	2	-	-	-	-	6
SLOG	460	1	2	-	-	-	-	3
TREB	280	0,5	2	-	-	-	-	2,5
VELP	7120	10	2	60	1	4	2	15

Preglednica 3.3-7: Ocenjen čas za izvedbo meritev na posameznih PP.

4 Naloge na gravimetričnem koordinatnem sistemu

4.1 Dokončni izračun točk gravimetrične mreže 1. reda (NALOGA 3.1)

Pripravila: dr. Miran Kuhar in dr. Božo Koler, oba FGG

Povzetek

Izvedena je bila analiza vpliva nadmorskih višin na izračun gravimetrične mreže, ki je pokazala, da za izračun zadoščajo že približne višine (metrska natančnost); po potrebi pa se manj natančne višine popravi v 2. iteraciji izračuna.

Sledil je sam izračun in izravnava mreže.

Poročilo o izračunu s končnimi rezultati je v samostojni (ločeno vezani) prilogi:

- **Izračun gravimetrične mreže 1. reda.** Tehnično poročilo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, in Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, marec 2008, 16+311 str.

4.2 Priprava projekta gravimetrične izmere na nivelmanu visoke natančnosti (NALOGA 3.2)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Poročilo pripravil: dr. Božo Koler, FGG

Povzetek

Naloga se povezuje z 2. nalogo 2. sklopa. Glede na ugotovitve bo za določitev ustreznih kriterijev glede vrste, načina, trajanja in obdelave meritev ter potrebne gostote točk predlagana posebna vzorčna izmera. Zato je bil pripravljen tudi predlog vzorčne izmere, ki obsega predlog testnega območja z argumenti za izbor, predlog izmer z različnimi merskimi tehnikami, okvirno število točk, vključenih v vzorčno izmero ter predvidene rezultate vzorčne izmere; glej tudi 2. nalogo 2. sklopa.

4.2.1 Predlog gravimetrične in GNSS-izmere na nivelmanu visoke natančnosti

4.2.1.1 Razlogi za gravimetrično in GNSS-izmero na rreperjih NVN

Gravimetrično izmero na reperjih izvajamo za potrebe določitve geopotencialnih kot, ki so osnova za določitev višin točk v sodobnem višinskem sistemu. Vprašanje seveda je, kako pogosto je potrebno določiti težnostni pospešek na reperjih, ki se spreminja glede na spremembo položaja točke ϕ in višinsko razliko, da ne izgubimo na natančnosti določitve višin reperjev. Z ustrezno izbiro gostote izmere je možno tudi časovno in stroškovno optimirati gravimetrično izmero na reperjih.

4.2.1.2 Analiza vpliva izmerjene vrednosti težnega pospeška na popravke merjenih višinskih razlik

Analiza vpliva izmerjenih vrednosti težnega pospeška na popravke merjenih višinskih razlik je bila opravljena na nivelmanskimi poligonih, ki se širijo približno v smeri sever – jug, Nova Gorica – Most na Soči (preglednica 12), kjer imamo opravka tudi z večjimi višinskimi razlikami med reperji in Arja vas – Dobova (preglednica 13), kjer so reperji stabilizirani ob železniški progi in so višinske razlike med reperji manjše. Analiza je bila opravljena na osnovi podatkov o merjenem težnostnem pospešku, višinski razliki, ki je bila izvedena med izmero II NVN. Iz teorije vemo in iz preglednic lahko vidimo, da ni potrebno težnostni pospešek izmeriti na vsakem reperju, saj znaša razlika med popravki par stotink milimetra. Iz preglednice 12 lahko tudi vidimo, da so v hribovitih predelih, kjer so višinske razlike med reperji večje, večje tudi razlike v popravkih, glede na ravne predele. Da bi bil vpliv merjenega težnostnega pospeška na izračun popravkov enak, predlagamo, da v hribovitih predelih izmerimo težnostni pospešek na reperjih, kjer znaša razlika približno 2 mgala oziroma v ravninskih predelih približno 4 m gale.

4.2.1.3 Analiza vpliva spremembe položaja (ϕ) in višine na težni pospešek

Spremembo vpliva položaja in višine/višinske razlike na težnostni pospešek, lahko določimo na osnovi ocene vpliva na normalni težnostni pospešek γ_0 oziroma γ_H . Na osnovi ocene lahko zaključimo, da se težnostni pospešek spremeni za 2 m gala, če se položaj točke spremeni za približno 1' 20" oziroma višinska razlika med točkama za približno 7 m. Za ravninske predele, kjer je zahtevana natančnost določitve manjša, se težnostni pospešek spremeni za 4 mgale, če se položaj točke v smeri sever – jug spremeni za približno 2' 40" oziroma višinska razlika za približno 14 m.

4.2.1.4 Izvedba gravimetrične izmere za potrebe uvedbe novega višinskega sistema

Gravimetrično izmero za potrebe določitve geopotencialnih kot izvedemo hkrati oziroma s čim krajšim časovnim zamikom, glede na nivelmansko izmero. Gravimetrično izmero izvaja ekipa, ki jo sestavlja operater in voznik, ki je istočasno v pomoč operaterju. Gravimetrično izmero navežemo na točke gravimetrične mreže 1. reda, ki se nahajajo na območjih, kjer se gravimetrična izmera izvaja. Zaradi kontrole izmere Δg predlagamo, da gravimetrično izmero navežemo na dve točki gravimetrične mreže 1. reda ali zaključimo na izhodiščni točki. Pred izvedbo gravimetrične izmere na terenu je potrebno:

1. Pripraviti gravimeter v skladu z navodili proizvajalca,
2. Pripraviti plan izmere
 - izbira navezovalnih točk gravimetrične mreže 1. reda,
 - topografije reperjev nivelmanskega poligona, na katerem se bo izmera izvajala,
 - izbira točk, na katerih bomo gravimetrično izmero izvedli (glede na spremembo $\Delta\phi$ oziroma Δh).

Na terenu je potrebno mesto postavitve gravimetra očistiti in pripraviti tako, da bo gravimeter med izmero stabilen.

4.2.2 Vzorčna izmera točk točk omrežja SIGNAL, točk gravimetrične mreže I. reda in reperjev nivelmanske mreže

Osnovni cilj vzorčne izmere, ki bi jo izvedli skupaj s sodelavci GURS-a, je pridobiti optimalno metodologijo izvajanja GNSS, gravimetrične in nivelmanske izmere na osnovnih točkah državne geodetske mreže, ki bo zagotavljala določitev višin točk z 10 mm natančnostjo. Ker se uporabljajo različne geodetske merske tehnike za določitev elipsoidne in normalne višine ter težnostnega pospeška na posameznih točkah, so problemi, ki so povezani z izmero manjkajočih količin za posamezno točko različni. Tako imamo na GPS točkah omrežja SIGNAL na voljo dovolj dolg niz opazovanj, da lahko kvalitetno določimo elipsoidno višino, normalne ortometrične višine so dobro določene na reperjih državne nivelmanske mreže in težnostni pospešek na točkah gravimetrične mreže (0 in 1. reda). Dejstvo je, da prenos višine z reperja z metodo geometričnega nivelmana na točko geodetske mreže, ki jo uporabimo za določitev višine SIGNAL-a z metodo trigonometričnega višinomerstva ali gravi-

metrično točko, ne predstavlja večjega problema glede na zahtevano natančnost (približno 1 cm). Se pa pojavi seveda vprašanje, kako zagotoviti zahtevano natančnost z GNSS izmero na gravimetričnih točkah in reperjih (statična metoda, vključevanje v omrežje SIGNAL...). Odgovor na to vprašanje je pomemben tudi za uporabnike, ki bi želeli GNSS višinomerstvo uporabiti za višinsko izmero (zakoličevanje, detajlna izmera). Poleg tega je potrebno določiti osnovne parametre oblike in dimenzije terestrične mreže, s pomočjo katere lahko povežemo točko SIGNALA s točko, ki ima določeno višino z geometričnim nivelmanom.

Pri gravimetrični izmeri moramo zagotoviti natančnost določitve težnostnega pospeška z natančnostjo nekaj mgalov (preglednica 4.2-1). Z relativnim gravimetrom Scintrex CG 3 M je možno seveda doseči bistveno večjo natančnost. Vprašanje pa je, koliko časa je potrebno pustiti gravimeter na točki po horizontiranju (10 minut pri izmeri gravimetrične mreže I. reda), da se umiri, saj je predvsem od tega odvisno koliko časa bomo porabili za gravimetrično izmero.

Pri gravimetrični izmeri za potrebe določitve geopotencialnih kot, ki so osnova za določitev višin točk v sodobnem višinskem sistemu, je seveda vprašanje, kako pogosto je potrebno določiti težnostni pospešek na reperjih, da ne izgubimo na natančnosti določitve višin reperjev.

Preglednica 4.2-1: Podatki o nivelmanski izmeri nivelmanske zanke:
 Kalce–Ajdoščina–Nova Gorica–Most na Soči–Kalce

Nova Gorica – Most na Soči

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
CP673	97,53132		980629,87							980677,32						
		-2,53362		980630,13	-24,84544	980628,41	-24,84540	980627,61	-24,84538		980677,86	0,123	0,128	0,130	0,00	-0,01
C133	94,99776		980630,39							980678,40						
		0,97955		980629,91	9,60576	980628,41	9,60575	980627,61	9,60574		980678,34	-0,048	-0,050	-0,051	0,00	0,00
5324B	95,97722		980629,42							980678,27						
		4,45410		980628,18	43,67816	980628,41	43,67817	980627,61	43,67813		980677,75	-0,225	-0,224	-0,228	0,00	0,00
PN-II-5324	100,43102		980626,94							980677,23						
		-12,40919		980626,62	-121,68782	980624,76	-121,68759	980627,61	-121,68794		980679,35	0,667	0,691	0,655	-0,02	0,01
OP551	88,02242		980626,29							980681,48						
		-8,65988		980625,82	-84,92102	980624,76	-84,92093	980627,61	-84,92117		980683,01	0,505	0,514	0,489	-0,01	0,02
FR1033	79,36297		980625,35							980684,53						
		6,58332		980625,38	64,55771	980624,76	64,55767	980627,39	64,55784		980683,74	-0,392	-0,396	-0,378	0,00	-0,01
PNK5352A	85,94581		980625,41							980682,95						
		20,70769		980623,99	203,06458	980624,76	203,06473	980627,39	203,06528		980679,91	-1,181	-1,165	-1,109	-0,02	-0,07
PN-II-5352	106,65225		980622,57							980676,86						
		-21,19960		980624,63	-207,88850	980624,63	-207,88850	980627,39	-207,88908		980680,40	1,206	1,206	1,146	0,00	0,06
PNK5351A	85,45374		980626,68							980683,93						
		-5,86256		980626,97	-57,48984	980628,05	-57,48991	980627,39	-57,48987		980685,06	0,347	0,341	0,345	0,01	0,00
PN-II-5351	79,59144		980627,26							980686,19						
		1,48037		980627,40	14,51691	980628,05	14,51692	980627,39	14,51691		980686,14	-0,089	-0,088	-0,089	0,00	0,00
PNK5350A	81,07165		980627,54							980686,09						
		2,51010		980627,72	24,61474	980628,05	24,61474	980627,39	24,61473		980685,84	-0,149	-0,148	-0,150	0,00	0,00
PN-II-5350	83,58153		980627,90							980685,59						
		-1,31672		980628,25	-12,91213	980628,05	-12,91213	980627,39	-12,91212		980686,08	0,078	0,078	0,079	0,00	0,00
PNK5349A	82,26478		980628,60							980686,58						
		-1,38332		980629,01	-13,56524	980628,05	-13,56522	980627,39	-13,56521		980687,13	0,082	0,083	0,084	0,00	0,00
PN-II-5349	80,88143		980629,42							980687,68						
		1,22853		980631,26	12,04735	980631,26	12,04735	980625,28	12,04728		980687,70	-0,071	-0,071	-0,078	0,00	0,01
PNK5348A	82,10979		980633,10							980687,73						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
PNK5348A	82,10979		980633,10													
		7,80714		980632,49	76,55935	980631,64	76,55928	980625,28	76,55879		980686,79	-0,432	-0,439	-0,490	0,01	0,06
O41	89,91641		980631,88							980685,85						
		4,36334		980631,61	42,78829	980631,64	42,78829	980625,28	42,78801		980685,38	-0,239	-0,239	-0,267	0,00	0,03
PN-II-5348	94,27941		980631,34							980684,90						
		4,94152		980630,76	48,45806	980631,64	48,45811	980625,28	48,45779		980684,33	-0,270	-0,266	-0,298	0,00	0,03
PNK5347B	99,22058		980630,17							980683,76						
		0,71555		980629,99	7,01690	980628,25	7,01689	980625,28	7,01686		980683,88	-0,039	-0,041	-0,043	0,00	0,00
OP500	99,93600		980629,80							980684,01						
		-13,75037		980630,92	-134,84038	980628,25	-134,84001	980625,28	-134,83960		980686,16	0,775	0,812	0,854	-0,04	-0,08
5347A	86,18636		980632,04							980688,31						
		8,08038		980631,96	79,23879	980628,25	79,23849	980625,28	79,23825		980687,23	-0,455	-0,486	-0,511	0,03	0,06
PN-II-5347	94,26618		980631,87							980686,16						
		-2,61072		980631,94	-25,60155	980628,25	-25,60146	980625,28	-25,60138		980686,60	0,146	0,155	0,163	-0,01	-0,02
PNK5346A	91,65556		980632,00							980687,05						
		10,14790		980630,88	99,51344	980628,25	99,51317	980625,28	99,51287		980685,59	-0,566	-0,593	-0,624	0,03	0,06
O30	101,80283		980629,76							980684,14						
		-0,04186		980629,59	-0,41049	980628,25	-0,41049	980625,28	-0,41049		980684,30	0,002	0,002	0,003	0,00	0,00
PN-II-5346	101,76091		980629,42							980684,46						
		-2,49268		980629,87	-24,44396	980628,25	-24,44392	980625,28	-24,44385		980685,23	0,141	0,145	0,152	0,00	-0,01
PNK5345C	99,26823		980630,32							980686,00						
		10,47210		980629,90	102,69254	980628,25	102,69237	980625,28	102,69206		980684,71	-0,585	-0,603	-0,635	0,02	0,05
PNK5345B	109,73962		980629,47							980683,43						
		-4,53086		980629,88	-44,43097	980628,25	-44,43089	980625,28	-44,43076		980684,45	0,252	0,260	0,273	-0,01	-0,02
PNK5345A	105,20888		980630,29							980685,48						
		-0,40031		980630,04	-3,92556	980628,25	-3,92555	980625,28	-3,92554		980685,71	0,023	0,023	0,025	0,00	0,00
PNK5345	104,80851		980629,78							980685,95						
		7,74432		980629,50	75,94309	980628,25	75,94299	980625,28	75,94276		980684,98	-0,438	-0,448	-0,472	0,01	0,03
PNK5343B	112,55230		980629,21							980684,02						
		-1,37264		980629,25	-13,46051	980628,25	-13,46050	980625,28	-13,46045		980684,59	0,077	0,079	0,083	0,00	-0,01
5343A	111,17957		980629,28							980685,17						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
5343A	111,17957		980629,28													
		2,24410		980629,80	22,00631	980628,25	22,00628	980625,28	22,00621		980684,86	-0,126	-0,130	-0,136	0,00	0,01
CP668	113,42350		980630,32							980684,55						
		23,18735		980628,33	227,38172	980628,25	227,38170	980625,28	227,38101		980681,23	-1,251	-1,253	-1,323	0,00	0,07
OP673	136,60948		980626,33							980677,90						
		34,76017		980623,73	340,86648	980623,73	340,86648	980625,28	340,86701		980672,65	-1,734	-1,734	-1,679	0,00	-0,05
PNK5342A	171,36783		980621,13							980667,40						
		14,37013		980619,98	140,91637	980619,98	140,91637	980623,98	140,91694		980665,17	-0,662	-0,662	-0,604	0,00	-0,06
PN-II-5342	185,73726		980618,82							980662,94						
		-1,99648		980618,86	-19,57786	980620,60	-19,57789	980623,98	-19,57796		980663,21	0,090	0,087	0,080	0,00	0,01
C119	183,74084		980618,90							980663,48						
		-22,14444		980620,64	-217,15295	980620,60	-217,15294	980623,98	-217,15369		980667,05	1,048	1,049	0,973	0,00	0,08
PNK5341A	161,59736		980622,38							980670,62						
		-30,21544		980624,61	-296,30004	980624,61	-296,30004	980623,98	-296,29985		980675,43	1,566	1,566	1,585	0,00	-0,02
PN-II-5341	131,38339		980626,83							980680,24						
		-3,19866		980626,08	-31,36689	980624,93	-31,36686	980624,82	-31,36685		980680,82	0,179	0,182	0,183	0,00	0,00
OP555	128,18485		980625,32							980681,40						
		-2,69048		980625,15	-26,38352	980624,93	-26,38352	980624,82	-26,38351		980682,07	0,156	0,157	0,157	0,00	0,00
PNK5340C	125,49442		980624,98							980682,74						
		4,00323		980624,00	39,25663	980624,93	39,25667	980624,82	39,25667		980682,31	-0,238	-0,234	-0,235	0,00	0,00
O28	129,49732		980623,02							980681,88						
		13,33372		980622,96	130,75352	980624,67	130,75375	980624,82	130,75377		980679,90	-0,774	-0,751	-0,749	-0,02	-0,03
PNK5340B	142,83021		980622,89							980677,92						
		-5,07628		980623,22	-49,77918	980624,67	-49,77925	980624,82	-49,77926		980678,82	0,288	0,280	0,280	0,01	0,01
PNK5340A	137,75412		980623,55							980679,73						
		5,73165		980624,94	56,20599	980624,67	56,20597	980624,82	56,20598		980679,14	-0,317	-0,318	-0,317	0,00	0,00
PN-II-5340	143,48532		980626,32							980678,54						
		6,85029		980625,57	67,17570	980624,57	67,17563	980624,82	67,17564		980677,64	-0,364	-0,371	-0,369	0,01	0,01
PNK5339	150,33515		980624,81							980676,73						
		17,47480		980623,81	171,36205	980624,57	171,36218	980624,82	171,36223		980674,24	-0,899	-0,885	-0,881	-0,01	-0,02
O19	167,80895		980622,81							980671,74						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
O19	167,80895		980622,81													
		29,50416		980620,39	289,32381	980620,39	289,32381	980620,39	289,32381		980667,08	-1,405	-1,405	-1,405	0,00	0,00
OP552	197,31172		980617,97							980662,41						
		37,45549		980615,40	367,29430	980615,40	367,29430	980615,40	367,29430		980656,53	-1,571	-1,571	-1,571	0,00	0,00
CP657	234,76566		980612,82							980650,66						
		6,39054		980611,55	62,66637	980613,88	62,66652	980617,44	62,66675		980649,77	-0,249	-0,234	-0,211	-0,02	-0,04
CP655	241,15585		980610,27							980648,89						
		-8,80632		980610,77	-86,35572	980613,88	-86,35600	980617,44	-86,35631		980650,42	0,356	0,328	0,296	0,03	0,06
OP549	232,34975		980611,26							980651,96						
		-1,95370		980611,28	-19,15820	980613,88	-19,15825	980617,44	-19,15832		980652,46	0,082	0,077	0,070	0,01	0,01
CP651	230,39601		980611,29							980652,96						
		-21,85695		980613,11	-214,33212	980613,88	-214,33228	980617,44	-214,33306		980656,39	0,965	0,948	0,868	0,02	0,10
CP648	208,53998		980614,93							980659,83						
		-46,03527		980618,49	-451,43037	980618,49	-451,43037	980617,44	-451,42988		980667,02	2,278	2,278	2,328	0,00	-0,05
C177	162,50694		980622,05							980674,21						
		-0,89280		980623,35	-8,75501	980623,35	-8,75501	980620,29	-8,75498		980674,24	0,046	0,046	0,049	0,00	0,00
CP645	161,61419		980624,65							980674,28						
		-4,27437		980624,07	-41,91550	980621,59	-41,91539	980620,29	-41,91534		980674,88	0,221	0,232	0,238	-0,01	-0,02
OP547	157,34002		980623,49							980675,47						
		25,02349		980621,01	245,38560	980621,59	245,38574	980620,29	245,38542		980671,45	-1,287	-1,272	-1,306	-0,01	0,02
2870	182,36222		980618,52							980667,43						

Arja vas - Dobova

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	q _{mer}	q _{pov-vsi}	Geop.raz.	q _{pov-2mgala}	Geop.raz.	q _{pov-4mgala}	Geop.raz.	Y	Y _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
2753	251,63349		980641,26							980655,18		mm	mm	mm		
		-2,70794		980641,92	-26,55519	980639,32	-26,55512	980643,56	-26,55524		980655,48	0,037	0,045	0,033	-0,01	0,00
CP289	248,92558		980642,57							980655,79						
		-1,21333		980642,78	-11,89843	980639,32	-11,89839	980643,56	-11,89844		980655,83	0,016	0,020	0,015	0,00	0,00
2765	247,71227		980642,99							980655,88						
		-2,51866		980640,19	-24,69899	980639,32	-24,69897	980643,56	-24,69908		980656,26	0,041	0,044	0,033	0,00	0,01
CP299	245,19363		980637,38							980656,64						
		-2,76036		980641,16	-27,06923	980641,16	-27,06923	980643,56	-27,06929		980656,87	0,044	0,044	0,037	0,00	0,01
2757	242,43333		980644,94							980657,11						
		-1,67127		980645,40	-16,38923	980646,93	-16,38926	980643,56	-16,38920		980657,22	0,020	0,018	0,023	0,00	0,00
CP291	240,76208		980645,86							980657,32						
		-2,44288		980647,39	-23,95604	980646,93	-23,95603	980649,14	-23,95608		980657,50	0,025	0,026	0,021	0,00	0,00
CP265	238,31926		980648,91							980657,68						
		0,70510		980650,66	6,91457	980650,66	6,91457	980649,14	6,91456		980657,40	-0,005	-0,005	-0,006	0,00	0,00
C141	239,02438		980652,41							980657,13						
		2,08923		980652,13	20,48808	980651,03	20,48806	980650,21	20,48804		980656,48	-0,009	-0,012	-0,013	0,00	0,00
CP278	241,11371		980651,84							980655,83						
		-5,97404		980652,29	-58,58456	980651,03	-58,58448	980650,21	-58,58444		980656,53	0,026	0,034	0,038	-0,01	-0,01
CP290	235,13976		980652,74							980657,22						
		0,85774		980651,79	8,41144	980651,03	8,41144	980650,21	8,41143		980656,92	-0,004	-0,005	-0,006	0,00	0,00
CP168	235,99755		980650,84							980656,61						
		-1,91468		980651,16	-18,77633	980651,03	-18,77633	980650,21	-18,77631		980656,80	0,011	0,011	0,013	0,00	0,00
CP298	234,08284		980651,47							980657,00						
		11,28904		980650,56	110,70603	980651,03	110,70609	980650,21	110,70599		980654,88	-0,050	-0,044	-0,054	-0,01	0,00
CP178	245,37195		980649,65							980652,76						
		-15,30883		980651,64	-150,12629	980651,64	-150,12629	980650,21	-150,12607		980654,93	0,051	0,051	0,074	0,00	-0,02
CP159	230,06321		980653,63							980657,11						
		1,41475		980654,24	13,87381	980654,84	13,87381	980650,21	13,87375		980656,65	-0,003	-0,003	-0,009	0,00	0,01
7	231,47801		980654,85							980656,19						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
7	231,47801		980654,85													
		-2,23654		980654,99	-21,93274	980654,84	-21,93274	980650,21	-21,93263		980656,11	0,003	0,003	0,013	0,00	-0,01
OP823	229,24160		980655,13							980656,03						
		-3,87408		980655,59	-37,99138	980654,84	-37,99135	980650,21	-37,99117		980656,16	0,002	0,005	0,024	0,00	-0,02
OP989	225,36766		980656,04							980656,30						
		-1,06620		980654,24	-10,45574	980654,24	-10,45574	980650,21	-10,45569		980656,04	0,002	0,002	0,006	0,00	0,00
10	224,30157		980652,43							980655,79						
		0,88406		980650,63	8,66954	980650,63	8,66954	980650,21	8,66954		980655,38	-0,004	-0,004	-0,005	0,00	0,00
C177	225,18570		980648,82							980654,97						
		-4,83116		980648,42	-47,37669	980647,77	-47,37666	980650,21	-47,37678		980655,49	0,035	0,038	0,026	0,00	0,01
CP730	220,35464		980648,01							980656,01						
		3,84212		980647,36	37,67765	980647,77	37,67766	980650,34	37,67776		980655,25	-0,031	-0,029	-0,019	0,00	-0,01
CP674	224,19673		980646,71							980654,50						
		-5,03324		980646,63	-49,35830	980648,31	-49,35838	980650,34	-49,35848		980655,26	0,044	0,036	0,025	0,01	0,02
CP394	219,16346		980646,55							980656,02						
		-1,54504		980646,60	-15,15138	980648,31	-15,15141	980650,34	-15,15144		980656,30	0,015	0,013	0,009	0,00	0,01
CP378	217,61838		980646,65							980656,58						
		-1,68149		980648,28	-16,48950	980648,31	-16,48950	980650,34	-16,48954		980656,50	0,014	0,014	0,011	0,00	0,00
CP275	215,93697		980649,91							980656,42						
		3,81863		980649,71	37,44738	980648,07	37,44732	980650,34	37,44741		980655,44	-0,022	-0,029	-0,020	0,01	0,00
CP195	219,75567		980649,50							980654,46						
		5,38017		980649,61	52,76062	980648,07	52,76053	980650,34	52,76066		980653,30	-0,020	-0,029	-0,016	0,01	0,00
CP315	225,13591		980649,72							980652,15						
		-0,22611		980650,01	-2,21735	980648,07	-2,21734	980650,34	-2,21735		980652,04	0,000	0,001	0,000	0,00	0,00
CP375	224,90980		980650,29							980651,94						
		9,30909		980649,54	91,28955	980648,07	91,28941	980650,34	91,28962		980650,24	-0,007	-0,021	0,001	0,01	-0,01
OP522	234,21897		980648,78							980648,54						
		-10,64537		980649,68	-104,39379	980648,07	-104,39362	980650,34	-104,39386		980649,94	0,003	0,020	-0,004	-0,02	0,01
O456	223,57365		980650,57							980651,35						
		-13,51335		980650,47	-132,51873	980648,07	-132,51841	980650,34	-132,51871		980653,30	0,039	0,072	0,041	-0,03	0,00
OP880	210,06036		980650,36							980655,26						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
OP880	210,06036		980650,36							980655,26						
		-7,41942		980649,48	-72,75850	980648,07	-72,75840	980650,34	-72,75857		980656,18	0,051	0,061	0,044	-0,01	0,01
CP631	202,64104		980648,59							980657,10						
		9,45232		980648,42	92,69403	980648,07	92,69399	980650,34	92,69421		980655,45	-0,068	-0,071	-0,049	0,00	-0,02
OP913	212,09332		980648,25							980653,81						
		-12,30880		980648,20	-120,70603	980648,07	-120,70601	980650,34	-120,70629		980655,42	0,091	0,092	0,064	0,00	0,03
CP436	199,78466		980648,15							980657,03						
		2,47432		980647,19	24,26435	980648,07	24,26437	980650,34	24,26443		980656,52	-0,024	-0,021	-0,016	0,00	-0,01
FR1017	202,25896		980646,23							980656,01						
		-2,65741		980646,35	-26,05979	980647,75	-26,05983	980650,34	-26,05990		980656,38	0,027	0,023	0,016	0,00	0,01
CP437	199,60156		980646,46							980656,76						
		4,04925		980646,25	39,70882	980647,75	39,70888	980650,34	39,70898		980656,06	-0,040	-0,034	-0,024	-0,01	-0,02
MLXXVIII	203,65076		980646,04							980655,36						
		0,10224		980645,75	1,00261	980647,75	1,00261	980650,34	1,00262		980655,18	-0,001	-0,001	-0,001	0,00	0,00
CP369	203,75304		980645,45							980655,00						
		-1,99336		980645,07	-19,54779	980647,75	-19,54784	980650,34	-19,54789		980655,02	0,020	0,015	0,010	0,01	0,01
23	201,75975		980644,69							980655,04						
		-3,02049		980645,89	-29,62031	980647,75	-29,62037	980650,34	-29,62045		980655,20	0,029	0,023	0,015	0,01	0,01
24	198,73935		980647,09							980655,36						
		-4,23360		980648,18	-41,51672	980647,75	-41,51670	980650,34	-41,51681		980655,72	0,033	0,034	0,023	0,00	0,01
25	194,50582		980649,27							980656,07						
		0,11192		980650,13	1,09754	980650,97	1,09754	980650,34	1,09754		980655,82	-0,001	-0,001	-0,001	0,00	0,00
C223	194,61777		980650,99							980655,58						
		-1,20008		980651,83	-11,76861	980650,97	-11,76860	980650,34	-11,76859		980655,40	0,004	0,005	0,006	0,00	0,00
27	193,41775		980652,66							980655,22						
		0,10299		980652,89	1,00997	980653,85	1,00998	980654,81	1,00998		980655,08	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
OP904	193,52072		980653,11							980654,94						
		-1,29066		980653,55	-12,65690	980653,85	-12,65691	980654,81	-12,65692		980654,92	0,002	0,001	0,000	0,00	0,00
C429	192,23009		980653,98							980654,91						
		-0,17887		980654,24	-1,75410	980653,85	-1,75410	980654,81	-1,75410		980654,95	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
MXXXIV	192,05122		980654,50							980654,99						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{hor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
MXXXIV	192,05122		980654,50													
		-4,05061		980654,77	-39,72250	980653,85	-39,72246	980654,81	-39,72250		980655,77	0,004	0,008	0,004	0,00	0,00
29	188,00049		980655,03							980656,54						
		-2,87590		980655,00	-28,20266	980657,19	-28,20272	980654,81	-28,20265		980657,12	0,006	0,000	0,007	0,01	0,00
30	185,12447		980654,96							980657,70						
		-1,14472		980654,71	-11,22575	980657,19	-11,22578	980654,81	-11,22575		980657,79	0,004	0,001	0,003	0,00	0,00
31	183,97972		980654,45							980657,88						
		-0,59596		980654,38	-5,84431	980657,19	-5,84432	980654,81	-5,84431		980657,56	0,002	0,000	0,002	0,00	0,00
32	183,38385		980654,31							980657,24						
		0,33012		980654,31	3,23734	980657,19	3,23735	980654,81	3,23734		980657,12	-0,001	0,000	-0,001	0,00	0,00
C189	183,71398		980654,30							980657,01						
		-0,58947		980654,28	-5,78066	980657,19	-5,78068	980654,81	-5,78067		980656,70	0,001	0,000	0,001	0,00	0,00
33	183,12460		980654,26							980656,39						
		-0,90752		980654,48	-8,89964	980657,19	-8,89966	980654,81	-8,89964		980656,25	0,002	-0,001	0,001	0,00	0,00
34	182,21712		980654,69							980656,11						
		-0,70900		980654,24	-6,95284	980657,19	-6,95286	980654,81	-6,95284		980656,03	0,001	-0,001	0,001	0,00	0,00
35	181,50812		980653,79							980655,96						
		-0,06334		980654,11	-0,62115	980657,19	-0,62115	980654,81	-0,62115		980655,79	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
MXCVIII	181,44478		980654,43							980655,62						
		-2,85237		980655,70	-27,97193	980657,19	-27,97197	980654,81	-27,97190		980655,74	0,000	-0,004	0,003	0,00	0,00
36	178,59244		980656,96							980655,85						
		-1,09403		980656,65	-10,72868	980657,19	-10,72868	980659,29	-10,72871		980655,98	-0,001	-0,001	-0,004	0,00	0,00
OP176	177,49834		980656,34							980656,11						
		-0,46070		980656,33	-4,51788	980657,19	-4,51789	980659,29	-4,51790		980655,93	0,000	-0,001	-0,002	0,00	0,00
O500	177,03766		980656,31							980655,75						
		-1,62940		980657,83	-15,97884	980657,19	-15,97883	980659,29	-15,97886		980655,80	-0,003	-0,002	-0,006	0,00	0,00
39	175,40827		980659,34							980655,85						
		-3,52172		980659,88	-34,53609	980660,48	-34,53612	980659,29	-34,53607		980656,37	-0,013	-0,015	-0,010	0,00	0,00
CP870	171,88647		980660,41							980656,89						
		1,04580		980660,37	10,25575	980660,48	10,25575	980659,29	10,25573		980656,68	0,004	0,004	0,003	0,00	0,00
41	172,93223		980660,33							980656,47						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
41	172,93223		980660,33							980656,47						
		-1,09746		980660,98	-10,76236	980660,48	-10,76236	980659,29	-10,76234		980656,56	-0,005	-0,004	-0,003	0,00	0,00
42	171,83472		980661,62							980656,65						
		0,82041		980661,74	8,04545	980663,19	8,04546	980663,68	8,04546		980656,45	0,004	0,006	0,006	0,00	0,00
C129	172,65511		980661,85							980656,25						
		-2,05077		980662,60	-20,11113	980663,19	-20,11115	980663,68	-20,11116		980656,54	-0,013	-0,014	-0,015	0,00	0,00
43	170,60429		980663,35							980656,83						
		-0,68722		980664,05	-6,73932	980663,19	-6,73931	980663,68	-6,73932		980657,04	-0,005	-0,004	-0,005	0,00	0,00
44	169,91697		980664,75							980657,24						
		-1,10908		980665,18	-10,87636	980662,11	-10,87633	980663,68	-10,87634		980657,45	-0,009	-0,005	-0,007	0,00	0,00
OP169	168,80780		980665,60							980657,66						
		-0,78311		980665,67	-7,67969	980662,11	-7,67966	980663,68	-7,67968		980657,62	-0,006	-0,004	-0,005	0,00	0,00
OP213	168,02465		980665,74							980657,58						
		-0,75713		980665,92	-7,42492	980662,11	-7,42489	980662,60	-7,42489		980657,68	-0,006	-0,003	-0,004	0,00	0,00
OP226	167,26745		980666,10							980657,79						
		1,26438		980665,74	12,39934	980662,11	12,39930	980662,60	12,39930		980657,55	0,011	0,006	0,007	0,00	0,00
12221	168,53181		980665,37							980657,32						
		-0,54515		980665,47	-5,34610	980662,11	-5,34608	980662,60	-5,34608		980657,40	-0,004	-0,003	-0,003	0,00	0,00
MLXI	167,98666		980665,57							980657,49						
		-1,61351		980665,08	-15,82313	980662,11	-15,82308	980662,60	-15,82309		980657,55	-0,012	-0,007	-0,008	0,00	0,00
48	166,37315		980664,58							980657,61						
		-1,74198		980664,90	-17,08299	980662,11	-17,08294	980662,60	-17,08295		980657,53	-0,013	-0,008	-0,009	0,00	0,00
OP978	164,63121		980665,21							980657,44						
		5,78314		980664,80	56,71322	980662,11	56,71306	980662,60	56,71309		980656,50	0,049	0,033	0,036	0,02	0,01
FR1018	170,41440		980664,38							980655,56						
		-4,98503		980665,00	-48,88644	980662,11	-48,88630	980662,60	-48,88632		980655,99	-0,046	-0,031	-0,034	-0,01	-0,01
OP970	165,42939		980665,61							980656,42						
		-0,37272		980665,87	-3,65514	980662,11	-3,65512	980662,60	-3,65513		980656,21	-0,004	-0,002	-0,002	0,00	0,00
CP512	165,05671		980666,12							980656,01						
		-1,65264		980665,40	-16,20687	980662,11	-16,20681	980662,60	-16,20682		980656,05	-0,016	-0,010	-0,011	-0,01	0,00
MXVII	163,40408		980664,68							980656,09						

Podatki II. NVN						Razlika 2 mgala		Razlika 4 mgali		Normalna težnost		Popravki (mm)			Raz. pop. glede na II. NVN (mm)	
Reper	H _{nor}	Δh _{mer}	g _{mer}	g _{pov-vsi}	Geop.raz.	g _{pov-2mgala}	Geop.raz.	g _{pov-4mgala}	Geop.raz.	γ	γ _{pov}	II.NVN	2mgal	4mgal	2 mgal	4 mgal
MXVII	163,40408		980664,68							980656,09						
		-3,46633		980664,89	-33,99308	980662,11	-33,99298	980662,60	-33,99300		980656,42	-0,030	-0,020	-0,022	-0,01	-0,01
OP903	159,93775		980665,10							980656,76						
		-2,30510		980662,28	-22,60525	980662,11	-22,60524	980662,60	-22,60525		980657,02	-0,012	-0,012	-0,013	0,00	0,00
51	157,63264		980659,46							980657,29						
		-1,21600		980657,39	-11,92479	980657,39	-11,92479	980657,39	-11,92479		980657,36	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
OP647	156,41660		980655,32							980657,44						
		0,11309		980654,50	1,10902	980652,01	1,10902	980652,01	1,10902		980657,38	0,000	-0,001	-0,001	0,00	0,00
MXC	156,52963		980653,68							980657,33						
		-2,25776		980651,19	-22,14075	980652,01	-22,14077	980652,01	-22,14077		980657,51	0,015	0,013	0,013	0,00	0,00
OP541	154,27186		980648,70							980657,70						
		-1,30700		980649,32	-12,81709	980649,97	-12,81710	980651,67	-12,81712		980657,67	0,011	0,010	0,008	0,00	0,00
OP610	152,96487		980649,94							980657,65						
		-1,98551		980649,99	-19,47090	980649,97	-19,47090	980651,67	-19,47094		980657,77	0,016	0,016	0,012	0,00	0,00
55	150,97937		980650,04							980657,89						
		1,28024		980650,17	12,55468	980649,97	12,55467	980651,67	12,55469		980657,49	-0,010	-0,010	-0,008	0,00	0,00
OP875	152,25961		980650,30							980657,09						
		1,73802		980650,77	17,04391	980649,97	17,04389	980651,67	17,04392		980656,56	-0,010	-0,012	-0,009	0,00	0,00
MIV	153,99762		980651,23							980656,02						
		-3,39398		980652,93	-33,28316	980652,93	-33,28316	980651,67	-33,28312		980656,27	0,012	0,012	0,016	0,00	0,00
OP951	150,60365		980654,63							980656,52						
		-3,57677		980656,69	-35,07583	980656,69	-35,07583	980656,69	-35,07583		980656,83	0,001	0,001	0,001	0,00	0,00
OP686	147,02688		980658,75							980657,14						
		-2,95554		980660,92	-28,98383	980660,92	-28,98383	980660,92	-28,98383		980657,35	-0,011	-0,011	-0,011	0,00	0,00
59	144,07132		980663,09							980657,55						
		1,69998		980664,74	16,67110	980664,74	16,67110	980665,28	16,67111		980657,04	0,013	0,013	0,014	0,00	0,00
OP857	145,77130		980666,39							980656,53						
		-0,63812		980666,93	-6,25783	980666,37	-6,25783	980665,28	-6,25782		980656,46	-0,007	-0,006	-0,006	0,00	0,00
MLXIII	145,13315		980667,47							980656,40						
		-1,88723		980666,91	-18,50744	980666,37	-18,50743	980666,91	-18,50744		980656,52	-0,020	-0,019	-0,020	0,00	0,00
OP584	143,24588		980666,35							980656,65						

4.2.2.1 Območje izvedbe vzorčne izmere

Za potrebe izvedbe vzorčne izmere smo predlagali, da vzorčno izmero izvedemo na nivelmanski zanki številka 3²³: Nova Gorica – Most na Soči – Idrija – Godovič – Ajdovščina- Nova Gorica. Nivelmanska zanka se razprostira tako v smeri sever – jug, vzhod – zahod in približno v smeri severozahoda, kar je pomembno za določitev vpliva spremembe geografske širine na težnostni pospešen na točka. Poleg tega imamo v omenjeni zanki ravninske predele in območja, kjer je višinska razlika večja, kar je ugodno za oceno vpliva spremembe višine na težnostni pospešek.

V bližini nivelmanske zanke imamo tudi točki gravimetrične mreže I. reda (GT6 – Plave in GT7 – Sp. Idrija) in točko SIGNAL-a v Novi Gorici, ki jih bomo vključili v vzorčno izmero. Rezultati vzorčne izmere bodo tudi splošno uporabni, saj bo z vzorčno izmero pokrit del območja in točke, ki so predvidene za izmero.

4.2.2.2 Analiza nivelmanske zanke

V spodnji preglednici so zbrani podatki o niveliranih višinskih razlikah v nivelmanski zanki, ki bi jo lahko uporabili za izvedbo vzorčne izmere.

Od - do	Med reperji	dh (m)	S (km)	Leto izmere
Kalce – Ajdovščina	31a/6-5338	-385,06699	29,415	1998
Ajdovščina – Nova Gorica	5338-CP673	-12,47599	26,188	2004
Nova Gorica –Most na Soči	CP673-5323	80,01047	37,273	2007
Most na Soči -Kalce	5323-31a/6	317,49227	60,420	1992
Odstopanje v nivelmanski zanki:		-40,24 mm	153,296	
Dovoljeno odstopanje:		33,06 mm		

Preglednica 4.2-2: Podatki o nivelmanski izmeri nivelmanske zanke: Kalce – Ajdovščina – Nova Gorica – Most na Soči - Kalce

Iz preglednice lahko vidimo, da je odstopanje v merjenih višinskih razlik v nivelmanski zanki večje od dovoljenega odstopanja, ki je predpisano po Pravilniku o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981), za nivelmanske zanke NVN in si ga izračunamo po enačbi:

$$\Delta_{dop} = 1 \cdot \sqrt{S + 0.04 \cdot S^2},$$

kjer je:

S . . . dolžina nivelmanske zanke v km.

²³ Številka zanke je povzeta po predlogu nove nivelmanske mreže Slovenije (Poročilo 2006)

Iz rezultatov izravnave nivelmanske zanke lahko ugotovimo sledeče (glej prilogo):

- $\sigma_0 < 3.25$ mm in 3.39 mm $< \sigma_H < 20.06$ mm, kar je slabše, kot je natančnost obstoječe nivelmanske mreže (preglednica 4.2-1).

Iz navedenih vrednosti vidimo, da v zanki ni izpolnjen pogoj, da mora biti odstopanje merjenih višinskih razlik v nivelmanski zanki manjše od dovoljenega odstopanja (preglednica). Podobna ugotovitev velja tudi za ocene natančnosti, saj obe oceni presegata postavljeno mejo ($\sigma_0 < 1$ mm in $\sigma_H < 10$ mm).

Če upoštevamo sledeča dejstva:

- trenutno na območju Slovenije nimamo večje nivelmanske zanke, ki bi bila zaključena na osnovi novih nivelmanskih izmer,
- tudi druge nivelmanske zanke bi zaključili na osnovi kombinacije starih in novih izmer, ki bi jih še morali opraviti. Poleg tega ne vemo ali bi se druge nivelmanske zanke zapirale v mejah dovoljenega odstopanja, kar pomeni, da lahko dobimo podobno situacijo, kot jo imamo sedaj,
- za nivelmansko izmero na drugih zankah potrebujemo dodaten čas in tako vzorčne izmere ni možno opraviti v naslednjem letu,

kljub temu predlagamo, da vzorčno izmero izvedemo na predlagani nivelmanski zanki številka 3, ki ima tudi ustrezno konfiguracijo, kot je navedeno zgoraj, saj tako vzorčne izmere ne bomo prestavljali v naslednja leta.

4.2.2.2.1 Dodatne možnosti za izvedbo vzorčne izmere

Pri izbiri dodatnih možnosti, so bile izbrane nivelmanske zanke iz projekta nove nivelmanske zanke, ki bi jih bilo možno izmeriti v enem letu. Poleg tega so bile izbrane nivelmanske zanke, katerih del je bil predhodno že izmerjen, vendar ne gre za izmere, ki bi bile starejše od 4 let (izmera Kranj – Podbrdo – Preglednica 4.2-4).

a) Izmera nivelmanske zanke 3

Glede na odstopanje v nivelmanski zanki, po izmeri odseka Nova Gorica – Most na Soči, bi bilo potrebno sanirati tudi nivelmanski poligon Most na Soči – Kalce – Ajdovščina, skupne dolžine približno 130 km.

3. Zanka	Vozliščni reperji	Dolžina (km)	Niv. poligon	Leto izmere
Nova Gorica – Most na Soči	CP673 – 2870	37	Del NVN3	2007
Most na Soči – Kalce	2870 – 31a/6	61	1/24	1992
Kalce – Nova Gorica	31a/6 – CP673	92	1/51	1999-2000
	Dolžina zanke:	190		

Preglednica 4.2-3: Osnovni podatki o nivelmanski zanki 3

b) Izmera nivelmanske zanke 5

5. Zanka	Vozliščni reperji	Dolžina (km)	Niv. poligon	Leto izmere
Lesce – Kranj	PN305 – 2755	35	Del NVN5	1971
Kranj – Podbrdo	2755 – 2879	47	1/49 + del 1/50	2003
Podbrdo – Lesce	2879 – PN305	34	Del NVN3	1971
	Dolžina zanke:	116		

Preglednica 4.2-4: Osnovni podatki o nivelmanski zanki 5

V omenjeni nivelmanski zanki, bi bilo potrebno izmeriti nivelmanski poligon Podbrdo – Lesce – Kranj, v skupni dolžini približno 64 km.

c) Izmera nivelmanske zanke 9

9. Zanka	Vozliščni reperji	Dolžina (km)	Niv. poligon	Leto izmere
Grosuplje – Draga	5358 – 5364	16	Del 1/26	1992
Draga – Novo Mesto	5364 – MN3	40	Del 1/26	1992
Novo Mesto – Metlika	MN3 – 2055	30	1/36	1992
Metlika – Žlebič	2055 – 5232	63	2/3	2006/07
Žlebič - Grosuplje	5232 - 5358	36	2/4	2006/07
	Dolžina zanke:	185		

Preglednica 4.2-5: Osnovni podatki o nivelmanski zanki 9

V letu 2006 in 2007, je bil izmerjen nivelmanski poligon Črnomlje in Dolenja vas, dolžine približno 70 km. Da bi zaprli nivelmansko zanko z novimi merjenimi višinskimi razlikami, bi morali izmeriti še približno 115 km nivelmanskega poligona.

d) Izmera nivelmanske zanke 10

10. Zanka	Vozliščni reperji	Dolžina (km)	Niv. poligon	Leto izmere
Zidani most – Brežice	MLXXVIII – MIV	44	Del NVN6	Del 2008
Brežice – Novo mesto	MIV – MN3	46	Del 1/26	1992
Novo mesto – Draga	MN3 – 5364	40	Del 1/26	1992
Draga – Zidani most	5364- MLXXVIII	60	2/25 + 2/21	2007
	Dolžina zanke:	190		

Preglednica 4.2-6: Osnovni podatki o nivelmanski zanki 10

V zanki 10, bi bilo potrebno izmeriti nivelmanski poligon Draga – Bogenšperk in posamezne odseke med Vrhovim – Boštanjem – Brestanico, da bi jo lahko zaprli s starimi podatki. V tem primeru bi bilo potrebno izmeriti približno 20 km nivelmanskih

poligonov! V primeru, da se zanka ne bi zaprla, pa bi bilo potrebno sanirati tudi del nivelmanskega poligona 1/26, v skupni dolžini približno 90 km.

4.2.3 Viri

- <http://www.euref-iaq.net/symposia/book2002/256-259.pdf>
- http://www.swisstopo.ch/pub/down/basics/geo/networks/euref05_natrep_en.pdf
- https://www.rdb.ethz.ch/projects/project.php?type=&proj_id=8593&z_detailed=1
- <http://www.ncg.knaw.nl/subciegeodetischeinfrastructuur/nationalreport2007.html>
- <http://www.euref-iaq.net/symposia/2006Riga/07-08.pdf>
- http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Rapporter-Publikationer/Publikationer/EUREF04_natrep.pdf
- <http://209.85.135.104/search?q=cache:187QRFptdhwJ:www.euref-iaq.net/symposia/book2003/6-21-Spain.pdf+euref+national+report+spain&hl=sl&ct=clnk&cd=1&gl=si>
- http://209.85.135.104/search?q=cache:2uySoMJLgSYJ:www.igeo.pt/eventos/comunicacoes/Bratislava/Euref2004_NR_Portugal.pdf+euref+national+report+portugal&hl=sl&ct=clnk&cd=1&gl=si

4.3 Zasnova novega geoida (NALOGA 3.3)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Poročilo pripravil: dr. Miran Kuhar, FGG

Povzetek

Pripravljena so bila izhodišča za novi geoid – stanje, potrebe in možnosti – ter osnutek protokola za določitev novega geoida – metodologija, izbor točk, tehnologija izmere.

Pripravljen je bil osnutek strategije izračuna novega geoida; cilj je (nekaj)centimetrski geoid. Opredeljene so posamezne faze, ki vključujejo zbiranje podatkov, obdelavo in analizo podatkov, definicijo novega geoida, pregled programske opreme (razpoložljive, zahtevane), pretvorbe/preračune podatkov, ki so potrebni za izračun (npr. DMR), izdelava modela Bouguerovih anomalij, zagotovitev niveliranih točk za višinski vklop izračunane ploskve in kontrolni izračun ter testiranja.

Naloge za izpolnitev obeh ciljev – prehod na nov višinski sistem in določitev novega geoida – se prekrivajo in dopolnjujejo. Za fiksiranje geoida v absolutnem smislu bo uporabljena GNSS-tehnologija. Za določitev ustreznih kriterijev glede vrste, načina, trajanja in obdelave meritev ter potrebne gostote točk je predlagana posebna vzorčna izmera tudi za potrebe določitve novega geoida; glej tudi 2. nalogo 2. sklopa.

4.3.1 Analiza kakovosti obstoječega modela geoida

Analizo kakovosti obstoječega geoida smo opravili s primerjavo "merjenih" vrednosti geoidnih višin in višin iz modela. pravili smo dve analizi: primerjavo na osnovi EUVN točk i n primerjavo na osnovi baze GPS točk, ki jo vodi GURS.

4.3.1.1 Analiza kakovosti geoida na osnovi EUVN-točk

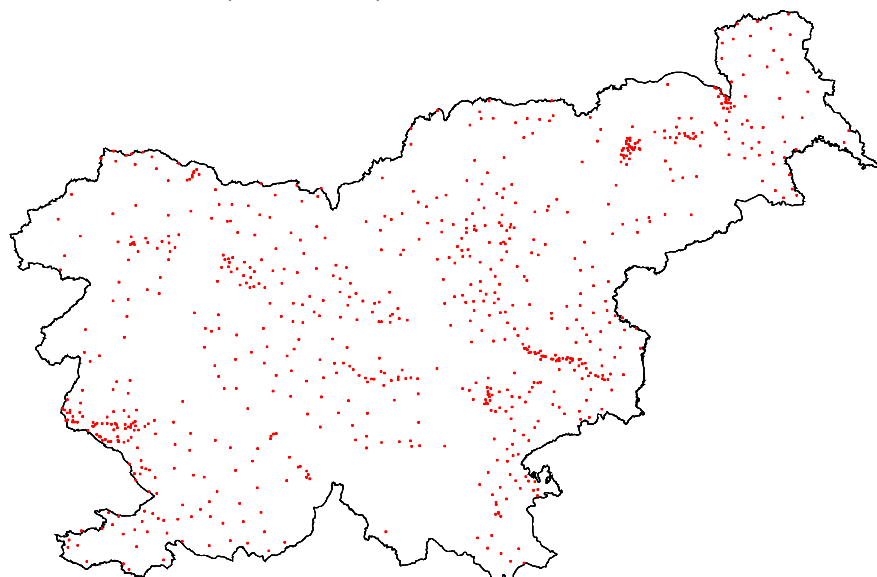
Prva analiza je opravljena na osnovi EUVN točk. Ta primerjava je podana v poglavju 3.1, saj so točke EUVN najbolj enakomerno razporejene na ozemlju Slovenije i s tem tudi najboljši kazalec možnosti uporabe sedanjega geoida v praksi.

4.3.1.2 Analiza kakovosti geoida na osnovi obstoječe baze GPS-točk

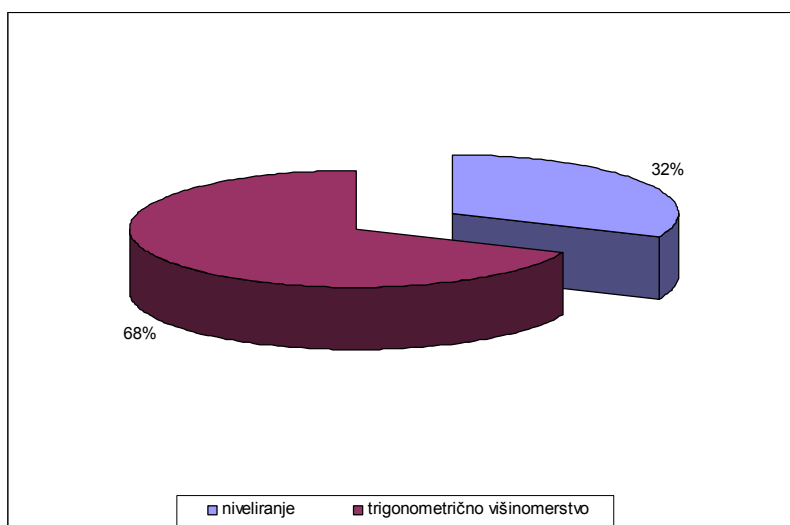
Drugo analizo smo opravili s pomočjo podatkov o GPS-točkah, ki jih vzdržuje GURS. Podatke o merjenih višinah (nadmorskih in elipsoidnih) smo prevzeli iz baze GPS-točk na GURS-u. V bazi GPS-točk je vzpostavljena relacija za identične točke, ki so vodene v horizontalni bazi geodetskih točk in so hkrati tudi GPS točke. Za GPS točke se v bazi vodijo elipsoidne koordinate (ϕ , λ , h) na GRS-80 elipsoidu v ETRS89 koordinatnem sistemu in GK ravninske koordinate y , x ter H .

Po podatkih, ki smo jih uspeli pridobiti, naj bi bila baza točk, ki smo jo mi uporabili, iz marca 2007. Iz baze GPS točk smo odstranili vse razen točk, katerim višina je bila določena trigonometrično ali z nivelmanom, od 2005 točk jih je ostalo 879.

Najprej smo izračunali nadmorsko višino (iz merjene elipsoidna in interpolirane geoidne). Nato smo odšteli izračunano nadmorsko višino od merjene nadmorske višine in dobili odstopanja. Nekatera odstopanja so bila prevelika, zato smo jih odstranili iz nadaljnje obdelave, tako jih je ostalo 781 (Slika 4.3.1). Od tega so 248 točkam višine določene z niveliranjem, 533 točkam pa so višine določene s trigonometričnim višinomerstvom (Graf 4.3.1).



Slika 4.3.1: pregled uporabljenih točk

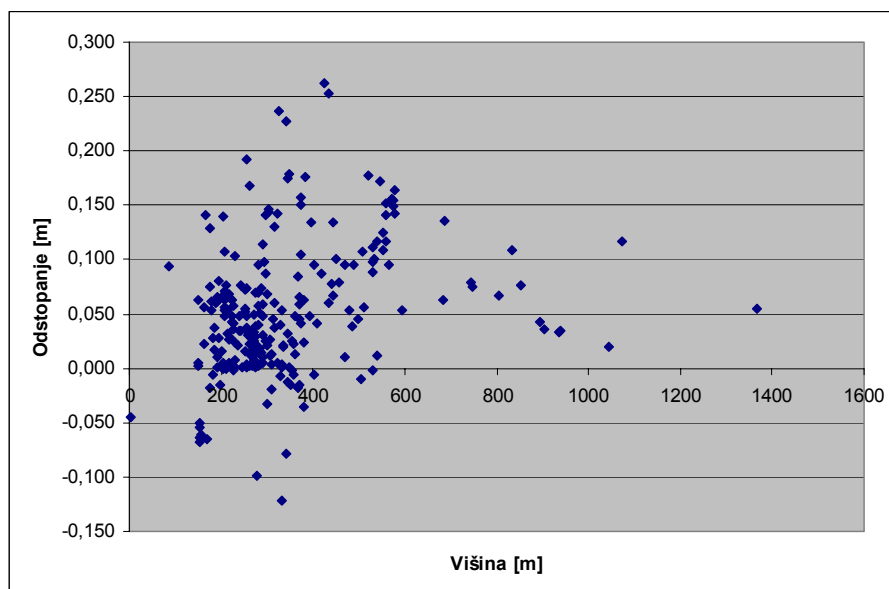


Graf 4.3.1: Delež niveliranih in trigonometrično določenih višin

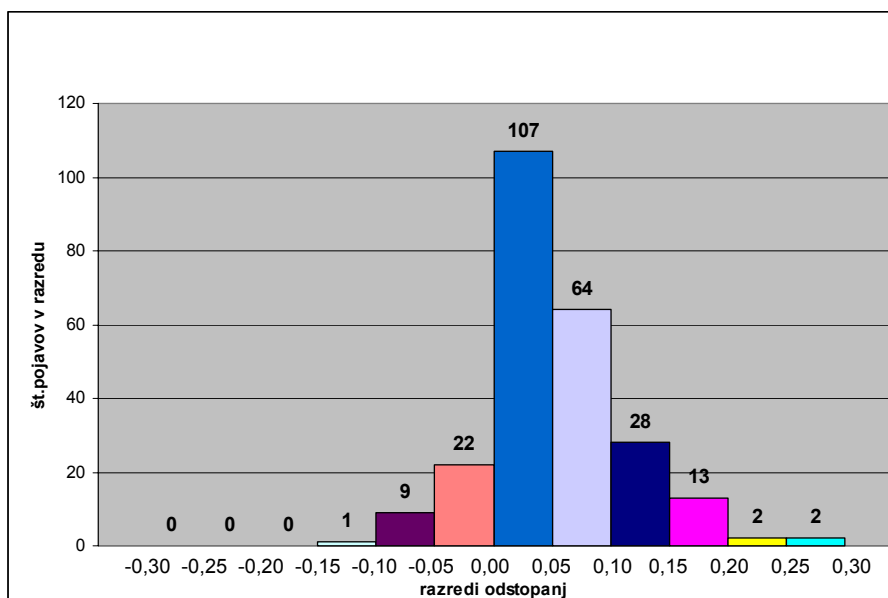
Najprej smo analizirali podatke ločeno glede na način določitve višine, nato pa še skupaj.

4.3.1.2.1 Točke določene z niveliranjem

Odstopanja se gibljejo od -0,122 do 0,262 m, na grafu 4.3.2 je razvidna razpršenost teh odstopanj in na kateri višini se nahajajo. Razvidno je, da je velika večina niveliranja izvedena na nadmorski višini med 200 do 400 m, njihova odstopanja pa se gibljejo približno od 0 do 0,01 m, kar vidimo na grafu 4.3.3.



Graf 4.3.2: Razpršenost odstopanj na niveliranih točkah



Graf 4.3.3: Histogram odstopanj na niveliranih točkah

Standardna deviacija izračunana na osnovi odstopanj znaša 6,0 cm.

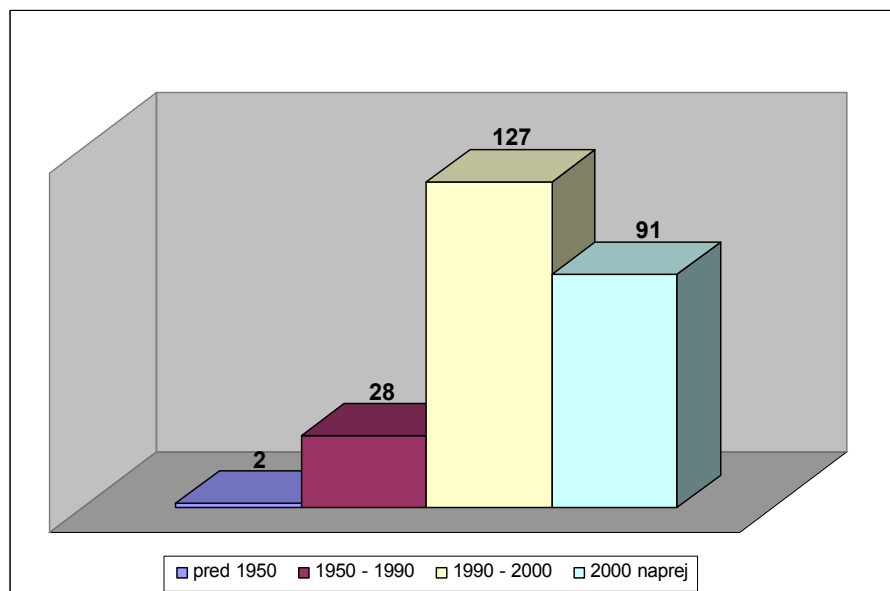
Ker pa se nam je zdela natančnost določitve geoidnega modela iz niveliranih višin nekoliko slabša kot smo pričakovali, smo se odločili, da pogledamo natančnost v različnih letih (Preglednica 4.3.1).

Preglednica 4.3.1: Standardna deviacija po letih določitve višine

Spodnja meja	Zgornja meja	Število točk	Standardna deviacija [cm]
pred 1950		2	6,0
1950	1990	28	9,5
1990	2000	127	4,4
2000 naprej		91	6,2
			6,0

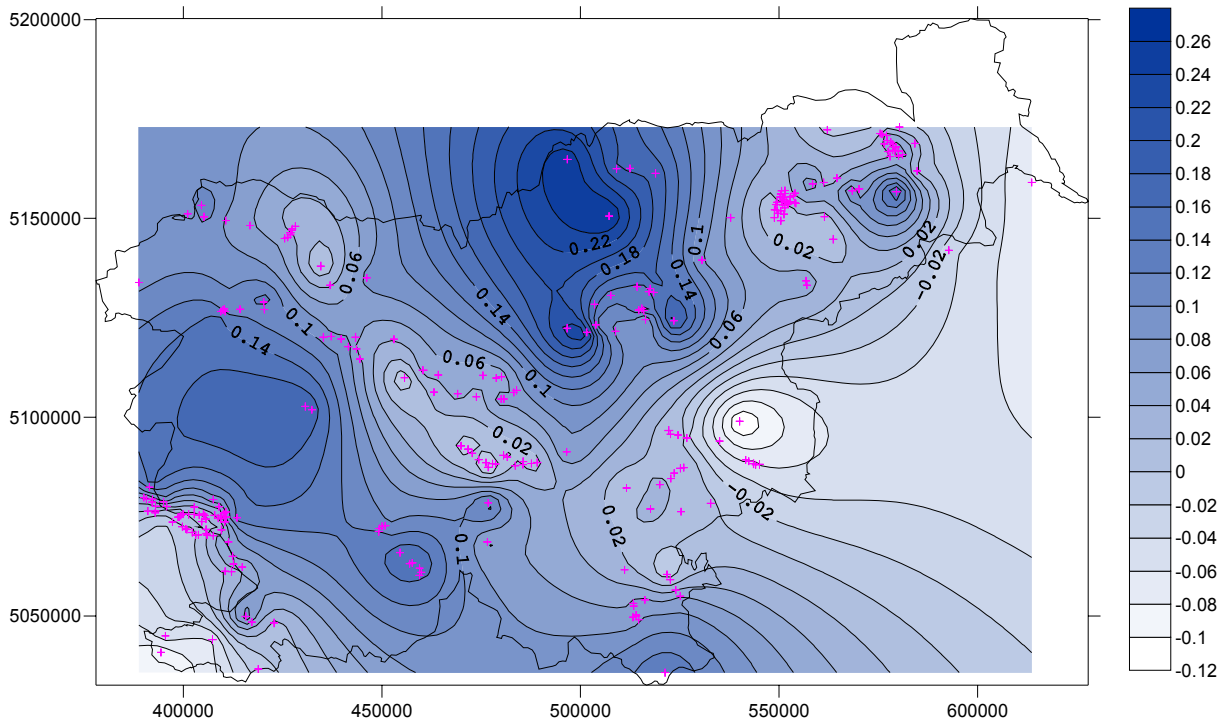
Ugotovili smo, da so bili najslabši rezultati med letom 1950 in 1990 in to več kot 9 cm. Najboljši rezultati pa so bili med letom 1990 in 2000, takrat je bilo določenih tudi največ višin.

Preseneča nas lahko natančnost po letu 2000, saj znaša več kot 6 cm. Od 91 točk je pri kar 25 točkah odstopanje večje od 10 cm.



Graf 4.3.4: Število točk glede na leto določitve

Slika 4.3.2 prikazuje grafični prikaz odstopanj na niveliranih točkah na celotnem območju Slovenije.

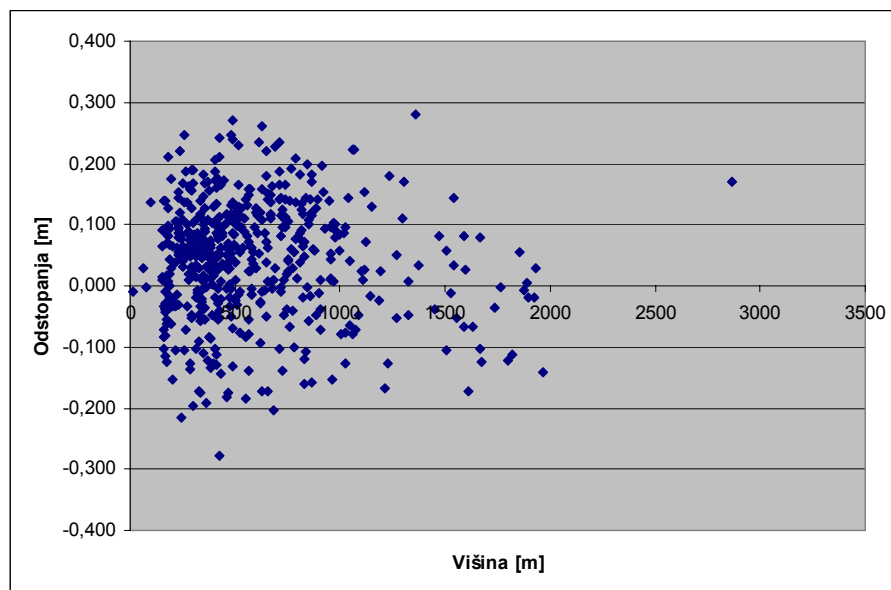


Slika 4.3.2: grafični prikaz odstopanj na niveliranih točkah

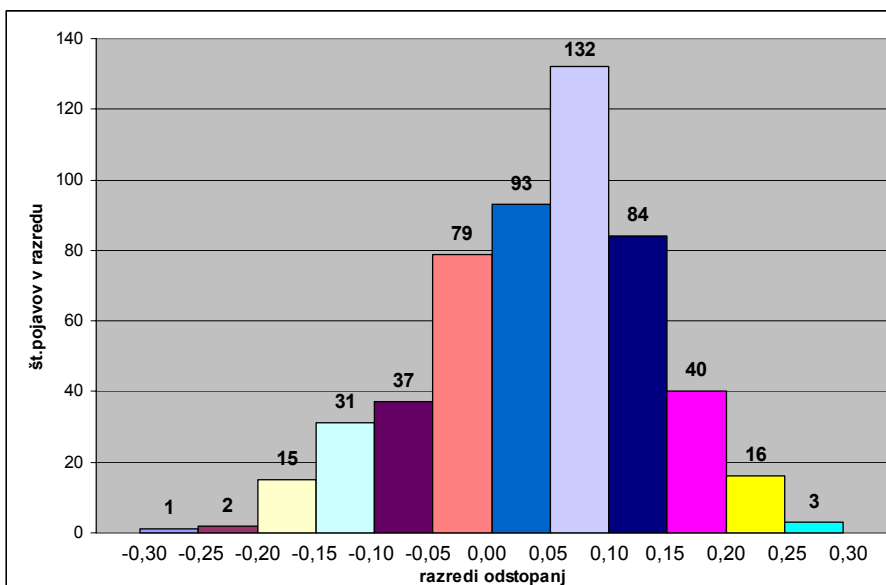
4.3.1.2.2 Trigonometrično višinerstvo

Višin določenih s trigonometričnim višinerstvom je veliko več kot niveliranih, in sicer 533. Seveda pa je tudi natančnost geoidnega modela slabša in znaša 9,4 cm.

Razpršenost odstopanj si lahko pogledamo na grafu 5, kjer je razvidno, da je večina točk, katerim se je določalo višine, na razmeroma nizki nadmorski višini.

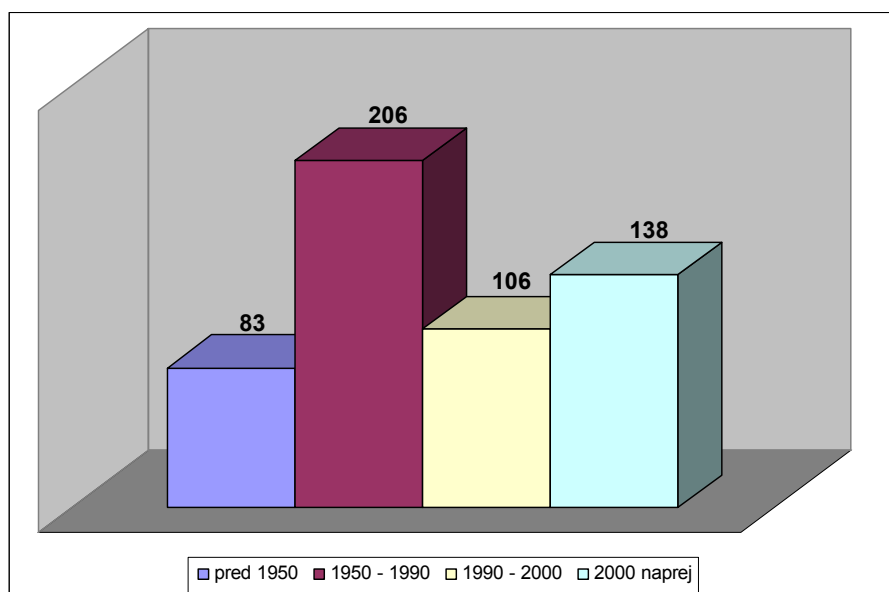


Graf 4.3.5: razpršenost odstopanj na trigonometrično določenih točkah



Graf 4.3.6: histogram odstopanj na trigonometrično določenih točkah

Največ višin je bilo določenih med letom 1950 in 1990, standardna deviacija iz vseh odstopanj znaša skoraj 9,4 cm (Preglednica 4.3.2). Kar je tudi razlog za slabo skupno natančnost določitve geoidnega modela s trigonometričnimi višinami.

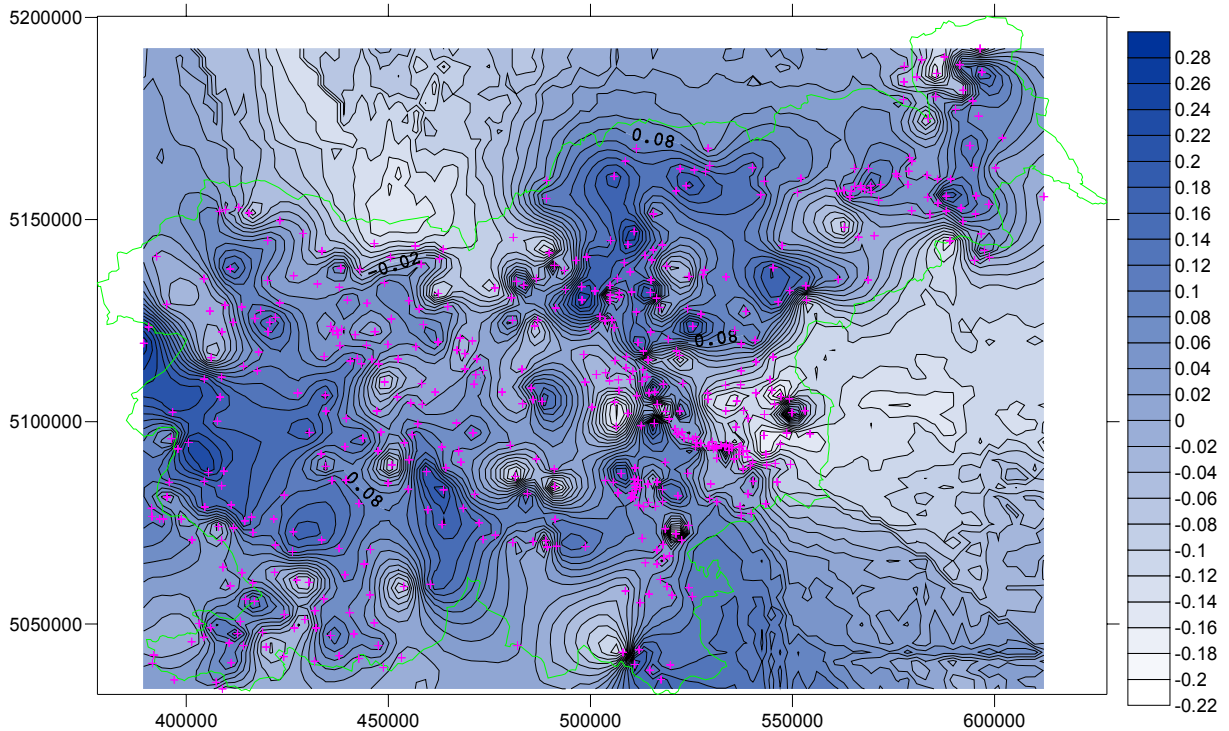


Graf 4.3.7: Histogram točk glede na leto določitve višine

Preglednica 4.3.2: Standardna deviacija po letih določitve višine

Spodnja meja	Zgornja meja	Število točk	Standardna deviacija [cm]
pred 1950		83	10,6
1950	1990	206	9,8
1990	2000	106	7,1
2000 naprej		138	9,3
			9,4

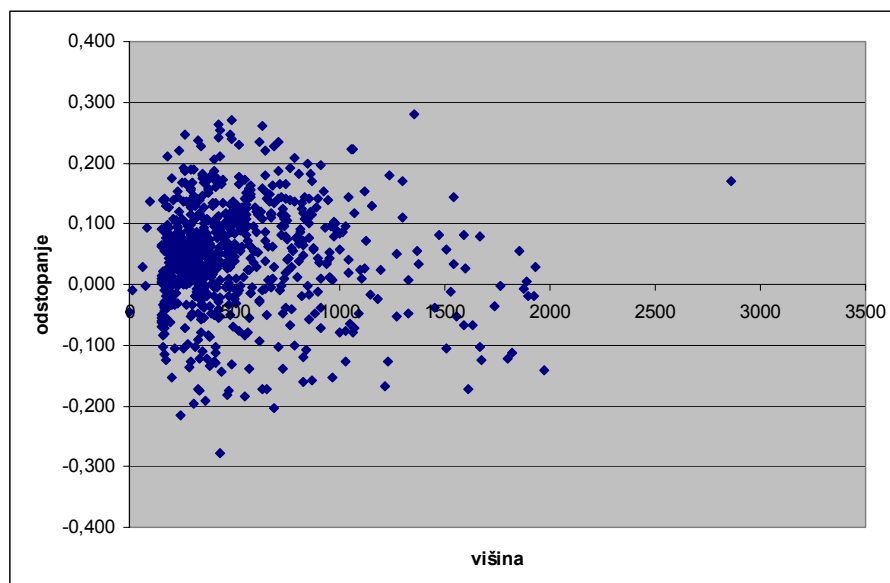
Na sliki 4.3.3 je razvidno, kako raznolika so odstopanja po območju Slovenije. Vidi se, da so odstopanja precej višja od tistih pri niveliranju, kar je pogojeno z natančnostjo samega določanja višin s trigonometričnim višinomerstvom.



Slika 4.3.3: grafični prikaz odstopanj na trigonometrično določenih točkah

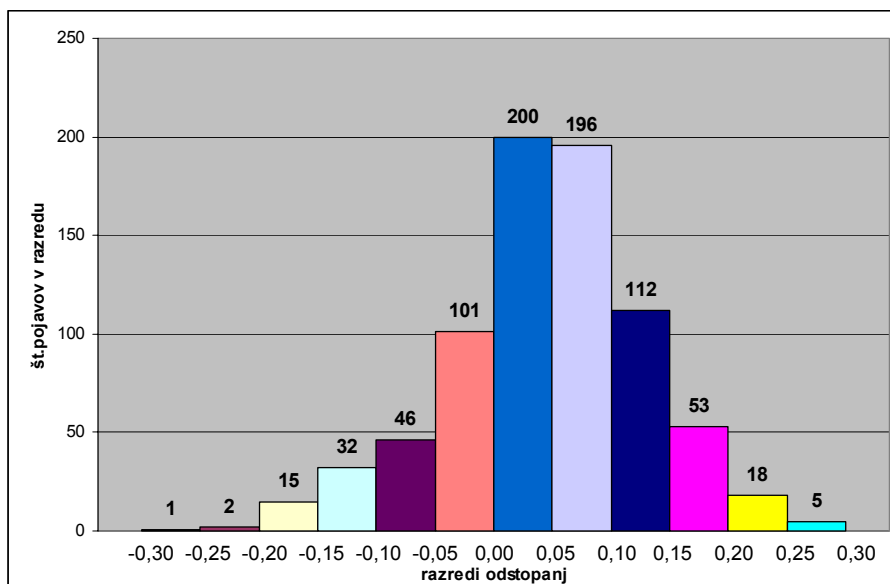
4.3.1.2.3 Analiza na osnovi vseh točk

Tukaj smo upoštevali 781 točk, katerim višine so bile določene tako z nivelmanom in s trigonometrični višinomerstvom. Natančnost geoidnega modela Slovenije je 8,46 cm. K slabši natančnosti je veliko pripomogel delež višin določenih s trigonometričnim višinomerstvom (Grafikon 4.3.8).

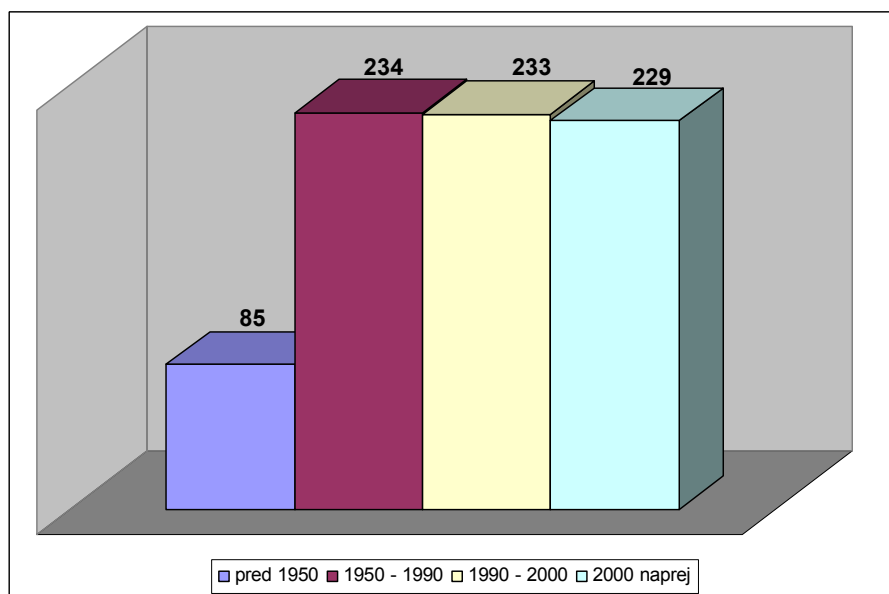


Graf 4.3.8: Razpršenost odstopanj

Približno enak delež višin je bilo določeno med leti 1950 do 1990, od 1990 do 2000 in od 2000 naprej (Grafikon 4.3.9). Najslabšo natančnost geoidnega modela pa je bila dosežena v zadnjem obdobju od leta 2000 naprej (Preglednica 4.3.3).



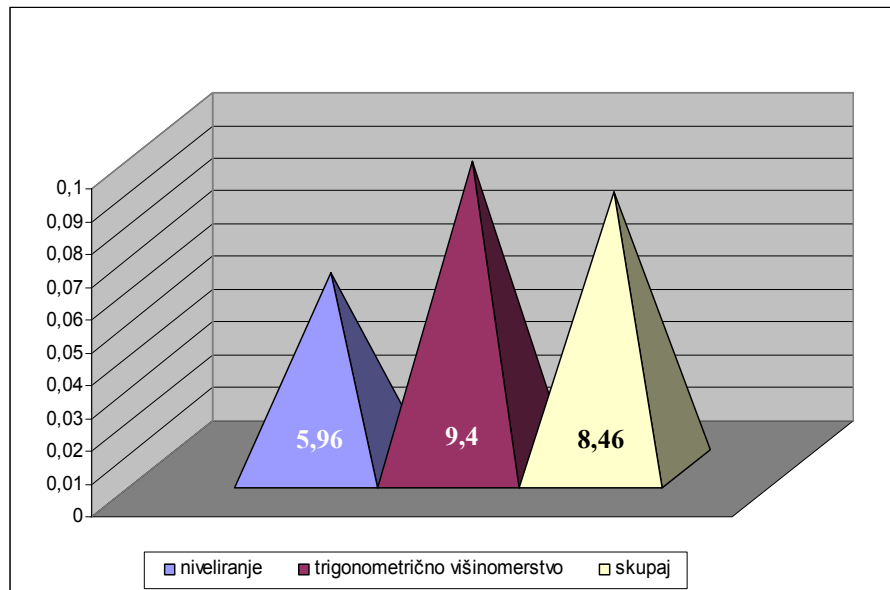
Graf 4.9: Histogram odstopanj



Graf 4.3.10: Histogram odstopanj glede na leto določitve višine

Preglednica 4.3.3: Standardna deviacija po letih določitve višine

Spodnja meja	Zgornja meja	Število točk	Standardna deviacija [cm]
pred 1950		85	3,5
1950	1990	234	2,4
1990	2000	233	1,6
2000 naprej		229	5,6
			8,46



Graf 4.3.11: standardna deviacija odstopanj glede na vrsto določitve višine točk

4.3.1.2.4 Zaključek

Ocena natančnosti obstoječega geoidnega modela Slovenije je opravljena na temelju trenutnega stanja Centralne baze GPS-točk, ki jo vzdržuje GURS. Natančnost geoidne ploskve se spreminja glede na različna območja v Sloveniji. To je predvsem posledica naslednjega dejstva: pri izračunu obstoječega modela geoida je avtor uporabil višine GPS-točk, ki izvirajo iz časa pred preračunom višinske mreže Slovenije (leta 2000).

Da bi uporabili te točke v novi določitvi geoidnega modela bi bilo smiselno preračunati višine (predvsem niveliranih) točk tako, da ustrezajo sedanjemu stanju višinske mreže Slovenije.

4.3.2 Pregled obstoječih podatkov

Zaradi (predvsem) računskih razlogov se ploskev geoida določa na območju omejenim z pravokotno mrežo geografskih (pogosteje) oz. pravokotnih, ravninskih koordinat. Velikost območja določata predvsem kakovost in število podatkov, ki jih imamo na razpolago. Glede velikosti Slovenije in raspoložljivih podatkov bi novi geoid Slovenije izračunali na območju: $13^{\circ} < \lambda < 17^{\circ}$ in $45^{\circ} < \phi < 47^{\circ}$ (vzhodno od Green-

vicha in severne geografske širine). Gre za približne vrednosti, saj bi se v fazi detajlnega pregleda in kontrole podatkov območje mogoče nekoliko zmanjšalo ($\lambda_{\min} = 13,25^\circ$ oz. $\phi_{\min} = 45,25^\circ$; maksimalne meje na vzhod in na sever bi ostale nespremenjene). Več podatkov imamo na vzhodu in jugu (proti Hrvaški), manj pa na severu in zahodu (iz izkušenj je znano, da izmenjava podatkov z Italijo zna biti problem).

4.3.2.1 Gravimetrični podatki

Trenutno razpolagamo z gravimetričnimi podatki z območja Slovenije in štirih sosednjih dežel. Slovenijo in Hrvaško je težko ločevati, saj podatki izvirajo iz iste "baze". Gre za regionalno gravimetrično izmero iz petdesetih in šestdesetih let, ki je bila namenjena izdelavi Gravimetrične karte Jugoslavije (karta Bouguerovih anomalij). Karta je bila izdelana konec sedemdesetih let in vse informacije glede teh gravimetričnih podatkov izhajajo iz publikacije: "Tolmač za gravimetrično karto SFR Jugoslavije – Bouguerove anomalije" avtorji: Bilibajkić, Mladenović, Mujagić, Rimac.

Iz urejenih podatkov regionalne izmere smo prek osebnih poznanstev pridobili dve datoteki.

Prva vsebuje 4624 merjenih vrednosti težnosti, ki zajemajo celotno območje Slovenije in del sosednje Hrvaške (zelene točke na sliki 4.4). Ti podatki so bili posredovani dr. Denkerju (Institut für Erdmessung) na Univerzi v Hannoveru za izračun Evropskega gravimetričnega (kvazi)geoida (EGG97). Prav tako smo podatke posredovali tudi v Bureau Gravimétrique International (BGI). Dr. Denker, kot tudi M. Sarrailh iz BGI sta ovrednotila gravimetrične podatke. Izida njihovih testiranj sta skoraj identična, skupno je izločeno 20 točk (dvojne, dvomljive, grobi pogoški), tako da je ostalo 4604 "dobrih" (osebna komunikacija po el. pošti). Oba sta uporabila tehniko predikcije oz. kolokacije po metodi najmanjših kvadratov samo z različno programsko opremo.

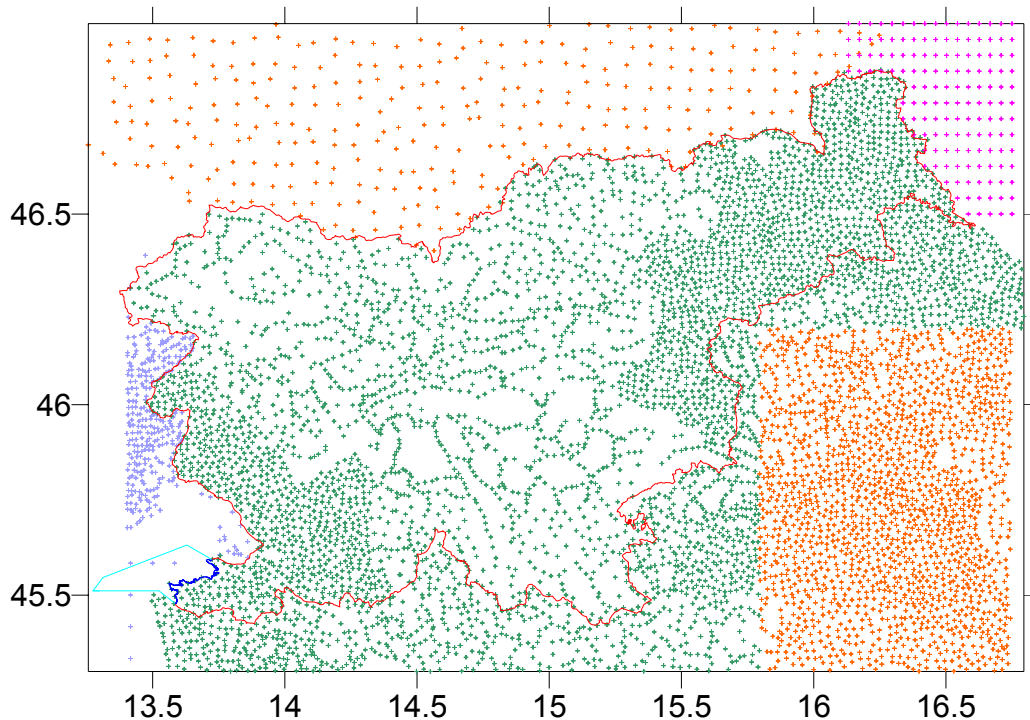
Druga datoteka vsebuje podatke regionalne izmere Jugoslavije do 17° vzhodne geografske dolžine. Gre za izvirne podatke, ki niso še ovrednoteni, kar pomeni, da lahko vsebujejeo tudi posamezne grobe pogoške.

Gravimetrične podatke smo pridobili tudi od kolegov iz sosednjih držav. Profesor R. Barzaghi (Politehnika Milano) je prispeval podatke na italijanski strani območja izračuna, Dr. N. Kührtreiber (Univerza v Gradcu) nam je poslal podatke iz Avstrije ter G. Csapo (Lórand Eötvös Geofizikalni inštitut Budimpešta) nam je poslal podatke na madžarski strani območja (slika 4.3.4).

Veliko podatkov o kvaliteti pridobljenih podatkov nimamo. Za posamezne datoteke lahko napišemo naslednje:

- Avstrija: domnevamo, da so to "najboljši" podatki, pridobljeni od sosednjih držav. Tu gre za relativno "redko" mrežo vrednosti težnosti, ki so izbrane iz številne avstrijske baze gravimetričnih podatkov, (glej sliko). Točke pri tem niso v pravilni pravokotni mreži. Za vsako točko je podana merjena vrednost g-ja, horizontalne koordinate v starem avstrijskem datumu (MGI), nadmorska višina glede na datum Trst in topografski popravek.
- Madžarska: podatki so zelo številni (prek štiri tisoč točk), vendar smo jih v postopku ovrednotenja preračunali v pravilno mrežo točk ločljivosti $2',5 \times 2',5$. Podani so žal v Potsdamskem sistemu (danim merjenim vrednostmi so odšteli 14

- mGal, koliko znaša zamik med sistemoma). Za vsako točko so tudi podane geografske koordinate, nadmorska višina glede na Trst in topografski popravek.
- Italija: datoteka vsebuje prek osemsto točk. Po grafičnem pregledu smo ugotovili, da nekaj točk leži na avstrijskem ozemlju, poleg tega pa za del ozemlja od pribl $46^{\circ}20'$ (na geografski širini Kobarida) do tromeje $46^{\circ}35'$ sploh ni vrednosti. Tudi italijanski podatki se nanašajo na "italijanski" horizontalni datum (IGM), za višine pa sploh ni podatka.



slika 4.3.4: vsi razpoložljivi podatki z območja izračuna

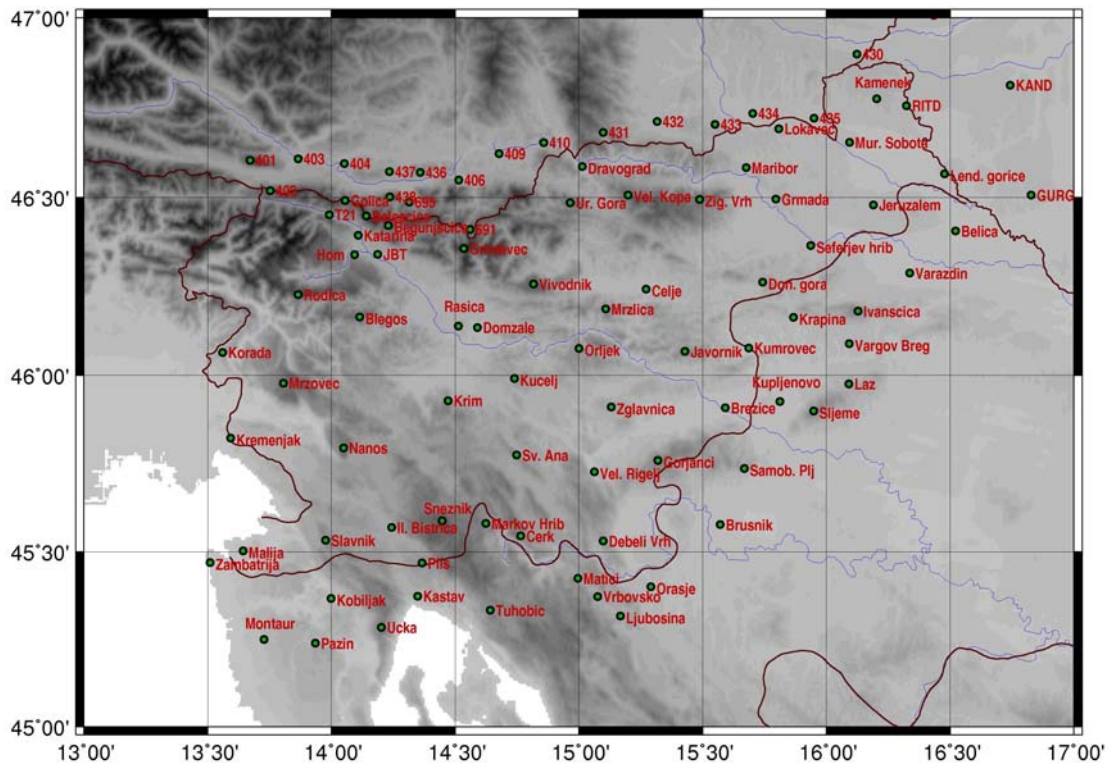
4.3.2.2 Astrogeodetski podatki

Na razpolago imamo 98 geoidnih točk z izmerjenimi astronomskim geografskimi kordinatami (komponentami odklona navpičnice). Od tega se 50 točk nahaja na ozemlju Slovenije, 23 na mejnem pasu z Hrvaško, 20 v Avstriji in 5 na Madžarskem. Od 50 točk na ozemlju Slovenije je 11 starih točk, ostale pa so določene med letoma 1988 in 1990. Takrat je zagrebška ekipa opravljala meritve tudi na nekaterih točkah na Hrvaškem.

Astronomska opazovanja v Sloveniji in Hrvaškem, izvajana v devedesetih letih so opravljena z modificiranim in razširjenim kompletom Zeiss Ni 2 – astrolab. Simultano določitev astronomskih koordinat Φ in Λ za geoidne točke so opravljene po znani "metodi enakih višin". Srednji kvadratni pogrešek v eni noči znaša za vsa opazovanja v vseh sezonah $0,2''$ do $0,3''$ (notranja natančnost). Zunanjo natančnost lahko izrazimo z srednjim kvadratnim pogreškom razlik opazovanj dveh noči. Ta se giblje v mejah $0,3''$ do $0,4''$ (Pribičević, 2000).

Podatki o geoidnih točkah v Avstriji in na Madžarskem so tudi prevzeti iz disertacije Pribičević 2000.

Razpored vseh geoidnih točk je podan na sliki 4.3.5.



Slika 4.3.5: razpored točk z merjenimi odkloni navpičnice

Opomba: za novi izračun ploskve geoida bi bilo smiselno pridobiti podatke z območja izračuna, ki obsega italijansko ozemlje).

4.3.2.3 Geodetske točke z višino, določeno z GPS-izmero in z nivelmanom

Za kvalitetno rešitev ploskve geoida je potrebno vključiti čim večje število točk, ki imajo znane elipsoidne (GPS) višine in nadmorske (ortometrične, normalne) višine. Slednje bi naj pridobili z geometričnim nivelmanom. Izkušnje zadnjih let pravijo, da je potrebno čim večje število GPS/niveliranih točk na robovih območja izračuna.

GURS razpolaga z obsežno bazo točk, ki so določene v različnih izmerah GPS, vse od leta 1991. V tej bazi je za vsako točko podan tudi način določitve njenih horizontalnih koordinat, kot tudi višinske komponente. Problem je v nadmorskih višinah točk, saj je le mali del točk niveliran. Z začetkom uporabe permanentne mreže postaj GPS, se opušča praksa višinske navezave izmeritvenih mrež GPS na obstoječo nivelmansko mrežo z niveliranjem.

Pri novem izračunu bi morali upoštevati najnovejše stanje centralne baze geodetskih točk, vendar je pred uporabo teh podatkov potrebno opraviti detajlno analizo predvsem niveliranih točk.

4.3.2.4 Digitalni model višin

Novi podatki za izračuni bi bili: digitalni model višin Slovenije (DMV100, ali DMV25) kot fini model in svetovni DMV SRTM 3" × 3" (Shuttle Radar Topography Mission) kot grobi model. Digitalni modeli višin se uporabljajo za izračun topografskih vplivov na izmeritvene točke. Nujno je, da so DMV-ji na območju Slovenije podani v koordinatah glede na geocentrični elipsoid (WGS-84, GRS 80), saj je potrebno vpliv na posamezni točki računati v območju polmera 167 km od točke; torej v točkah na meji Slovenije, je območje vpliva daleč na ozemlju sosednjih dežel. Prosto dostopni DMV-ji so manjše natančnosti kot modeli, izračunani pri nas. Zato je potrebno razpoložljive DMV-je (slovenske) preračunati iz GK-koordinat v koordinate glede na WGS-84 oz. GRS 80 (položajno sta elipsoida skoraj identična). Potem sledi še kombinacija obeh modelov oz. kontrola sovpadanja svetovnega DMV-ja s slovenskim na našem ozemlju. Za kontrolo mejnih območij se lahko uporabijo DMV-ji sosednjih dežel.

4.3.3 Predlogi za nadaljnja dela in plan izvedbe

Glede na obravnavo obstoječih podatkov v prejšnjih poglavjih lahko povzamemo naslednje:

- dobro bi bilo pridobiti gravimetrične podatke sosednjih dežel po uradni poti, predvsem mislimo na Avstrijo in Italijo. Posebej na zahodu primanjkujejo podatki vseh vrst in bi vsak nov podatek pripomrel k izboljšani rešitvi. Pri tem mislimo na morebitno pridobitev astrogeodetskih podatkov na italijanski strani območja izračuna.
- Z izvedbo gravimetrične, nivelmanske in GNSS- izmere na točkah SIGNAL-a, točkah gravimetrične mreže bi pridobili celovito skupino točk z znanimi elipsoidnimi in niveliranimi nadmorskimi višinami, ki bi predstavljali natančno ogrodje za višinski vklop bodočega modela geoida.
- Pri novem izračunu bi morali upoštevati najnovejše stanje centralne baze geodetskih točk, ki jo vodi GURS, vendar je pred uporabo teh podatkov potrebno opraviti detajlno analizo predvsem niveliranih točk.
- Potrebno je razpoložljive DMV-je (slovenske) preračunati iz GK-koordinat v koordinate glede na WGS-84 oz. GRS 80 (položajno sta elipsoida skoraj identična). Potem bi sledila še kombinacija obeh modelov oz. kontrola sovpadanja svetovnega DMV-ja s slovenskim na našem ozemlju. Za kontrolo mejnih območij se lahko uporabijo DMV-ji sosednjih dežel.
- V letu 2008 bi lahko izvedli naslednja dela:
 - vzpostavitev kontaktov z geodetskimi upravami sosednjih dežel glede izmenjave (pridobitve) gravimetričnih in astrogeodetskih podatkov. Predvsem BEV Avstrija in IGM Firence Italija.
 - opravi bi se lahko preračun slovenskega DMV-ja v preračunati iz GK-koordinat v datumu D48 v datum WGS 84 v elipsoidnih, geografskih koordinatah (eventuelno kordinatah UTM).

4.3.4 Viri

Bilibajkić P., Mladenović M., Mujagić S., Rimac I. (1979): Tolmač za gravimetrično karto SFR Jugoslavije – Bouguerove anomalije, Geofizika Zagreb, Zavod za geološka in geofizična raziskovanja Beograd.

Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004.

Podobnikar T. (2005): Digitalni model reliefa Digitalni model reliefa - razvoj, izdelava, uporabnost, Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Ljubljana.

Pribičević B. (2000): Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije, doktorska disertacija, UL FGG, Ljubljana, 180 str.

Urbanč M: (2008): Ocena natančnosti geoidnega modela Slovenije, diplomska naloga, UL FGG, Ogeo, Ljubljana, 68 str.

5 Podporne naloge

5.1 Delovanje komisije za DGS (NALOGA 4.1)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Pripravljena so bila gradiva za naslednji sklic seje Komisije za DGS. Komisija se v času trajanja projekta ni sestala, tako da so rezultat naloge pripravljena gradiva, in sicer:

- osnutek predloga imen, krajšav in definicij komponent novega koordinatnega sistema, ki vključuje tudi različne modele transformacij med koordinatnimi sistemi; predlog imen, oznak, krajšav v zvezi z novim državnim koordinatnim sistemom je v [Prilogi N1.6-01](#);
- podroben opis in razlage v zvezi z novo državno kartografsko projekcijo; opis nove državne kartografske projekcije in parametrov kartografske projekcije (pripravljen za objavo na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije) je v [Prilogi N1.6-02](#);
- predlog za preoblikovanje vzdrževanja in vodenja osnovnih mrež geodetskih točk v državi po prehodu na nov koordinatni sistem; predlog vsebuje tudi kriterije za izbor, gostoto, razporeditev in stabilizacijo točk, tehnologijo izmere ter nivoje mrež geodetskih točk, in sicer za horizontalni, višinski in gravimetrični sistem; nove delitve v osnovi izhajajo iz obstoječe razdelitve točk, pri čemer pa je ključno upoštevanje novih tehnologij in uporabniških zahtev; definirani so modeli kakovosti posameznih redov in metode izmere ter tehnologije glede na zahtevano natančnost – predlog je bil izveden v okviru naloge 1.4 (glej **Poglavje 2.4** tega poročila).

5.2 Koordinacija in realizacija postopkov prehoda na nov koordinatni sistem (NALOGA 4.2)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Aktivno smo sodelovali na sestankih v zvezi z aktivnostmi Geodetske uprave Republike Slovenije za pričetek izvajanja nove zakonodaje. Sodelovanje vključuje tudi podajanje predlogov in pripomb na predlagane rešitve oziroma prejeta gradiva.

Aktivnosti vključujejo sodelovanje na sestankih v zvezi s preходом na nov koordinatni sistem. Na sestanku projekta je bila na željo naročnika obravnavana tudi nova zasnova centralne baze geodetskih točk, ki jo pripravlja GURS; podane so bile nekatere pripombe – glej sklepe sestanka z dne 06. 07. 2007 ([Priloga Z2](#)).

Projektna skupina je sodelovala tudi na sestankih v zvezi s problematiko pričetka uporabe novega koordinatnega sistema (01. 01. 2008) v zemljiškem katastru in katastru stavb. GURS so bile predstavljene tudi idejne rešitve transformacij podatkov v novi državni koordinatni sistem.

Za potrebe projekta je bil skupaj z naročnikom izbran zunanji (tuji) svetovalec, in sicer norveški Statens Kartverk. Generalni direktor Knut Flåthen in gospod Lars Bockmann sta bila udeleženca otvoritvene konference projekta v Ljubljani in sta imela predstavitev stanja na Norveškem. Gradiva s konference so v [Prilogi N4.3-02](#).

Po sami konferenci je bilo tudi delovno srečanje na Geodetski upravi Republike Slovenije, njihovo svetovanje pa se je nadaljevalo tudi še dan po konferenci na Geodetskem inštitutu Slovenije.

Norveški svetovalec na projektu, gospod Lars Bockmann, se je udeležil tudi 37. geodetskega dne, ki je bil v celoti posvečen prehodu na nov koordinatni sistem. Gradiva s posveta so v [Prilogi N4.3-06](#).

V okviru te naloge so bili tudi pripravljeni nekatera strokovno-tehnična pojasnila – odgovori na vprašanja v zvezi z novim koordinatnim sistemom. Vprašanja so prihajalas strani naročnika ali pa s strani uporabnikov. Prejeta vprašanja in pripravljene odgovori so zbrani v [Prilogi N4.2-01](#).

Nekatera dodatna gradiva v zvezi s sodelovanjem norveških svetovalcev (razen njihovih predstavitev) so v [Prilogi N4.2-02](#).

5.3 Promocija novega koordinatnega sistema (NALOGA 4.3)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Dokončana in natisnjena je bila publikacija z naslovom Evropski koordinatni sistem v Republiki Sloveniji – Sodobneje in natančneje do položaja in geolokacijskih storitev. Dne 17. 04. 2007 je bil izveden celodnevni seminar z naslovom Uvajanje novega državnega koordinatnega sistema v Sloveniji; seminar je bil ponovljen še 19. 06. 2007. Gradiva s seminarja so v [Prilogi N4.3-01](#).

Na konferenci z naslovom Uvođenje novog geodetskog referentnog sistema, ki je bila 11. 05. 2007 v Beogradu, Srbija, je bila izvedena predstavitev prehoda na nov koordinatni sistem v Sloveniji s poudarkom na prehodu v zemljiškem katastru. Gradiva s konference so v [Prilogi N4.3-02](#).

Dne 15. 05. 2007 je bila izvedena otvoritvena konferenca projekta z naslovom Vzpostavitev evropskega koordinatnega sistema v Sloveniji. Gradiva s konference so v [Prilogi N4.3-03](#).

Vmesni rezultati posameznih nalog na projektu so bili uporabljeni pri pripravi predavanj za obvezno izobraževanje za imetnike geodetske izkaznice v Poljčah, in sicer v okviru prvega sklopa predavanj z naslovom Uporaba novega koordinatnega sistema v evidenci zemljiškega katastra. Gradiva z izobraževanja so v [Prilogi N4.3-04](#).

Na simpoziju ob zaključku projekta Interreg IIIA (HARMO-GEO), ki je bil 13. 11. 2007 v Novi Gorici, je bil predstavljen prispevek z naslovom Transformation of spatial data into the new national coordinate system and connection to the European coordinate system. Gradiva s simpozija so v [Prilogi N4.3-05](#).

Izvedene so bile predstavitve na strokovnem posvetu z naslovom »S koordinatami v Evropi« na 37. geodetskem dnevu, ki je bil 16. 11. 2007 v Novi Gorici. Gradiva s posveta so v [Prilogi N4.3-06](#), razen predstavitev idejne rešitve transformacije podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem, ki je v [Prilogi N4.7-05](#).

Izvedene so bile tudi predstavitve stanja in aktivnosti pri uvajanju novega koordinatnega sistema v Sloveniji na Mednarodni regionalni delavnici o satelitskih referenčnih sistemih za katastrsko izmero, ki je bila 17. 11. 2007 v Novi Gorici (v okviru 37. geodetskega dneva). Gradiva z delavnice so v [Prilogi N4.3-07](#).

5.4 Posodobitev vsebine spletnih strani o DGS (NALOGA 4.4)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Pripravljeno je gradivo za objavo optimalnih ravninskih transformacijskih parametrov za celo državo (med D48/GK in D96/TM) ter dokument z opisi in razlagami v zvezi z novo državno kartografsko projekcijo. Pripravljene dokumenti za objavo transformacijskih parametrov na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije so v naslednjih prilogah:

- [Priloga N4.4-01](#) – Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za celo državo z upoštevanjem višin
- [Priloga N4.4-02](#) – Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za celo državo z redukcijo višin
- [Priloga N4.4-03](#) – Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 3 pokrajine z upoštevanjem višin
- [Priloga N4.4-04](#) – Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 3 pokrajine z redukcijo višin
- [Priloga N4.4-05](#) – Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 7 regij z upoštevanjem višin
- [Priloga N4.4-06](#) – Transformacijski parametri prostorske podobnostne transformacije za 7 regij z redukcijo višin
- [Priloga N4.4-07b](#) in [Priloga N4.4-07c](#) – Transformacijski parametri ravninske podobnostne transformacije za 24 območij

Parametre v Prilogah N4.4-01–N4.4-06 pripravil: mag. Klemen Kozmus Trajkovski, FGG

Parametre v Prilogi N4.4-07 pripravil: Sandi Berk, GI

Oblikovanje spletnih vsebin: Matija Klanjšček in Nika Mesner, oba GI

Pripravljen je bil tudi dokument z opisi in razlagami v zvezi z novo državno kartografsko projekcijo, ki je v [Prilogi N1.6-02](#).

5.5 Priprava letnega poročila in udeležba na konferenci EUREF (NALOGA 4.5)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Na skupnem sestanku z naročnikom je bila opredeljena vsebina oziroma teme predstavitve za EUREF-simpozij v Londonu – glej zapisnik sestanka z dne 29. 05. 2007 ([Priloga Z1](#)); vsebina predstavitve, ki je obsegala:

- zakonske osnove za prehod na nov KS (novi ZEN),
- otvoritev omrežja SIGNAL – operativno delovanje,
- vzpostavitev nove gravimetrične mreže,
- otvoritev mareografa in nadaljevanje sanacije višinskega sistema in
- predstavitev norveškega projekta.

Predstavitev Slovenije (nacionalnega poročila) na EUREF-simpoziju, ki je bil med 05. in 09. 06. 2007 v Londonu, je bila izvedena s strani naročnika projekta.

Sledila je še priprava nacionalnega poročila v pisni obliki, ki je bilo poslano za objavo v zborniku EUREF-simpozija v Londonu.

Predstavitev (prosojnice) na simpoziju v Londonu je v [Prilogi N4.5-01](#), nacionalno poročilo v pisni obliki (prispevek za zbornik) pa je v [Prilogi N4.5-02](#).

5.6 Dopolnitev terminološkega slovarja – državni koordinatni sistem (NALOGA 4.6)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Pripravljen je bil osnutek predloga imen, krajšav in definicij komponent novega koordinatnega sistema, ki vključuje tudi različne modele transformacij med koordinatnimi sistemi. Predlog imen, oznak, krajšav v zvezi z novim državnim koordinatnim sistemom je v [Prilogi N1.6-01](#).

Dopolnjen in usklajen je bil terminološki slovar, in sicer tudi za višinsko komponento koordinatnega sistema in gravimetrijo. Terminološki slovar bo potrebno še dopolniti z definicijo komponent ter določitvijo oznak višinskega koordinatnega sistema.

DRŽAVNI VIŠINSKI KOORDINATNI SISTEM (V KS)

Pripravil: dr. Božo Koler, FGG

Osnovni pojmi v zvezi s starim (sedanjim) državnim višinskim KS:

Pregled imen/kratic/oznak:

IGSN 71	International Standardization Net 1971, Mednarodna standardizirana gravimetrična mreža 71, globalna gravimetrična mreža točk, določena med leti 1950 in 1970. Mreža predstavlja svetovni datum gravimetričnih meritev. Izhodišče sistema predstavlja 10 absolutnih meritev na osmih točkah. Absolutne gravimetrične meritve se podajajo v vrednosti g -ja v tem sistemu.
geopotencialna kota	Geopotencialna kota (C) točke je definirana kot razlika potenciala točke na površju Zemlje in potenciala na geoidu. Enota je $1\text{gpu} = 10\text{ m}^2\text{s}^{-2} = 1\text{ kgalm}$. Po dogovoru je geopotencialna kota točke na geoidu enaka nič. Geopotencialna kota je osnova za izračun metričnih višin: Kvocient geopotencialne kote in izbrane vrednosti težnega pospeška predstavlja metrično višino.
dinamična višina	Vrsta metrične višine, ki jo dobimo, če geopotencialno koto delimo s konstantno vrednostjo normalnega težnega pospeška (na primer na nivoju elipsoida za geografsko širino $\phi=45^\circ$). Nima geometrijskega pomena.
ortometrična višina	Vrsta metrične višine, ki predstavlja oddaljenost od geoida, merjeno po ukrivljeni težiščnici. Dobimo jo če geopotencialno koto delimo s srednjo vrednostjo dejanskega težnega pospeška med geoidom in točko na površju.
normalna višina	Vrsta metrične višine, ki predstavlja oddaljenost od kvazigeoida oz. oddaljenost točke na teluroidu od ustrezne

	točke na elipsoidu. Točki na elipsoidu oz. kvazigeoidu sta prirejani točki na površini Zemlje z normalo na elipsoid.
normalna ortometrična višina (sferoidna višina)	Vrsta metrične višine, ki je trenutno v uporabi v Sloveniji; izračunana v preteklosti s pomočjo t.i. sferoidnih enačb, kjer so pri izračunu geopotencialne kote namesto merjenega težnega pospeška g , uporabili normalni težni pospešek γ .
nivojski elipsoid	Nivojski elipsoid je ploskev enakega potenciala $U_0 = \text{konst.}$ kot geoid $W_0 = \text{konst.}$, torej velja: $U_0 = W_0$. Primera sta elipsoida GRS 80 in WGS 84, katerima je prirejeno težnostno polje.
geoid	Izhodiščna ekvipotencialna ploskev zemljinega težnostnega potenciala. To je po Gaussu potencialna ploskev zemeljskega telesa, ponazorjena s srednjo gladino svetovnih morij in v mislih podaljšana pod celinami. Geoid je podan z enačbo: $W = W(x,y,z) = W_0$.
kvazigeoid	Referenčna ploskev za izračun normalnih višin. Ni ekvipotencialna ploskev, je geometrijsko mesto točk, ki ga dobimo, če normalne višine vseh točk na površju Zemlje naneseemo v njeno notranjost.
teluroid	Geometrijsko mesto točk za katero velja, da je normalni potencial točke (Q) na teluroidu enak dejanskemu težnostnemu potencialu ustrezne točke na površju Zemlje (P): $U_Q = W_P$.
geoidna višina	(N) ali geoidna ondulacija, je oddaljenost ploskve geoida od ploskve izbranega elipsoida v izbrani točki; lahko je pozitivna ali negativna; glede na globalni geoid (elipsoid) je razpon geoidnih višin med -100 m in +70 m.
anomalija višine	(ζ) ali kvazigeoidna višina (termin se vse bolj uveljavlja v zadnjem času). Enako kot geoidna višina v primeru kvazigeoida.
GRS80	Geodetski referenčni sistem 1980 je sprejela leta 1979 Mednarodna zveza za geodezijo in geofiziko (IUGG); definira štiri osnovne geofizikalne parametre Zemlje in sicer veliko pol os (a), geocentrično gravitacijsko konstanto (GM), dinamični faktor oblike (J_2) in kotno hitrost (ω). Kot nivojski elipsoid definira normalni težni pospešek (γ), ki se ga lahko izračuna s pomočjo enačbe Somigliane.
enačba Somigliane	Enačba poimenovana po italijanskemu fiziku Carlu Somigliani (1860 – 1955), ki omogoča izračun normalnega težnega pospeška v poljubni točki na elipsoidu za dano vrednost geodetske širine; upoštevajo se dani parametri ustreznega nivojskega elipsoida: normalna težna pospeška na polu in ekvatorju.
reper	Trajno stabilizirana višinska geodetska točka z znano nadmorsko višino (dinamično, ortometrično, normalno-ortometrično ali normalno višino).
fundamentalni reper	Trajno stabiliziran reper, na geološko stabilnem območju, ki služi za zavarovanje višinske mreže in predstavlja izhodišče za izračun višin delovnih reperjev na nekem območju.
normalni reper	Običajno izhodiščni reper državne nivelmanske mreže; normalni reper naj bi bil stabiliziran na geološko stabilnem območju, v središču nivelmanske mreže.

vertikalni datum	Vertikalni datum državne nivelmanske mreže je določen z srednjim nivojem morja, ki ga dobimo z večletnimi opazovanji na mareografskih postajah, za določen dan.
nivelmanska linija	Osnovna enota nivelmanske mreže. Direktna povezava dveh reperjev z metodo geometričnega nivelmana.
nivelmanski poligon	Niz med seboj zaporedno povezanih nivelmanskih linij.
mareograf	Sistem za merjenje in registracijo nihanja morske gladine.

5.7 Opredelitev modelov transformacije in postopkov pretvorbe prostorskih podatkov GURS v nov koordinatni sistem (NALOGA 4.7)

Povzetek pripravil: Sandi Berk, GI

Povzetek

Opredeljen je bil postopek določitve optimalnega niza veznih točk kompleksne transformacije, ki vključuje preverjanje kakovosti točk in izločanje grobih napak, izbor veznih točk za kompleksno transformacijo, določitev pomožnih veznih točk, preverjanje reverzibilnosti transformacije ter analizo kakovosti kompleksne transformacije. Rezultat je predlog modela kompleksne transformacije in izbor niza veznih točk kompleksne transformacije, različica 1.0.

Predlog vključuje kriterije kompleksne metode transformacije, ki bi v največji možni meri odpravila vpliv nehomogene natančnosti državnega koordinatnega sistema in s katero bi bilo mogoče hkrati in z enako kakovostjo transformirati celotno državno ozemlje. Hkrati so bili določeni tudi kriteriji za izbor veznih točk za kompleksno transformacijo. Na podlagi izdelanih kriterijev je bil na podlagi prečiščenega seznama ETRS-točk (izločitev slabih točk) izbran niz 616 veznih točk (različica 1.0), ki je osnovni vhodni podatek za izvedbo kompleksne transformacije. Seznam koordinat izbranih točk za prehod iz starega v novi koordinatni sistem (niz veznih točk – različica 1.0) je v [Prilogi N4.7-01](#).

Tvorba trikotnikov za trikotniško transformacijo je avtomatična; uporabi se Delaunayjeva triangulacija izbranih veznih točk. Izbor oziroma tvorba trikotnikov je torej podana s samim izborom veznih točk. Dani niz 616 veznih točk tako rezultira 1212 transformacijskih trikotnikov. Prikaz razporeditve transformacijskih trikotnikov kompleksne transformacije (različica 1.0) je v [Prilogi N4.7-02](#).

Končni niz izbranih veznih točk – različica 1.0, ki bo uporabljen tako za enostavni kot tudi za kompleksni model transformacije na nivoju države, je bil preizkušen z uporabo kompleksnega modela. Na koncu je bila na osnovi preostalih ETRS-točk (1345 kontrolnih točk) izvedena ocena kakovosti transformacije, ki je okoli 1 dm; standardni odklon položajev kontrolnih točk znaša 4,2 cm, največje položajno odstopanje pa 21,4 cm.

Največja kotna deformacija (v najslabšem trikotniku) znaša 30,2 ‰, največja površinska deformacija znaša 0,014 ‰ (tj. 1,40 m²/ha), največja linijska deformacija pa znaša 0,012 ‰ (12 cm/km).

Na osnovi izbranega niza veznih točk (različica 1.0) in kompleksnega modela transformacije je bil določen grid pomikov iz starega v novi koordinatni sistem (za pomika po y- in x-osi). Velikost gridne celice je bila 1 km. Tako sta bili določeni ploskvi pomikov iz starega v novi koordinatni sistem, ki je zaradi nehomogene natančnosti starega koordinatnega sistema precej razgibana. Določene so bile tudi črte enakih pomikov (istopomičnice oz. izošifte) z ekvidistanco 0,5 metra. S pomočjo takšnega modela (transformacija z gridom pomikov) si lahko uporabnik ročno (z enostavno interpolacijo izolinij) določi skrajno poenostavljeno transformacije za neko manjše območje (polmer nekaj km) z natančnostjo okoli 1 dm. Ploskvi pomikov, prikazani z istopomičnicami oziroma izošiftami so v [Prilogi N4.7-03](#).

Na osnovi izbranega niza veznih točk za kompleksno transformacijo so bili določeni optimalni parametri ravninskih podobnostnih transformacij za celotno državno ozemlje, in sicer:

- optimalna ravninska (4-p) podobnostna transformacija iz D48/GK v D96/TM
- optimalna ravninska (4-p) podobnostna transformacija iz D96/TM v D48/GK
- optimalna ravninska (4-p) podobnostna transformacija iz D48/GK v WGS84/UTM
- optimalna ravninska (4-p) podobnostna transformacija iz WGS84/UTM v D48/GK
- optimalna ravninska (4-p) podobnostna transformacija iz D96/TM v WGS84/UTM
- optimalna ravninska (4-p) podobnostna transformacija iz WGS84/UTM v D96/TM

Odstopanja po optimalni ravninski transformaciji celotnega državnega ozemlja pri transformacijah D48/GK ↔ D96/TM in D48/GK ↔ WGS84/UTM so povsod manjša od 1,23 m; standardni odklon odstopanj je 0,45 m.

Odstopanja po optimalni ravninski transformaciji celotnega državnega ozemlja pri transformacijah D96/TM ↔ WGS84/UTM so povsod manjša od 0,01 m; standardni odklon odstopanj je 4 mm; gre namreč za dva homogena sistema.

Poročila o določitvi optimalnih transformacijskih parametrov transformacij za območje cele države med zgoraj navedenimi ravninskimi koordinatnimi sistemi (povzetki) so v [Prilogi N1.2-04](#).

Ocenjeno je bilo, da bi za potrebe transformacij vseh podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije zadostovala t. i.

- enostavni model transformacije (enotna ravninska podobnostna transformacija za celotno državno ozemlje) in
- kompleksni model transformacije (trikotniško zasnovana odsekoma afina transformacija).

Podrobnejše rešitve za različne podatkovne zbirke so bile obdelane v okviru projekta Opredelitev postopkov pretvorbe podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v nov državni koordinatni sistem [Berk idr., 2007]. Rešitve so bile naknadno predstavljene širši strokovni javnosti na 37. geodetskem dnevu, 16. novembra 2007 v Novi Gorici, prispevek pa je bil objavljen tudi v osrednji strokovni reviji:

- Sandi Berk in Marjana Duhovnik: **Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem. *Geodetski vestnik***, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 803–826

Objavljeni članek in predstavitev s prosojnicami (v dveh delih) sta v [Prilogi N4.7-05](#).

5.7.1 Izbor veznih točk za kompleksno transformacijo

Poročilo pripravil: Sandi Berk, GI

Po izvedeni analizi kakovosti ETRS-točk in odkrivanju grobih napak (po posameznih relativno homogenih območjih) je od prvotnih 2005 ostalo še 1943 ETRS-točk. Točke so bile za vseh 24 območij ponovno združene v skupno datoteko.

Sledil je izbor veznih točk. Cilj je bil izbrati vezne točke, ki bi čimbolj enakomerno pokrivalo celotno državno ozemlje.

Na podlagi dosedanjih izkušenj, tudi iz izkušenj s kompleksnimi transformacijami v drugih državah – na primer v Veliki Britaniji [Definitive Transformation, 2001] – je namreč mogoče zaključiti, da prevelika gostota točk ne doprinese h kakovosti transformacije na določenem območju. Izkušnje kažejo, da gostitev točk pod 1 km ni več smiselna, saj se že bližamo nivoju detajlne izmere s specifičnimi problemi. Glede na te ugotovitve in težnjo po čimbolj enakomerni gostoti veznih točk je bil za različico 1.0 za redčenje točk uporabljen kriterij:

- najmanjša dopustna razdalja dveh sosednjih veznih točk: **3 km**.

Izbor veznih točk je bil izveden v dveh korakih:

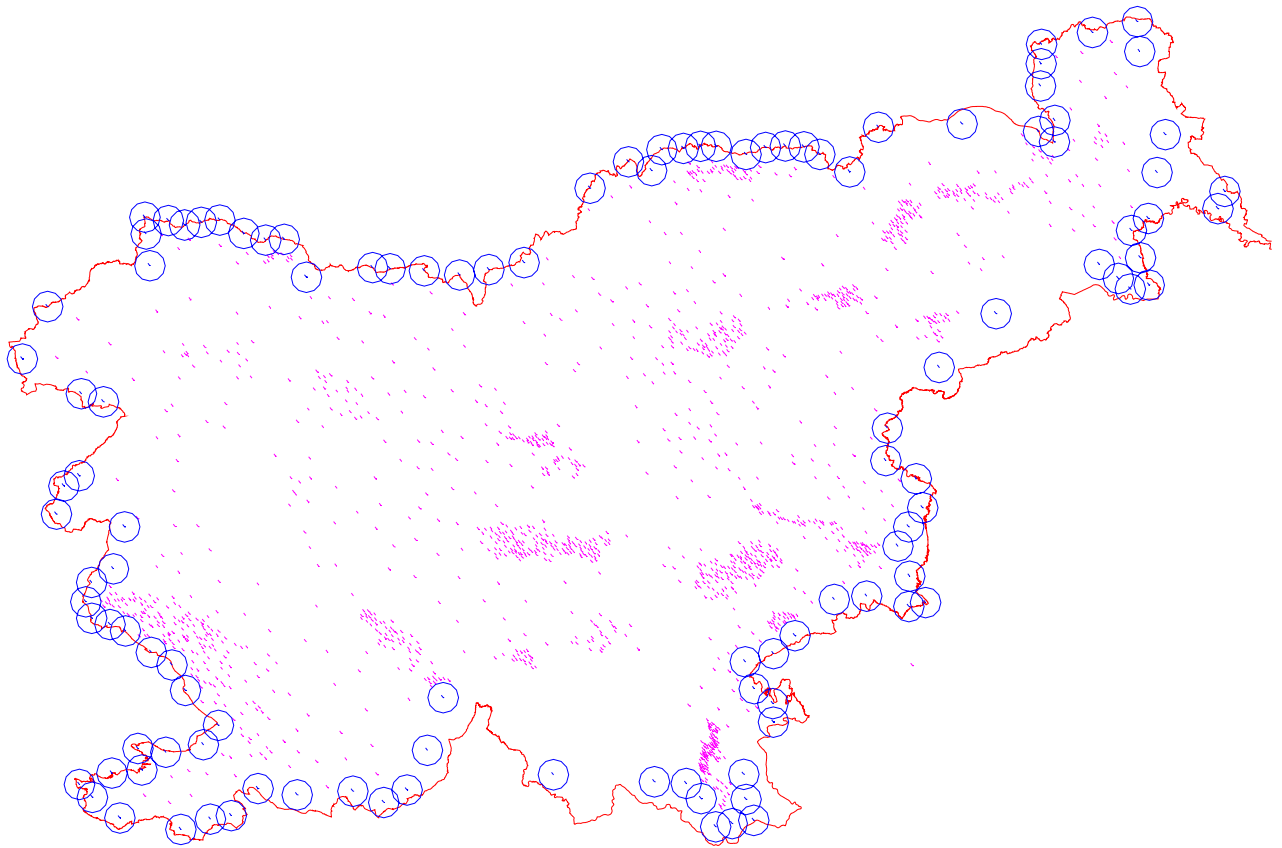
- ročni izbor mejnih veznih točk in
- avtomatični izbor ostalih veznih točk.

5.7.1.1 1. faza – ročni izbor mejnih veznih točk

Razlog za ročni izbor je bil želja, da vezne točke zaobjamejo čimvečji obseg, torej da segajo čimbolj do meje državnega ozemlja. Zato so bile te točke izbrane ročno. Izbrane so bile tako, da:

- ležijo čimbliže državni meji in da
- upoštevajo izbrani kriterij najmanjše dopustne razdalje (3 km).

Po zgornjih kriterijih je bilo izbranih 116 mejnih veznih točk. Okoli vsake ročno izbrane mejne vezne točke je bil očrtan krog s polmerom 3 km. Znotraj tega kroga so bile izločene vse ostale ETRS-točke. Tako je bilo izločenih 272 ročno izbranim veznim točkam bližnjih ETRS-točk; glej sliko 5.7.1.1-1.



Slika 5.7.1.1-1: Ročni izbor mejnih veznih točk; označene so s krogi s polmerom 3 km v modri barvi, ostale vezne točke so v magentni barvi.

5.7.1.2 2. faza – avtomatični izbor ostalih veznih točk

Ostalo je torej še 1555 ETRS-točk (1943 – 116 izbranih – 272 izločenih), ki so bile razredčene z avtomatičnim postopkom. Redčenje je bilo izvedeno po korakih; v vsakem je bila izločena ena ETRS-točka, in sicer »točka na območju največje gostote«. Postopek ugotavljanja »točke na območju največje gostote« je bil naslednji:

- poiščemo par dveh ETRS-točk, ki sta si najbližje skupaj, nato pa
- poiščemo, katera izmed obeh točk ima bližjo sebi drugo najbližjo ETRS-točko.

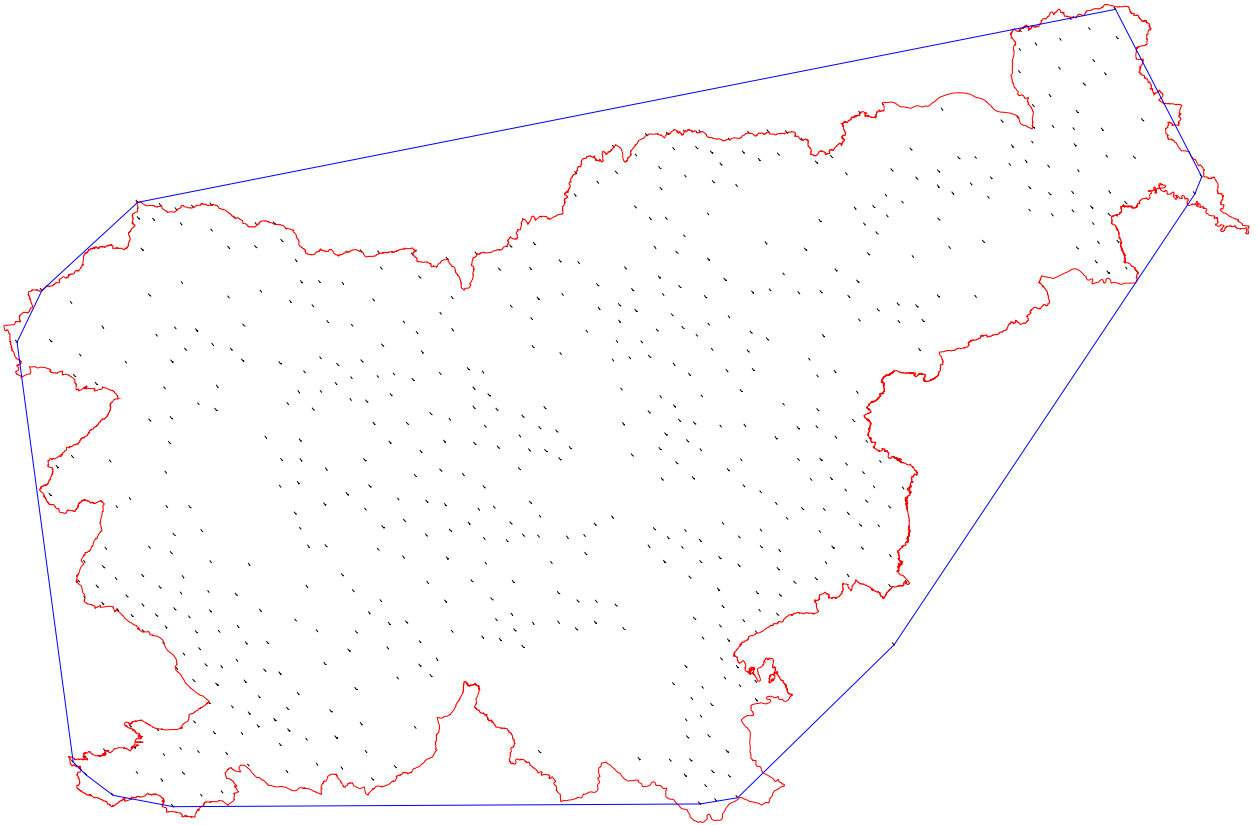
Točka, ki izpolnjuje zgornja pogoja, je točka obravnavana kot »točka na območju največje gostote« in se izloči. Izločanje točk po opisanem postopku je zaključeno v koraku, ko je izpolnjen pogoj:

- najdeni par dveh ETRS-točk, ki sta si najbližje skupaj, je oddaljen za več kot: **3 km**.

Točke, ki ostanejo po zadnjem koraku izločanja ETRS-točk, so preostale izbrane vezne točke. Po zgoraj opisanem postopku je bilo avtomatično izločenih še 1072 točk; tako je bilo izbranih še 483 veznih točk (preostanek ETRS-točk po redčenju). Skupaj je bilo torej izbranih 599 veznih točk.

5.7.1.3 3. faza – določitev pomožnih veznih točk

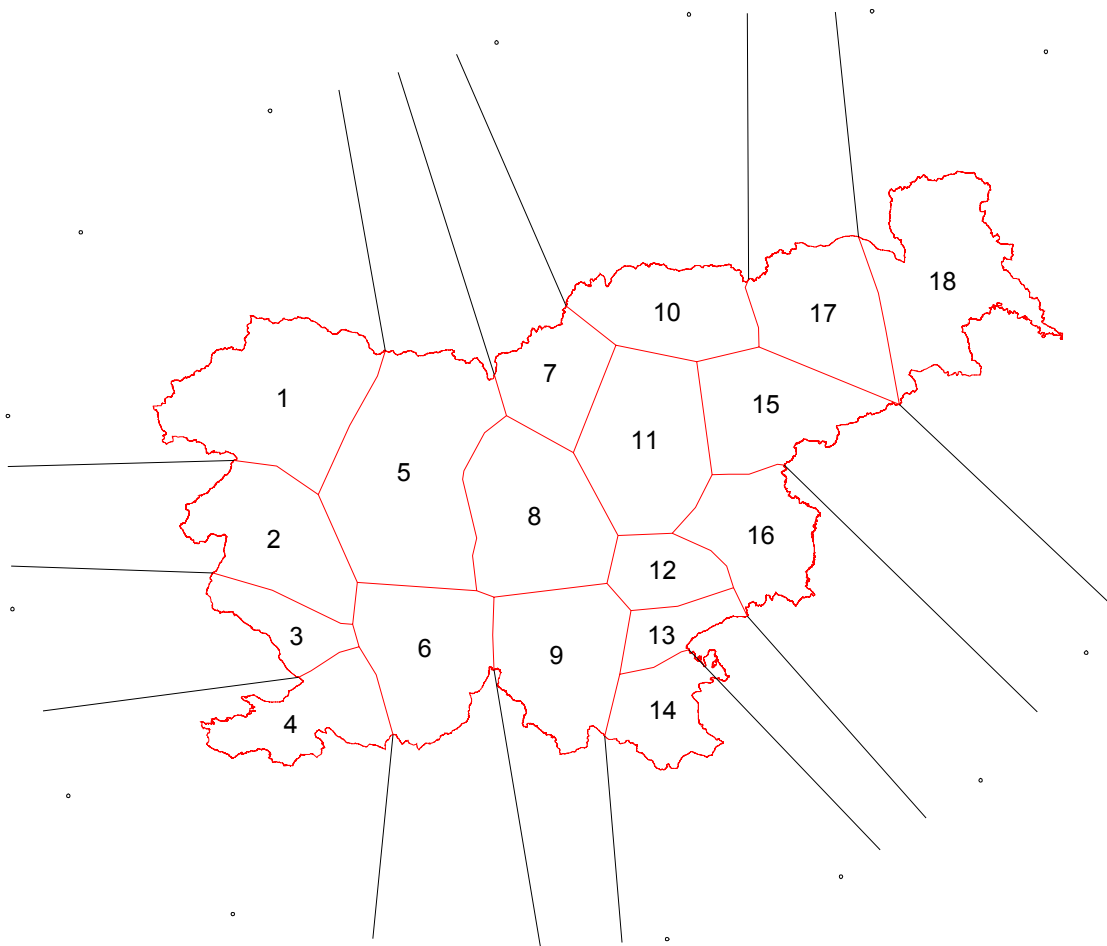
Takšna transformacija seveda deluje le znotraj konveksnega oboda vseh veznih točk. Na ta način ne moremo zagotoviti transformacije celotnega državnega ozemlja, saj imamo vezne točke le znotraj državne meje ali kvečjemu na meji sami; glej sliko 5.7.1.3-1.



Slika 5.7.1.3-1: Konveksni obod izbranih 599-tih veznih točk.

Zunaj konveksnega oboda izbranih veznih točk se nahaja 215,1 km² oziroma 1,06 % državnega ozemlja. Potrebujemo torej pomožne vezne točke zunaj državnega ozemlja, ki omogočajo ekstrapolacijo transformacije navzven.

Izbranim 599 veznim točkam je bilo dodanih še 18 pomožnih točk, ki so že bile določene [Razvoj OGS, 2006, str. 81]. Točke v starem koordinatnem sistemu so bile smiselno izbrane tako, da njihov konveksni obod lepo oklepa celotno državno ozemlje. Te točke so bile nato transformirane z ravninskimi parametri najbližjega izmed 18-ih relativno homogenih območij transformacije; glej sliko 5.7.1.3-2.



Slika 5.7.1.3-2: Izbor pomožnih veznih točk in območja transformacij, katerih parametri so bili uporabljeni za določitev koordinat v novem državnem koordinatnem sistemu.

Tri pomožne vezne točke so bile določene s pomočjo optimalnih transformacijskih parametrov za območje št. 1, ena točka s pomočjo parametrov za območje št. 3, dve točki s pomočjo parametrov za območje št. 4, ena točka s pomočjo parametrov za območje št. 6, dve točki s pomočjo parametrov za območje št. 10, dve točki s pomočjo parametrov za območje št. 14, ena točka s pomočjo parametrov za območje št. 15, ena točka s pomočjo parametrov za območje št. 16 ter pet točk s pomočjo parametrov za območje št. 18.

Koordinate pomožnih veznih točk v sedanjem državnem ravninskem koordinatnem sistemu (D 48, Besslov elipsoid, Gauß-Krügerjeva projekcija) ter v novem ravninskem koordinatnem sistemu (D 96, elipsoid GRS 80, TM-projekcija) so podane v preglednici.

	E	N	Y	X
1	468386,31	228733,65	468753,18	228245,01
2	520814,66	236335,48	521180,26	235848,63
3	570704,70	237176,77	571070,55	236693,48
4	618057,64	226192,26	618424,04	225710,47
5	648497,89	190707,86	648865,57	190226,92
6	663717,18	147620,38	664086,34	147139,74
7	654414,16	101999,16	654784,76	101518,03
8	629045,52	63136,89	629416,82	62655,09

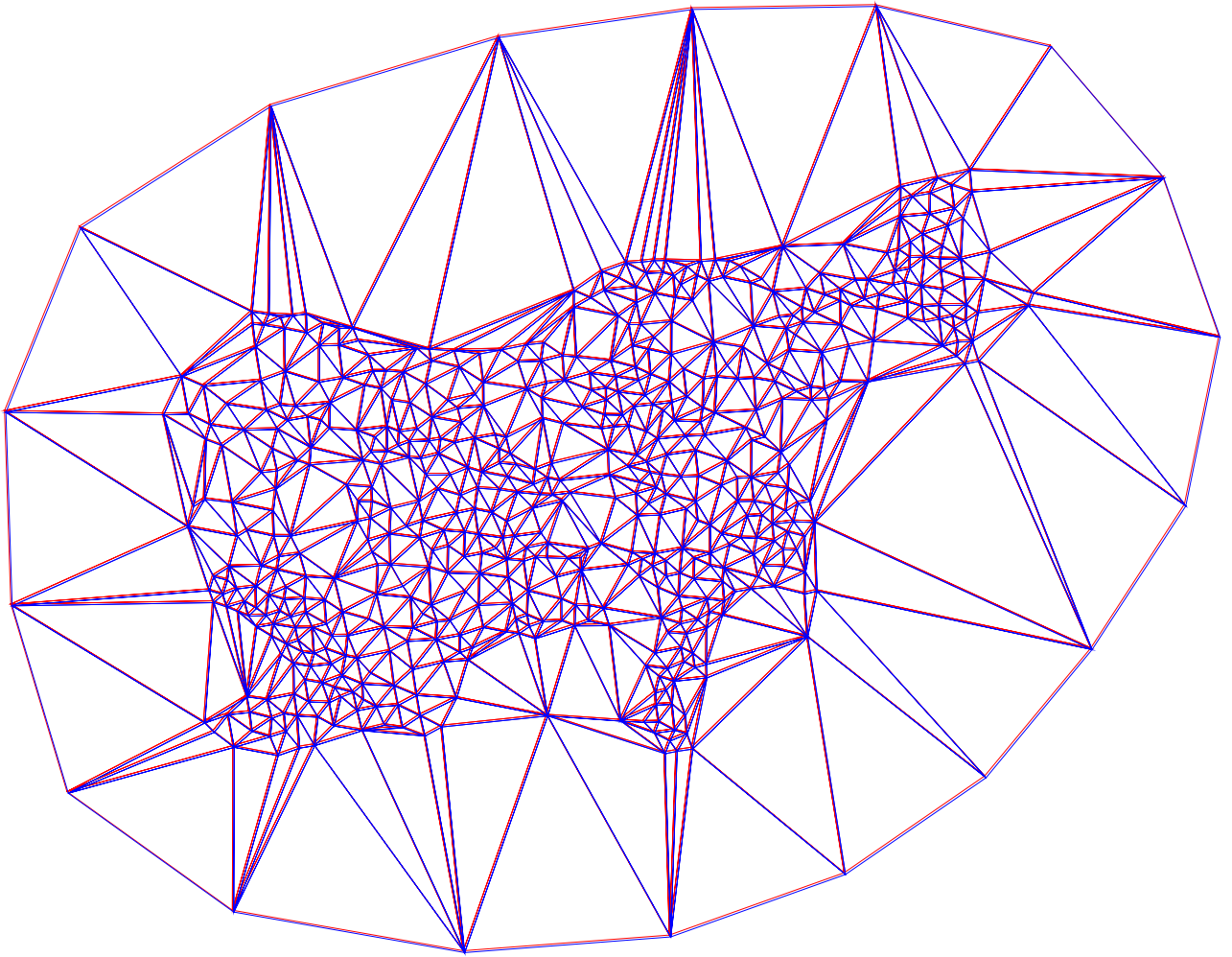
9	600294,51	28499,85	600666,48	28016,38
10	562242,71	2310,34	562614,57	1826,14
11	514888,67	-14586,15	515261,07	-15070,79
12	459078,50	-18809,71	459451,60	-19295,02
13	396503,83	-7825,85	396877,34	-8312,02
14	351687,15	24279,32	352060,64	23792,15
15	336466,07	74971,10	336839,87	74482,94
16	334775,64	127352,98	335148,68	126863,43
17	355071,55	177199,66	355443,03	176709,37
18	406654,97	210148,32	407024,52	209658,39

5.7.1.4 Preverjanje reverzibilnosti transformacije

Skupaj je bilo izbranih 617 veznih točk, ki so izmerjene tako v starem kot tudi v novem ravninskem koordinatnem sistemu (599 veznih točk izbranih izmed 1943 razpoložljivih ETRS-točk ter 18 pomožnih veznih točk). Določitev območij transformacije (transformacijskih trikotnikov) je za dani niz veznih točk avtomatična; takšna je definicija modela transformacije. Uporabi se Delaunayjeva triangulacija veznih točk.

Za inverzno transformacijo želimo uporabiti identični niz veznih točk, vendar z zamenjanimi vlogami koordinat (zamenjava stolpcev). Da bo tako dobljeni niz veznih točk res predstavljal inverzno transformacijo, mora zanj veljati, da Delaunayjeva triangulacija veznih točk v starem koordinatnem sistemu tvori isti niz trikotnikov kot Delaunayjeva triangulacija veznih točk v novem koordinatnem sistemu. Preverjamo torej, ali je dani niz veznih točk topološko ustrezen.

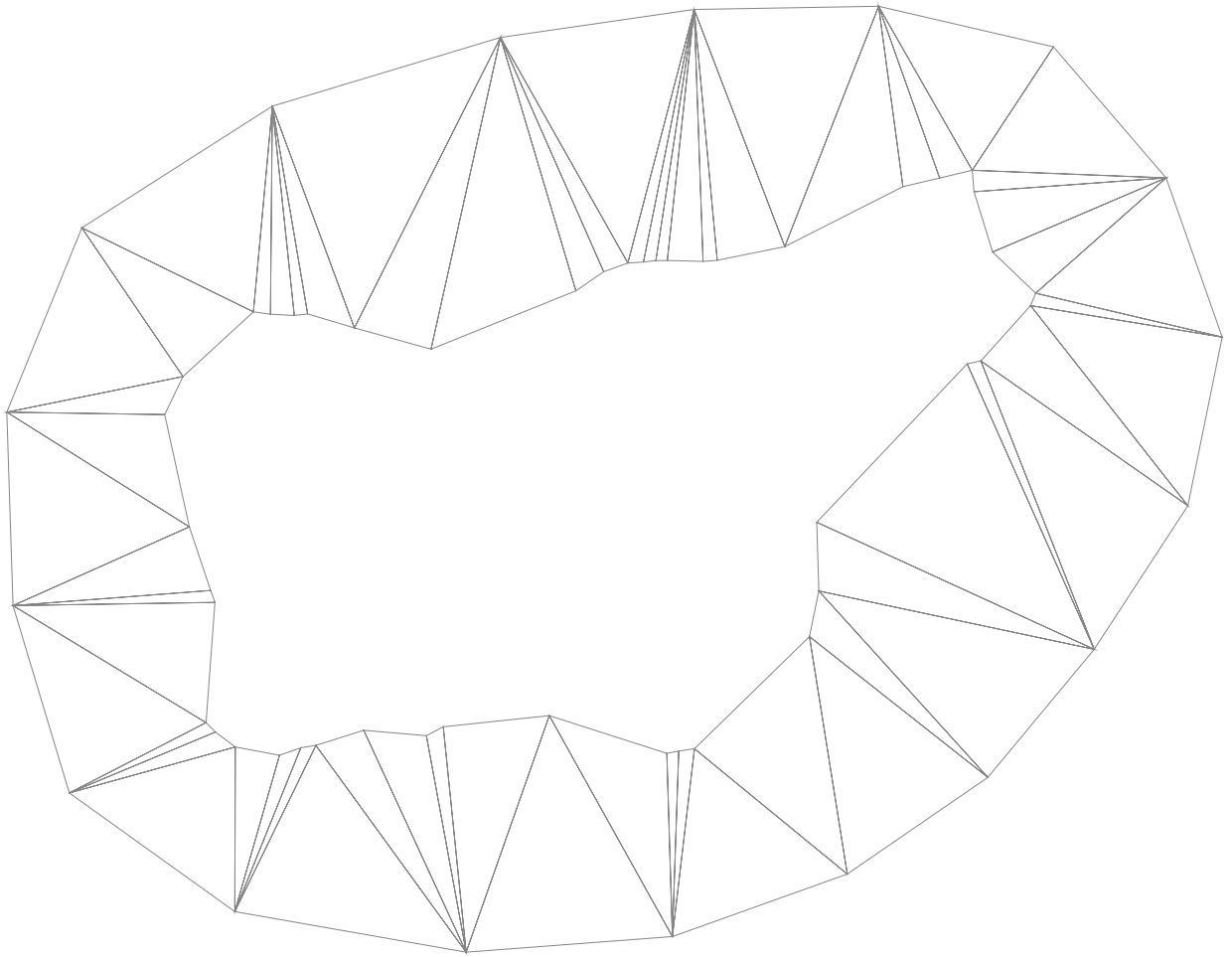
Tako za transformacijo D48–D96 kot tudi za transformacijo D96–D48 smo dobili 1214 Delaunayjevih trikotnikov. Isto število trikotnikov pa ni zadosten pogoj za identičnost obeh triangulacij. Da gre res za isti izbor trikotnikov, preverimo še vizualno; glej sliko 5.7.1.4-1.



Slika 5.7.1.4-1: Triangulacija veznih točk v D48/GK (modro) in v D96/TM (rdeče).

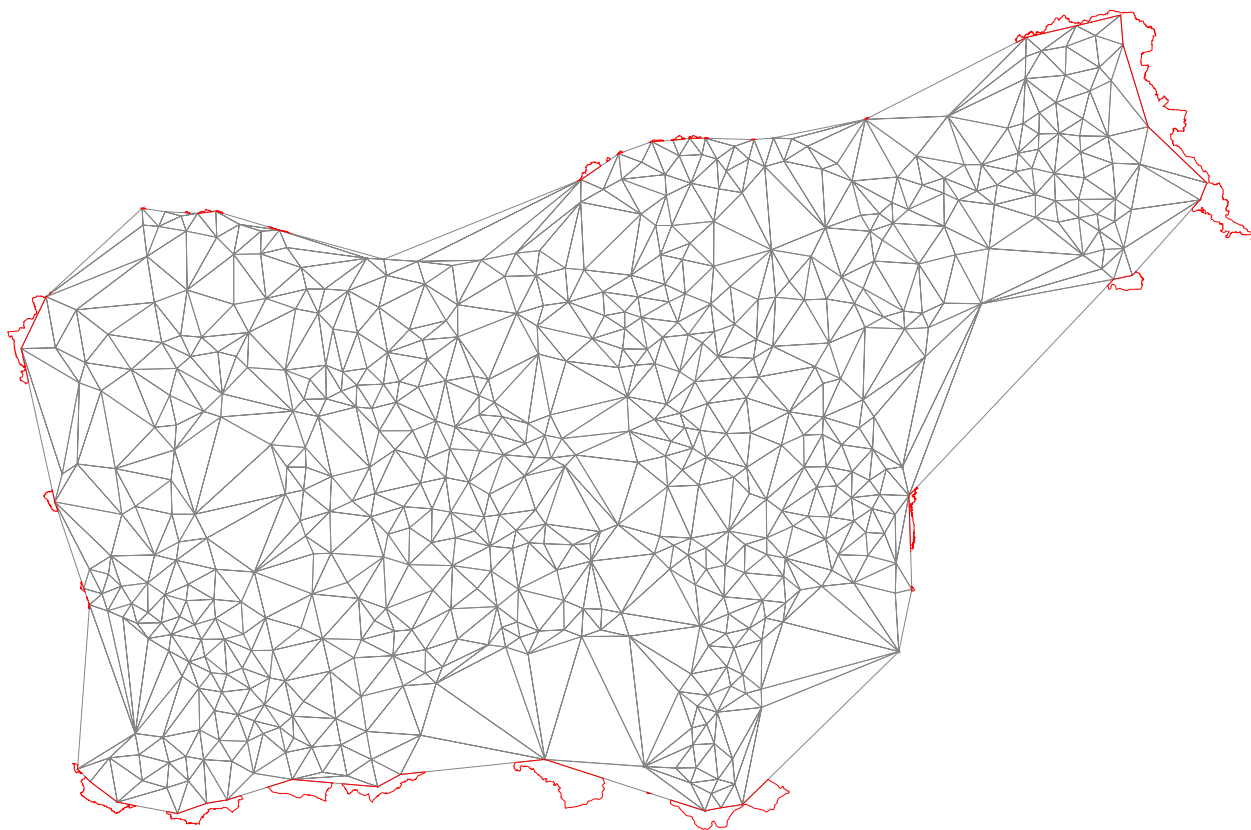
5.7.1.5 Obseg osnovne in pomožne triangulacije

Rezultat izvedene triangulacije je torej 1214 trikotnikov, od katerih je 1153 trikotnikov, ki imajo za vsa tri oglišča običajne vezne točke, 63 pa je pomožnih trikotnikov, od katerih ima 45 trikotnikov za oglišče po eno pomožno točko 18 trikotnikov pa ima za oglišči po dve pomožni točki, kar pomeni temu ustrezno manjšo kakovost transformacije; glej sliko 5.7.1.5-1.



Slika 5.7.1.5-1: Pomožni trikotniki, ki so tvorjeni s pomočjo pomožnih veznih točk.

Zunaj območja osnovne triangulacije (brez pomožnih veznih točk) – torej na območju, ki ga pokrivajo pomožni trikotniki, – se nahaja 516,0 km² oziroma 2,55 % državnega ozemlja; glej sliko 5.7.1.5-2.



Slika 5.7.1.5-2: Območja, ki padejo izven dosega osnovne triangulacije (rdeče).

5.7.2 Analiza kakovosti kompleksne transformacije

Poročilo pripravil: Sandi Berk, GI

Izmed 1943 preverjenih ETRS-točk je bilo po navedenih kriterijih in opisanem postopku izbranih 599 veznih točk transformacije. Preostalih 1344 točk, torej 69,2 % vseh razpoložljivih ETRS-točk, pa je bilo uporabljenih za oceno kakovosti transformacije. Imenujmo jih lahko kontrolne ETRS-točke. Koordinate teh točk so bile iz izvornega koordinatnega sistema transformirane v ciljni koordinatni sistem, nato pa primerjane z danimi koordinatami v ciljnem koordinatnem sistemu.

Analiza kompleksne transformacije iz D48 v D96

Kontrolne točke so bile transformirane iz D48 v D96. Transformirane koordinate točk so bile nato primerjane z izmerjenimi koordinatami teh točk v D96.

Število transformacijskih točk	=	617	
Število transformacijskih odsekov	=	1214	
Največja kotna deform. (°)	=	0.00302187	(seksagezimalno)
	=	0.00839409	(decimalno)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Največje površinsko merilo	=	1.00014007	(pov. deformacija 0.014 %)
			(v trikotniku 353-482-1906)
Najmanjše površinsko merilo	=	0.99991288	(pov. deformacija -0.009 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Največje linijsko merilo	=	1.00012077	(lin. deformacija 0.012 %)
			(v trikotniku 1183-1186-1982)
Najmanjše linijsko merilo	=	0.99988319	(lin. deformacija -0.012 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Število kontrolnih točk	=	1344	
Standardni odklon y-koordinat točk	=	0.031 m	
Standardni odklon x-koordinat točk	=	0.029 m	
Srednji standardni odklon koordinat točk	=	0.030 m	
Srednji standardni odklon položajev točk	=	0.042 m	

Najslabša je točka 806 (6-3-160-Z0), ki odstopa za 0.214 m.

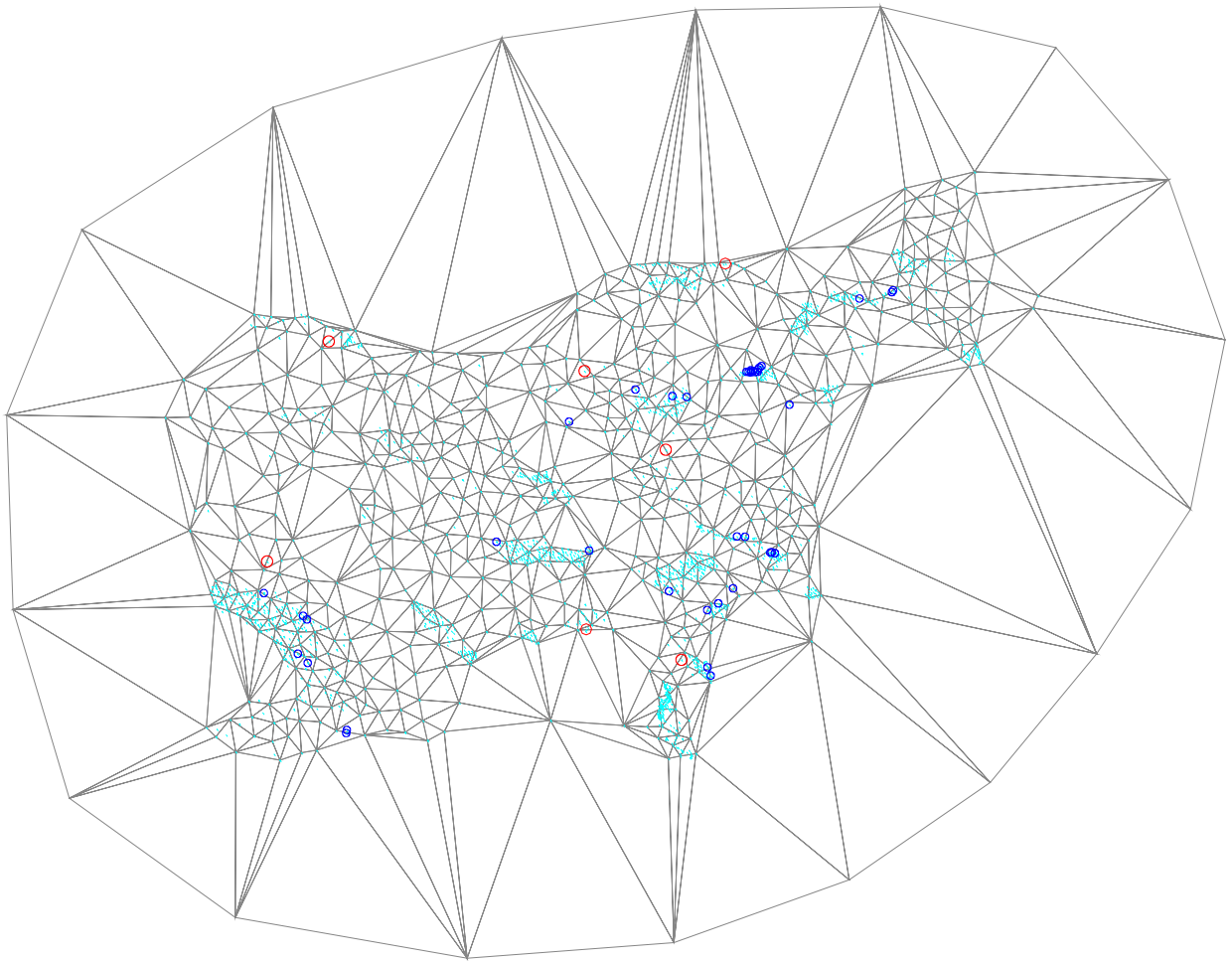
Analiza kompleksne transformacije iz D96 v D48

Kontrolne točke so bile transformirane iz D96 v D48. Transformirane koordinate točk so bile nato primerjane z izmerjenimi koordinatami teh točk v D48.

Število transformacijskih točk	=	617	
Število transformacijskih odsekov	=	1214	
Največja kotna deform. (°)	=	0.00302187	(seksagezimalno)
	=	0.00839409	(decimalno)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Največje površinsko merilo	=	1.00008713	(pov. deformacija 0.009 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Najmanjše površinsko merilo	=	0.99985995	(pov. deformacija -0.014 %)
			(v trikotniku 353-482-1906)
Največje linijsko merilo	=	1.00011682	(lin. deformacija 0.012 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Najmanjše linijsko merilo	=	0.99987925	(lin. deformacija -0.012 %)
			(v trikotniku 1183-1186-1982)
Število kontrolnih točk	=	1344	
Standardni odklon y-koordinat točk	=	0.031 m	
Standardni odklon x-koordinat točk	=	0.029 m	
Srednji standardni odklon koordinat točk	=	0.030 m	
Srednji standardni odklon položajev točk	=	0.042 m	

Najslabša je točka 806 (6-3-160-Z0), ki odstopa za 0.214 m.

Vidimo, da so pri obeh transformacijah (tako iz D48 v D96 kot tudi iz D96 v D48) ocene natančnosti identične; razlikujejo se le predznaki odstopanj na posameznih kontrolnih točkah. Zato lahko kar za obe transformaciji hkrati poiščemo kontrolne točke z največjimi odstopanji. Med 1344-imi kontrolnimi točkami je 45 točk (3,35 %) s koordinatnim odstopanjem 10 cm ali več in med njimi 7 točk (0,52 %) s položajnim odstopanjem več kot 15 cm; glej sliko 5.7.2-1.



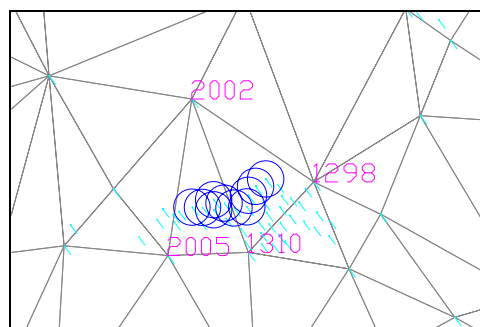
Slika 5.7.2-1: Kontrolne točke z največjimi položajnimi odstopanji po transformaciji; nad 15 cm (rdeče) in med 10 in 15 cm (modro).

Seznam 45-ih kontrolnih točk z največjimi koordinatnimi odstopanji po transformaciji (10 cm ali več); točke so razvrščene po velikosti položajnega odstopanja; koordinatna odstopanja nad 10 cm so označena s krepkim tiskom, položajna odstopanja 15 cm ali več pa z rdečo barvo:

Točka	d_y	d_x	d
806	-0,130	0,170	0,214
411	-0,150	0,090	0,175
1920	-0,110	-0,120	0,163
1801	-0,010	-0,160	0,160
1784	0,130	0,080	0,153
1971	0,030	-0,150	0,153
633	0,140	0,060	0,152
528	-0,010	-0,150	0,150
1978	-0,090	-0,120	0,150
1258	-0,100	-0,110	0,149
1445	0,110	0,100	0,149
203	0,130	0,060	0,143
1293	0,140	-0,020	0,141
1309	0,140	-0,020	0,141
1551	0,020	-0,140	0,141

1591	-0,010	-0,140	0,140
1650	-0,070	-0,120	0,139
1308	0,130	-0,020	0,132
3	-0,120	0,030	0,124
130	-0,050	0,110	0,121
530	-0,100	0,060	0,117
1300	0,110	-0,030	0,114
1326	0,110	-0,030	0,114
1301	0,110	-0,020	0,112
1747	-0,100	0,050	0,112
38	-0,010	0,110	0,110
783	0,110	0,010	0,110
976	-0,110	-0,010	0,110
1297	0,110	-0,010	0,110
1329	0,110	-0,010	0,110
1532	0,010	-0,110	0,110
11	-0,100	-0,040	0,108
1317	0,100	-0,040	0,108
1809	-0,100	0,040	0,108
993	0,070	0,080	0,106
334	-0,100	-0,030	0,104
1599	0,100	-0,030	0,104
1799	-0,030	0,100	0,104
10	-0,100	-0,020	0,102
350	-0,100	-0,020	0,102
1608	0,100	-0,020	0,102
71	0,010	0,100	0,100
324	-0,100	-0,010	0,100
842	0,000	-0,100	0,100
1294	0,100	-0,010	0,100

Kontrolne točke so razporejene dokaj enakomerno z izjemo dveh transformacijskih trikotnikov (1310–2005–2002 in 1298–1310–2002); glej sliko 5.7.2-2.

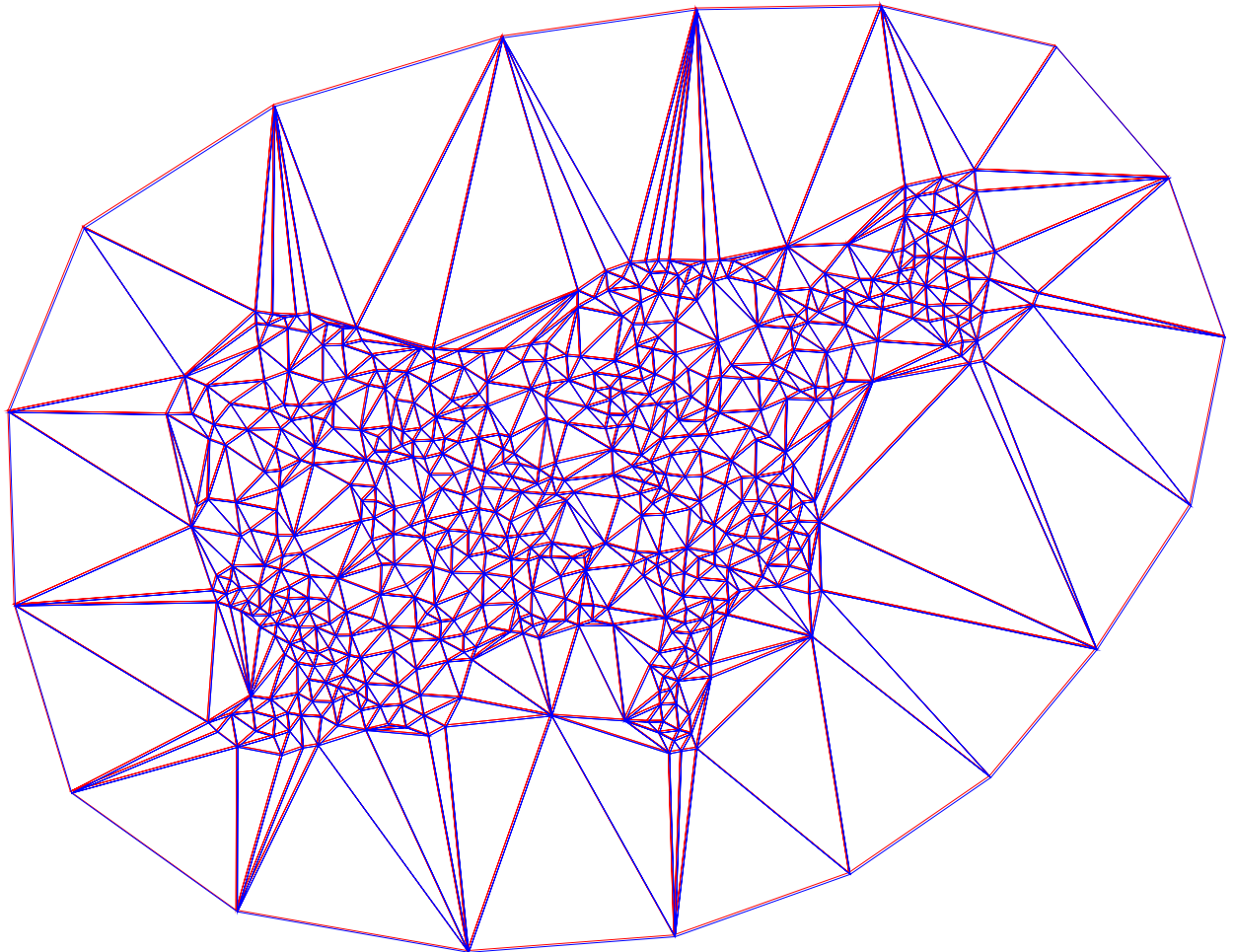


Slika 5.7.2-2: Ugotovljena slaba transformacijska trikotnika; očitno je slaba vezna točka št. 2002.

2. ponovitev analize kakovosti transformacije (po izločitvi vezne točke št. 2002)

Glede na rezultate vizualne kontrole je bila izločena še vezna točka 2002. Tako je bilo v končnem izboru (za različico 1.0) 598 veznih točk oziroma še z 18-imi pomožnimi veznimi točkami skupaj 616 veznih točk.

Ponovno je bila preverjena topološka ustreznost izbranega niza veznih točk (ustreznost razporeditve točk zaradi pogoja reverzibilnosti transformacije). Tako za transformacijo D48–D96 kot tudi za transformacijo D96–D48 smo dobili 1212 Delaunayevih trikotnikov. Da gre res za isti izbor trikotnikov, pa je bilo preverjeno še z vizualnim pregledom ujemanja obeh triangulacij; glej sliko 5.7.2-3.



Slika 5.7.2-3: Končni izgled trikotnih transformacijskih območij v D48/GK (modro) in v D96/TM (rdeče); 616 veznih točk in 1212 trikotnikov.

Analiza kompleksne transformacije iz D48 v D96 (2. ponovitev)

Kontrolne točke so bile transformirane iz D48 v D96. Transformirane koordinate točk so bile nato primerjane z izmerjenimi koordinatami teh točk v D96.

Število transformacijskih točk	=	616	
Število transformacijskih odsekov	=	1212	
Največja kotna deform. (°)	=	0.00302187	(seksagezimalno)
	=	0.00839409	(decimalno)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Največje površinsko merilo	=	1.00014007	(pov. deformacija 0.014 %)
			(v trikotniku 353-482-1906)
Najmanjše površinsko merilo	=	0.99991288	(pov. deformacija -0.009 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Največje linijsko merilo	=	1.00012077	(lin. deformacija 0.012 %)
			(v trikotniku 1183-1186-1982)
Najmanjše linijsko merilo	=	0.99988319	(lin. deformacija -0.012 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Število kontrolnih točk	=	1345	
Standardni odklon y-koordinat točk	=	0.029 m	
Standardni odklon x-koordinat točk	=	0.029 m	
Srednji standardni odklon koordinat točk	=	0.029 m	
Srednji standardni odklon položajev točk	=	0.041 m	

Najslabša je točka 806 (6-3-160-Z0), ki odstopa za 0.214 m.

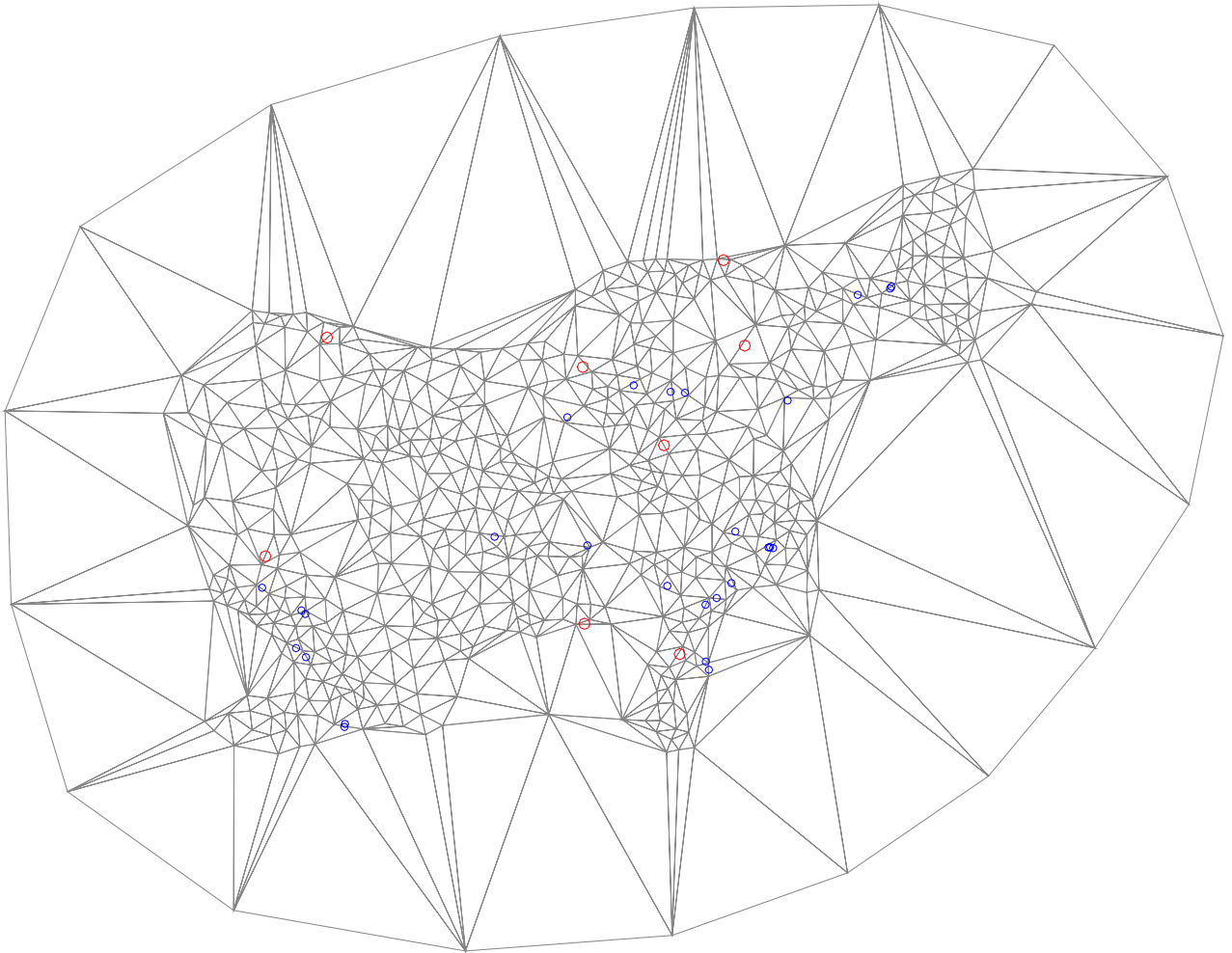
Analiza kompleksne transformacije iz D96 v D48 (2. ponovitev)

Kontrolne točke so bile transformirane iz D96 v D48. Transformirane koordinate točk so bile nato primerjane z izmerjenimi koordinatami teh točk v D48.

Število transformacijskih točk	=	616	
Število transformacijskih odsekov	=	1212	
Največja kotna deform. (°)	=	0.00302187	(seksagezimalno)
	=	0.00839409	(decimalno)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Največje površinsko merilo	=	1.00008713	(pov. deformacija 0.009 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Najmanjše površinsko merilo	=	0.99985995	(pov. deformacija -0.014 %)
			(v trikotniku 353-482-1906)
Največje linijsko merilo	=	1.00011682	(lin. deformacija 0.012 %)
			(v trikotniku 523-614-1926)
Najmanjše linijsko merilo	=	0.99987925	(lin. deformacija -0.012 %)
			(v trikotniku 1183-1186-1982)
Število kontrolnih točk	=	1345	
Standardni odklon y-koordinat točk	=	0.029 m	
Standardni odklon x-koordinat točk	=	0.029 m	
Srednji standardni odklon koordinat točk	=	0.029 m	
Srednji standardni odklon položajev točk	=	0.041 m	

Najslabša je točka 806 (6-3-160-Z0), ki odstopa za 0.214 m.

Še enkrat za obe transformaciji hkrati poiščemo kontrolne točke z največjimi odstopanji. Med 1345-imi kontrolnimi točkami je 35 točk (2,60 %) s koordinatnim odstopanjem 10 cm ali več in med njimi 8 točk (0,59 %) s položajnim odstopanjem več kot 15 cm ali več; glej sliko 5.7.2-4.



Slika 5.7.2-4: Kontrolne točke z največjimi položajnimi odstopanji po transformaciji; nad 15 cm (rdeče) in med 10 in 15 cm (modro).

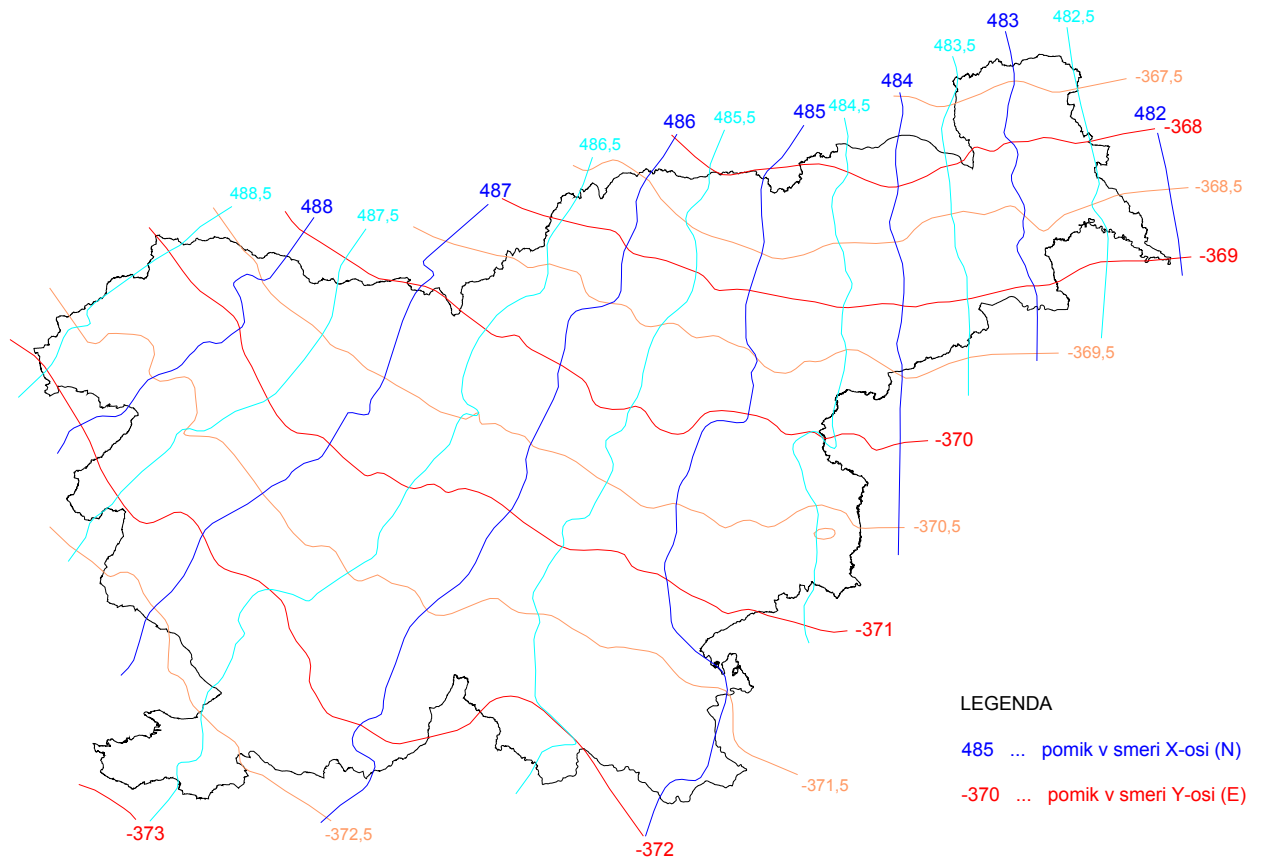
Seznam 35-ih kontrolnih točk z največjimi koordinatnimi odstopanji po transformaciji (10 cm ali več); točke so razvrščene po velikosti položajnega odstopanja; koordinatna odstopanja nad 10 cm so označena s krepkim tiskom, položajna odstopanja 15 cm ali več pa z rdečo barvo:

Točka	d_y	d_x	d
806	-0,130	0,170	0,214
2002	-0,180	-0,010	0,180
411	-0,150	0,090	0,175
1920	-0,110	-0,120	0,163
1801	-0,010	-0,160	0,160
1784	0,130	0,080	0,153
1971	0,030	-0,150	0,153
633	0,140	0,060	0,152
528	-0,010	-0,150	0,150
1978	-0,090	-0,120	0,150
1258	-0,100	-0,110	0,149
1445	0,110	0,100	0,149
203	0,130	0,060	0,143
1551	0,020	-0,140	0,141

1591	-0,010	-0,140	0,140
1650	-0,070	-0,120	0,139
3	-0,120	0,030	0,124
130	-0,050	0,110	0,121
530	-0,100	0,060	0,117
1747	-0,100	0,050	0,112
38	-0,010	0,110	0,110
783	0,110	0,010	0,110
976	-0,110	-0,010	0,110
1532	0,010	-0,110	0,110
11	-0,100	-0,040	0,108
1809	-0,100	0,040	0,108
334	-0,100	-0,030	0,104
1599	0,100	-0,030	0,104
1799	-0,030	0,100	0,104
10	-0,100	-0,020	0,102
350	-0,100	-0,020	0,102
1608	0,100	-0,020	0,102
71	0,010	0,100	0,100
324	-0,100	-0,010	0,100
842	0,000	-0,100	0,100

5.7.2.1 Ploskvi pomikov na podlagi kompleksne transformacije

Za vsako točko v starem koordinatnem sistemu lahko s pomočjo dobljenega kompleksnega modela transformacije določimo razlike med izvornimi koordinatami (v starem sistemu) in ciljnim koordinatami (v novem sistemu). Na ta način lahko izdelamo model pomikov – na primer za pravilno kilometrsko mrežo (grid) točk, ki pokrivajo celotno državno ozemlje. Vsaki točki grida določimo oba pomika, torej pomik v smeri Y-osi in pomik v smeri X-osi. Na ta način dobimo ploskvi pomikov (po Y- in X-osi) za prehod iz starega v novi ravninski koordinatni sistem. Vidimo torej, da sta oba pomika funkciji položaja. Zaradi nehomogenosti je ploskev precej razgibana, vendar uporaba interpolacije omogoča dokaj natančno določitev obeh pomikov; glej sliko 5.7.2.1-1.



Slika 5.7.2.1-1: Ploskvi pomikov iz starega v novi koordinatni sistem; pomičnice po X-osi so v modri barvi, pomičnice po Y-osi pa v rdeči barvi.

Prikaz s pomičnicami je izdelan na podlagi gridov pomikov po obeh koordinatnih oseh z velikostjo celice 1 km. Črte enakih pomikov (istopomičnice oz. izošifte) so zlepki (spline). Iz slike 13 lahko takorekoč ročno določimo transformacijo za neko manjše območje z natančnostjo vsaj vsaj 15–20 cm. To je povsem dovolj za različne GIS-aplikacije, pa tudi za geolokacijo DOF-ov (z velikostjo piksla 0,5 metra). Povečan prikaz ploskev pomikov – tudi s podloženo karto Slovenije – je v [Prilogi N4.7-02](#).

5.7.3 Določitev transformacijskih parametrov in analiza kakovosti enostavnih ravninskih transformacij za celo državo

Poročilo pripravil: Sandi Berk, GI

Za enostavno transformacijo – enotno ravninsko podobnostno transformacijo za celotno državno ozemlje – je bil uporabljen izbrani niz veznih točk za kompleksno transformacijo, različica 1.0. Izločene so bile seveda pomožne vezne točke; za določitev optimalnih transformacijskih parametrov enostavnih transformacij je bilo tako uporabljenih 598 enakomerno razporejenih veznih točk. S pomočjo teh veznih točk so bili določeni optimalni transformacijski parametri ravninske podobnostne transformacije (in ustreznega geometrijskega postopka) za transformacije D48/GK → D96/TM, D96/TM → D48/GK, D48/GK → WGS84/UTM, WGS84/UTM → D48/GK, D96/TM → WGS84/UTM in WGS84/UTM → D96/TM.

Za izračune so bile uporabljene koordinate izbranih veznih točk, izmerjene v starem koordinatnem sistemu (in določene v D48/GK), ter koordinate teh istih točk izmerjene v novem koordinatnem sistemu (in določene v D96/TM oziroma v WGS84/UTM).

Optimalna ravninska podobnostna transformacija iz D48/GK v D96/TM

PODOBNOTNA (HELMERTOVA) TRANSFORMACIJA

Enačbi transformacije:

$$\begin{aligned} X' &= A + C \times x - D \times y \\ Y' &= B + D \times x + C \times y \end{aligned}$$

Parametri transformacije:

$$\begin{aligned} A &= -3.780832235459238 \times 10^2 \\ B &= 4.966289143937757 \times 10^2 \\ C &= 1.000010067293144 \\ D &= -0.000024622864943 \end{aligned}$$

Površinsko merilo = 1.00002014 (pov. deformacija 0.002 %)
 Linijsko merilo = 1.00001007 (lin. deformacija 0.001 %)

Geometrijski postopek transformacije:

1. povečava: faktor merila = 1.0000100676
2. protiurna rotacija (°) = 359.5954921220 (seksagezimalno)
 = 359.9985892277 (decimalno)
 = -0.0014107723 (decimalno)
3. translacija v smeri x-osi = -378.083 m
4. translacija v smeri y-osi = 496.629 m
 (vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 598
 Število potrebnih transformacijskih točk = 2
 Število nadštevilnih transformacijskih točk = 596

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.250 m
 Standardni odklon y-koordinat točk = 0.378 m
 Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.320 m
 Srednji standardni odklon položajev točk = 0.453 m

Najslabša je transformacijska točka 657.
 Po izvedeni transformaciji odstopa za 1.225 m, kar je 2.70-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Optimalna ravninska podobnostna transformacija iz D96/TM v D48/GK

PODOBNOŠTNA (HELMERTOVA) TRANSFORMACIJA

Enačbi transformacije:

$$X' = A + C \times x - D \times y$$

$$Y' = B + D \times x + C \times y$$

Parametri transformacije:

$$A = 3.780916661183001 \times 10^2$$

$$B = -4.966146004652837 \times 10^2$$

$$C = 0.999989932158991$$

$$D = 0.000024622369163$$

Površinsko merilo = 0.99997987 (pov. deformacija -0.002 %)

Linijsko merilo = 0.99998993 (lin. deformacija -0.001 %)

Geometrijski postopek transformacije:

1. pomanjšava: faktor merila = 0.9999899325
2. protiurna rotacija (°) = 0.0005078779 (seksagezimalno)
= 0.0014107720 (decimalno)
3. translacija v smeri x-osi = 378.092 m
4. translacija v smeri y-osi = -496.615 m
(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 598

Število potrebnih transformacijskih točk = 2

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 596

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.250 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.378 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.320 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.453 m

Najslabša je transformacijska točka 657.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 1.225 m, kar je 2.70-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Optimalna ravninska podobnostna transformacija iz D48/GK v WGS84/UTM

PODOBNOTNA (HELMERTOVA) TRANSFORMACIJA

Enačbi transformacije:

$$X' = A + C \times x - D \times y$$

$$Y' = B + D \times x + C \times y$$

Parametri transformacije:

$$A = -2.279558438049280 \times 10^2$$

$$B = -1.003669116456804 \times 10^3$$

$$C = 0.999710035986274$$

$$D = -0.000024617548672$$

Površinsko merilo = 0.99942016 (pov. deformacija -0.058 %)

Linijsko merilo = 0.99971004 (lin. deformacija -0.029 %)

Geometrijski postopek transformacije:

1. pomanjšava: faktor merila = 0.9997100363
2. protiurna rotacija (°) = 359.5954920794 (seksagezimalno)
= 359.9985891094 (decimalno)
= -0.0014108906 (decimalno)
3. translacija v smeri x-osi = -227.956 m
4. translacija v smeri y-osi = -1003.669 m
(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 598

Število potrebnih transformacijskih točk = 2

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 596

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.250 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.378 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.320 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.453 m

Najslabša je transformacijska točka 657.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 1.228 m, kar je 2.71-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Optimalna ravninska podobnostna transformacija iz WGS84/UTM v D48/GK

PODOBNOŠTNA (HELMERTOVA) TRANSFORMACIJA

Enačbi transformacije:

$$X' = A + C \times x - D \times y$$

$$Y' = B + D \times x + C \times y$$

Parametri transformacije:

$$A = 2.279972604966606 \times 10^2$$

$$B = 1.003965847757587 \times 10^3$$

$$C = 1.000290047467708$$

$$D = 0.000024631831274$$

Površinsko merilo = 1.00058018 (pov. deformacija 0.058 %)

Linijsko merilo = 1.00029005 (lin. deformacija 0.029 %)

Geometrijski postopek transformacije:

1. povečava: faktor merila = 1.0002900478
2. protiurna rotacija (°) = 0.0005079207 (seksagezimalno)
= 0.0014108909 (decimalno)
3. translacija v smeri x-osi = 227.997 m
4. translacija v smeri y-osi = 1003.966 m
(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 598

Število potrebnih transformacijskih točk = 2

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 596

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.250 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.378 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.320 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.453 m

Najslabša je transformacijska točka 657.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 1.228 m, kar je 2.71-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Optimalna ravninska podobnostna transformacija iz D96/TM v WGS84/UTM

PODOBNOŠTNA (HELMERTOVA) TRANSFORMACIJA

Enačbi transformacije:

$$X' = A + C \times x - D \times y$$

$$Y' = B + D \times x + C \times y$$

Parametri transformacije:

$$A = 1.500139430436539 \times 10^2$$

$$B = -1.500149028903179 \times 10^3$$

$$C = 0.999699971713664$$

$$D = -0.000000002071284$$

Površinsko merilo = 0.99940003 (pov. deformacija -0.060 %)

Linijsko merilo = 0.99969997 (lin. deformacija -0.030 %)

Geometrijski postopek transformacije:

1. pomanjšava: faktor merila = 0.9996999717
2. protiurna rotacija (°) = 0.0000000000 (seksagezimalno)
= 0.0000000000 (decimalno)
3. translacija v smeri x-osi = 150.014 m
4. translacija v smeri y-osi = -1500.149 m
(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 598

Število potrebnih transformacijskih točk = 2

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 596

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.003 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.003 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.003 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.004 m

Najslabša je transformacijska točka 1574.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 0.007 m, kar je 1.73-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Optimalna ravninska podobnostna transformacija iz WGS84/UTM v D96/TM

PODOBOSTNA (HELMERTOVA) TRANSFORMACIJA

Enačbi transformacije:

$$X' = A + C \times x - D \times y$$

$$Y' = B + D \times x + C \times y$$

Parametri transformacije:

$$A = -1.500589680862613 \times 10^2$$

$$B = 1.500599250814135 \times 10^3$$

$$C = 1.000300118330323$$

$$D = 0.000000002072527$$

Površinsko merilo = 1.00060033 (pov. deformacija 0.060 %)

Linijsko merilo = 1.00030012 (lin. deformacija 0.030 %)

Geometrijski postopek transformacije:

1. povečava: faktor merila = 1.0003001183
2. protiurna rotacija (°) = 0.0000000000 (seksagezimalno)
= 0.0000000000 (decimalno)
3. translacija v smeri x-osi = -150.059 m
4. translacija v smeri y-osi = 1500.599 m
(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 598

Število potrebnih transformacijskih točk = 2

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 596

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.003 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.003 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.003 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.004 m

Najslabša je transformacijska točka 1574.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 0.007 m, kar je 1.73-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

PLOSKVI POMIKOV na podlagi kompleksne transformacije in s predhodno izvedbo optimalne spremembe merila ter zasuka (za transformacijo iz D48/GK v D96/TM)

Tokrat izdelamo ploskvi pomikov iz D48 v D96 ob predpostavki, da smo predhodno izvedli optimalno spremembo merila ter zasuk. Uporabimo torej (samo dva) parametra optimalne ravninske podobnostne transformacije iz D48 v D96:

Enačbi transformacije:

$$X' = A + C \cdot x - D \cdot y$$

$$Y' = B + D \cdot x + C \cdot y$$

Parametri transformacije:

$$C = \dots$$

$$C = 1.000010067293144$$

$$D = -0.000024622864943$$

Geometrijski postopek transformacije:

$$1. \text{ povečava: faktor merila} = 1.0000100676$$

$$2. \text{ protiurna rotacija (}^\circ\text{)} = 359.5954921220 \text{ (seksagezimalno)}$$

$$= 359.9985892277 \text{ (decimalno)}$$

...

(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Označimo faktor merila z m , protiurni zasuk pa z α . Zvezi med parametroma C in D ter obema geometrijskima parametroma sta:

$$C = m \cdot \cos \alpha$$

$$D = m \cdot \sin \alpha$$

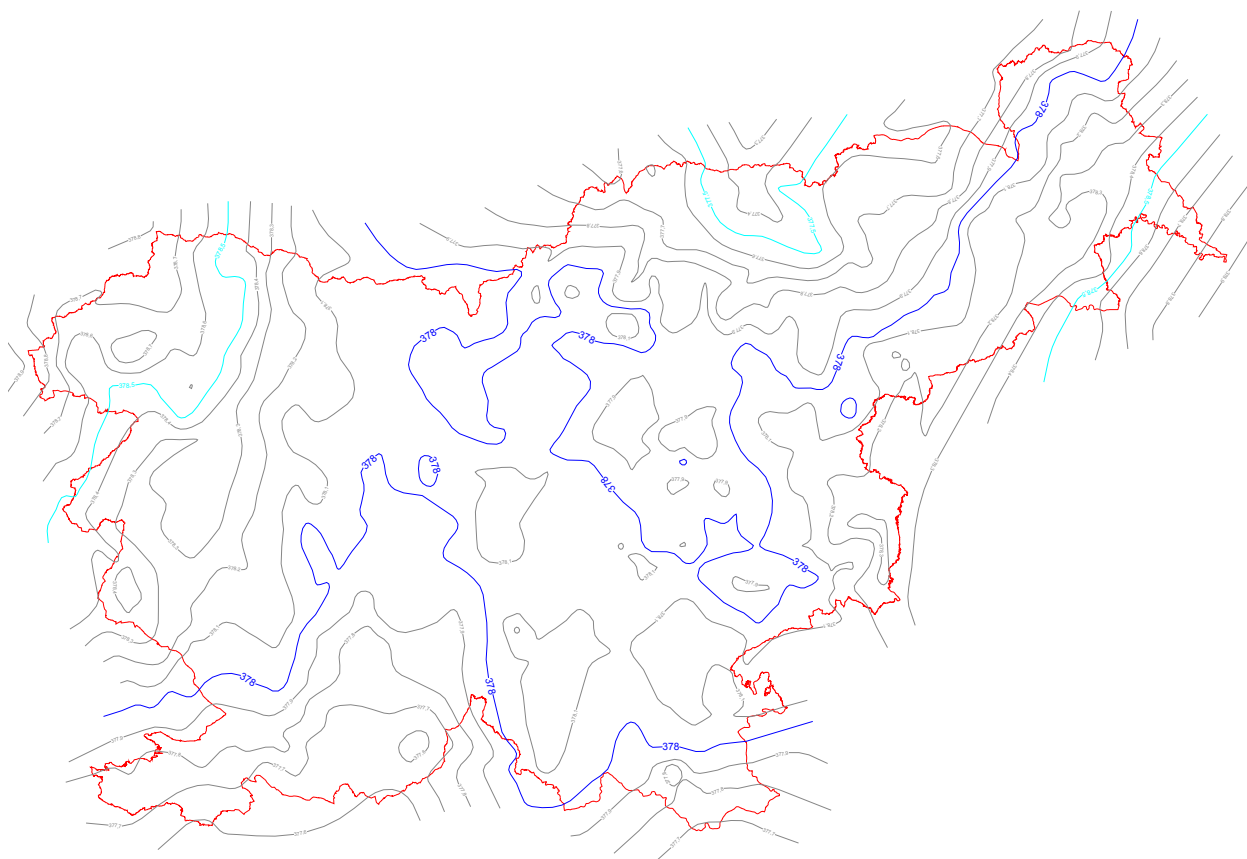
Zaradi udobnosti (enostavnejše praktične uporabe) optimalna parametra zaokrožimo na:

$$\text{faktor merila} = 1,00001$$

$$\text{protiurni zasuk} = -0,0014^\circ \text{ (tj. natančno } -5,04 \text{ ")}$$

Takšno »predtransformacijo« zelo enostavno izvedemo v CAD-orodjih. Npr. v AutoCAD-u imamo za to ukaza **scale** in **rotate**. Izhodiščna točka je obakrat (0, 0), pomembno pa je tudi izvesti obe operaciji v navedenem vrstnem redu, torej najprej scale in nato rotate (!).

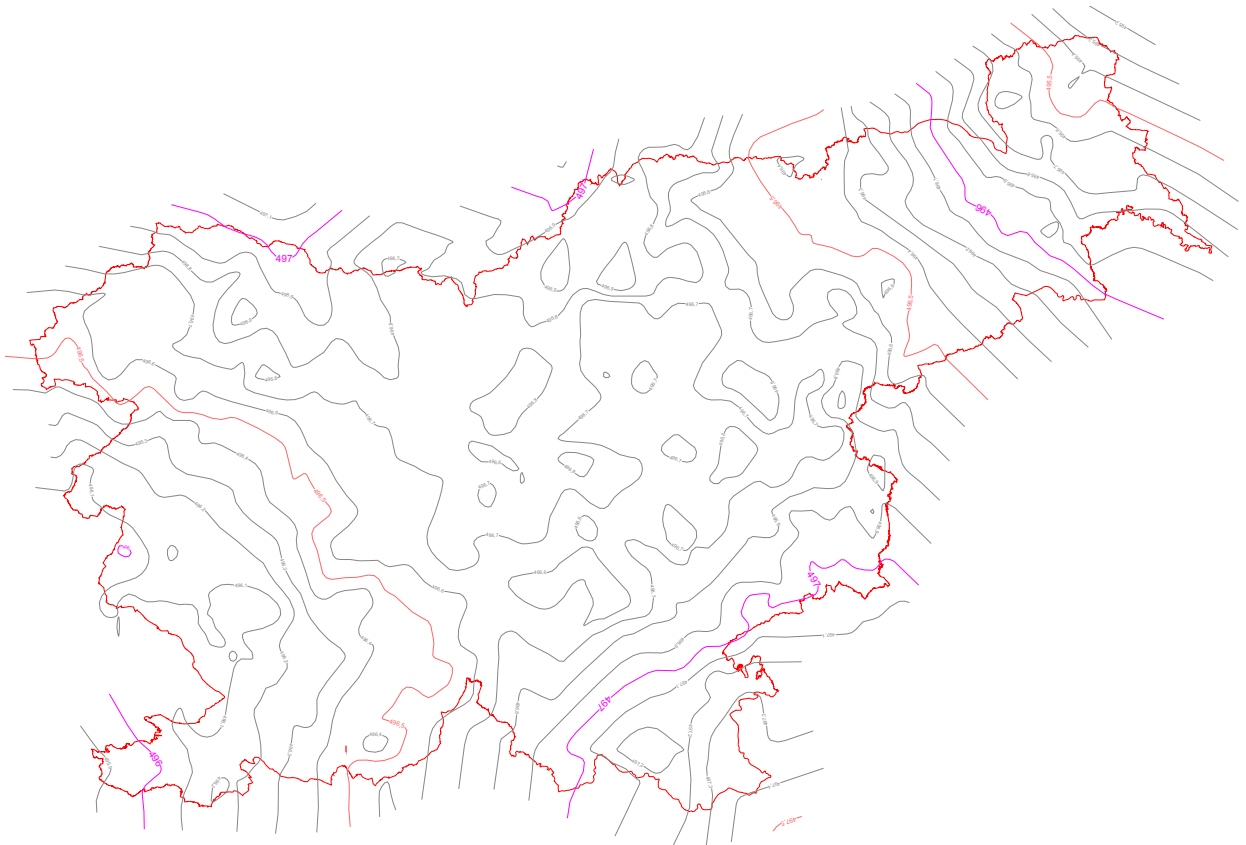
Preostala dva parametra transformacije (A in B – pomika po y - in x -osi) lahko sedaj predstavimo v obliki ploskev pomikov v odvisnosti od samega položaja točke; glej slike 5.7.3-1 in 5.7.3-2.



Slika 5.7.3-1: Ploskev pomikov po y-osi (E) iz starega v novi koordinatni sistem ob izvedeni »predtransformaciji« (povečava s faktorjem 1,00001 in protiurni zasuk za $-5,04''$); ekvidistanca pomičnic je 10 cm, glavne pa so v modri barvi.

Prikaz s pomičnicami je izdelan na podlagi grida pomikov po y-osi z velikostjo celice 1 km. Črte enakih pomikov (istopomičnice oz. izošifte) so zleпки (spline). Iz slike 14 lahko ročno določimo manjkajoči parameter ravninske podobnostne transformacije (A) za neko manjše območje z natančnostjo vsaj vsaj 3–4 cm.

Iz slike 14 vidimo, da so vrednosti parametra $-A$ ob danem izboru parametrov C in D nekje med 377,35 m in 378,88 m. Srednja vrednost bi bila torej okoli 378,12 m, vendar raje izberemo vrednost 378,0 m, ki ustreza istopomičnici z največjo dolžino. Parameter A (npr. z interpolacijo iz slike 14) dobimo s spremembo predznaka, torej znaša **-378,0 m**.



Slika 5.7.3-2: Ploskev pomikov po x-osi (N) iz starega v novi koordinatni sistem ob izvedeni »predtransformaciji« (povečava s faktorjem 1,00001 in protiurni zasuk za $-5,04''$); ekvidistanca pomičnic je 10 cm, glavne pa so v magentni barvi.

Prikaz s pomičnicami je izdelan na podlagi grida pomikov po x-osi z velikostjo celice 1 km. Črte enakih pomikov (istopomičnice oz. izošifte) so zlepki (spline). Iz slike 15 lahko ročno določimo manjkajoči parameter ravninske podobnostne transformacije (B) za neko manjše območje z natančnostjo vsaj vsaj 3–4 cm.

Is slike 15 vidimo, da so vrednosti parametra B ob danem izboru parametrov C in D nekje med 495,28 m in 497,41 m. Srednja vrednos bi bila torej okoli 496,35 m, vendar raje izberemo vrednost **496,7 m**, ki ustreza istopomičnici z največjo dolžino.

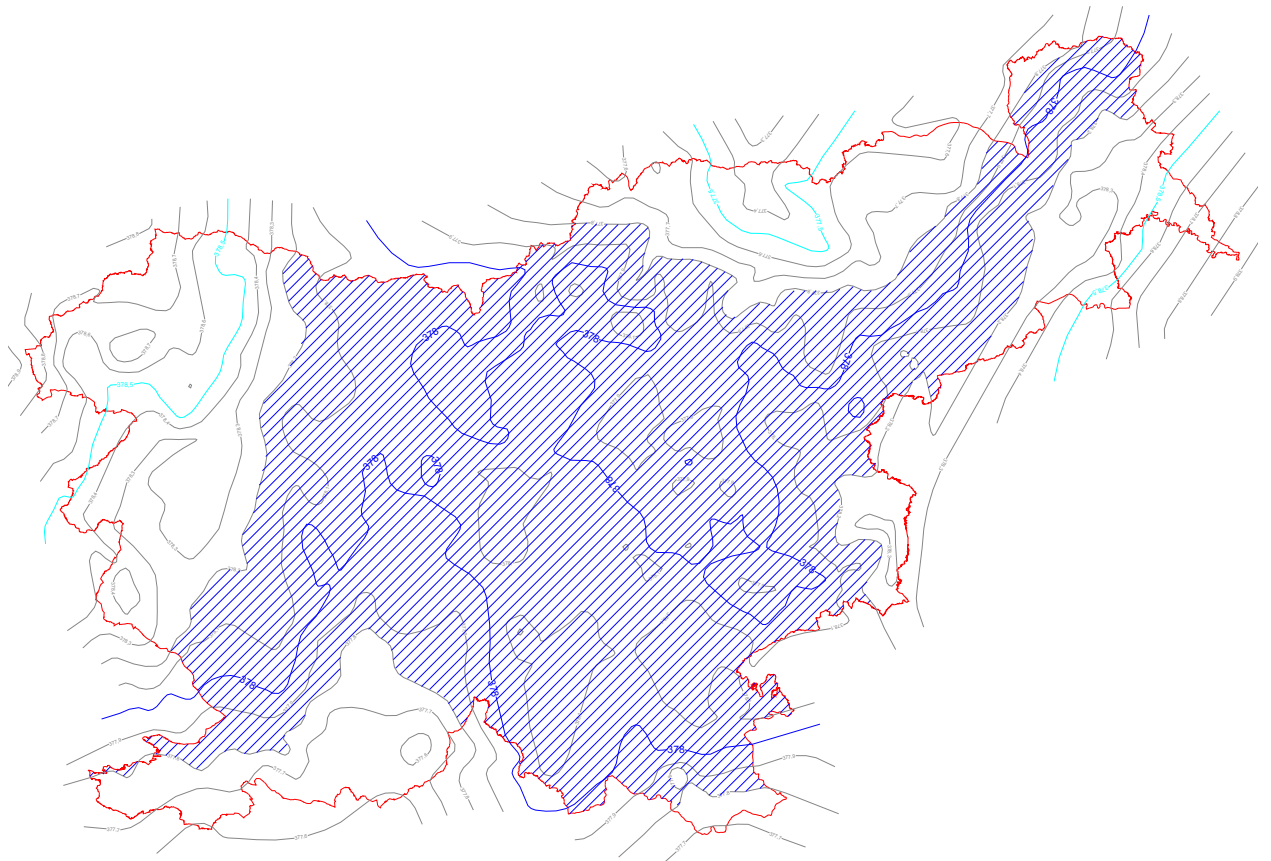
Končna na podlagi grafičnih prikazov istopomičnic določena poenostavljena ravninska podobnostna transformacija ima torej naslednje parametre:

$$\begin{aligned}
 m &= \mathbf{1,00001} \\
 \alpha &= \mathbf{-0,0014^\circ} \quad (\text{tj. natančno } -5,04'') \\
 A &= \mathbf{-378,0 \text{ m}} \\
 B &= \mathbf{496,7 \text{ m}} \\
 C &= m \cdot \cos \alpha \quad (\text{tj. } 1,0000099997014719) \\
 D &= m \cdot \sin \alpha \quad (\text{tj. } -0,0000244348538716)
 \end{aligned}$$

Štirje parametri v obliki (m , α , A in B) so primerni za ročno transformacijo v CAD-orodjih (scale + rotate + move), oblika (A , B , C in D) pa za računsko izvedbo transformacije po enačbah ravninske podobnostne transformacije.

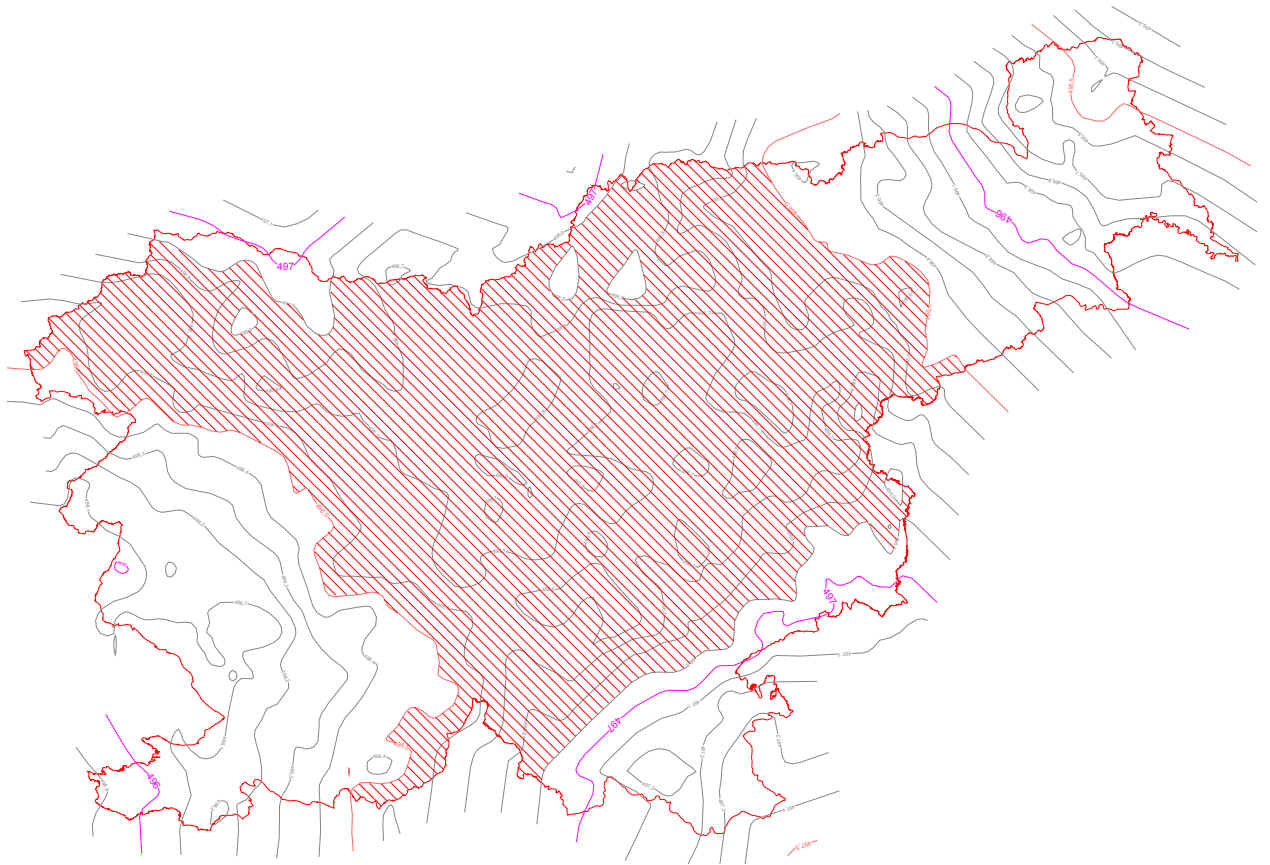
Za izbrane vrednosti parametrov (spremembe merila, zasuka ter optimalnih pomikov po y- in x-osi) lahko ugotovimo še območje, kjer je natančnost transformacije znotraj ± 20 cm (tj. koordinatna odstopanja med kompleksno trikotniško transformacijo in enostavno ravninsko podobnostno transformacijo so povsod manjša od 20 cm). Enak kriterij smo imeli za odstopanja pri izbranih 25-ih območjih relativno homogenih transformacij – glej poglavje Preverjanje kakovosti ETRS-točk – iskanje grobih napak.

Znotraj območja, kjer so odstopanja po y-osi (E) med kompleksno trikotniško transformacijo in enostavno ravninsko podobnostno transformacijo povsod manjša od 20 cm, se nahaja 13178,2 km² oziroma 65,07 % državnega ozemlja; glej sliko 5.7.3-3.



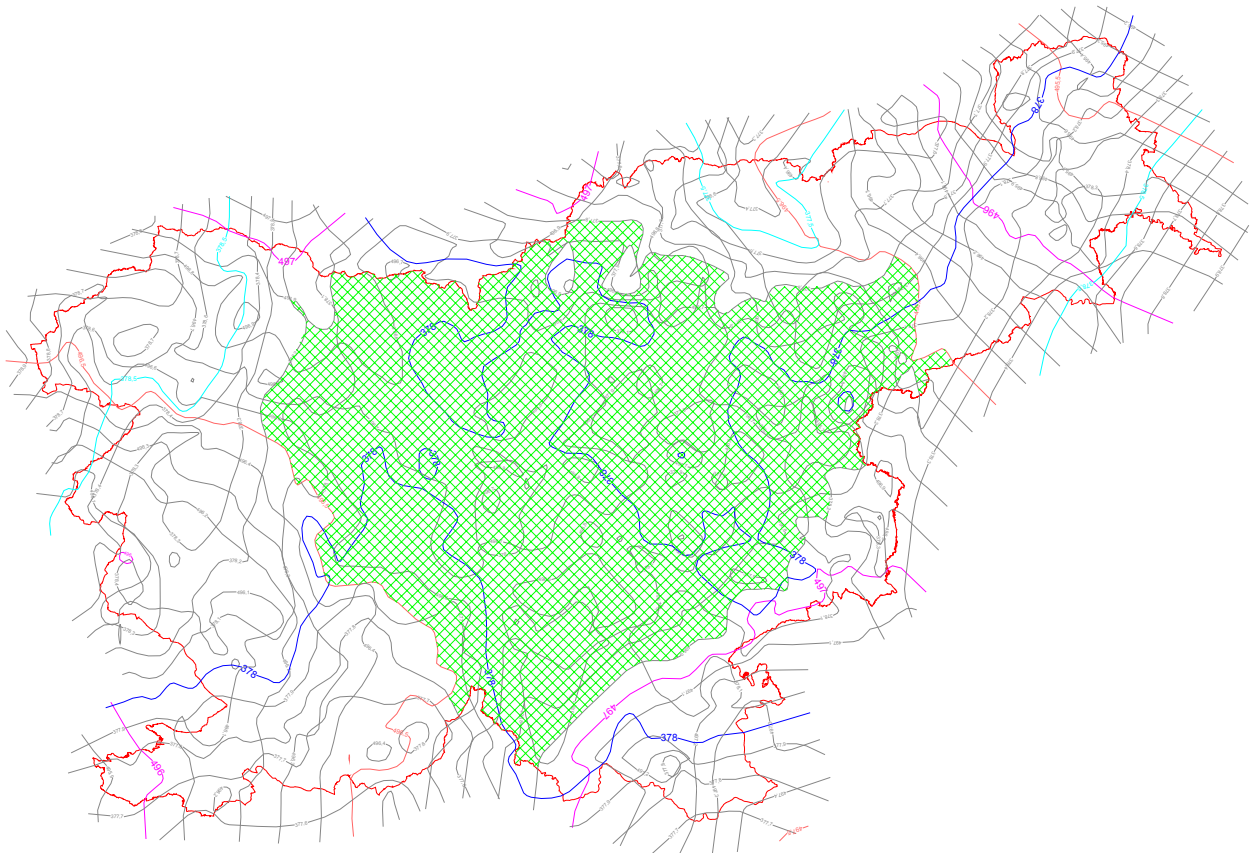
Slika 5.7.3-3: Območje, kjer so odstopanja po y-osi (E) med kompleksno trikotniško transformacijo in enostavno ravninsko podobnostno transformacijo povsod manjša od 20 cm – modra šrafura.

Znotraj območja, kjer so odstopanja po x-osi (N) med kompleksno trikotniško transformacijo in enostavno ravninsko podobnostno transformacijo povsod manjša od 20 cm, se nahaja 11593,0 km² oziroma 57,25 % državnega ozemlja; glej sliko 5.7.3-4.



Slika 5.7.3-4: Območje, kjer so odstopanja po x-osi (N) med kompleksno trikotniško transformacijo in enostavno ravninsko podobnostno transformacijo povsod manjša od 20 cm – rdeča šrafura.

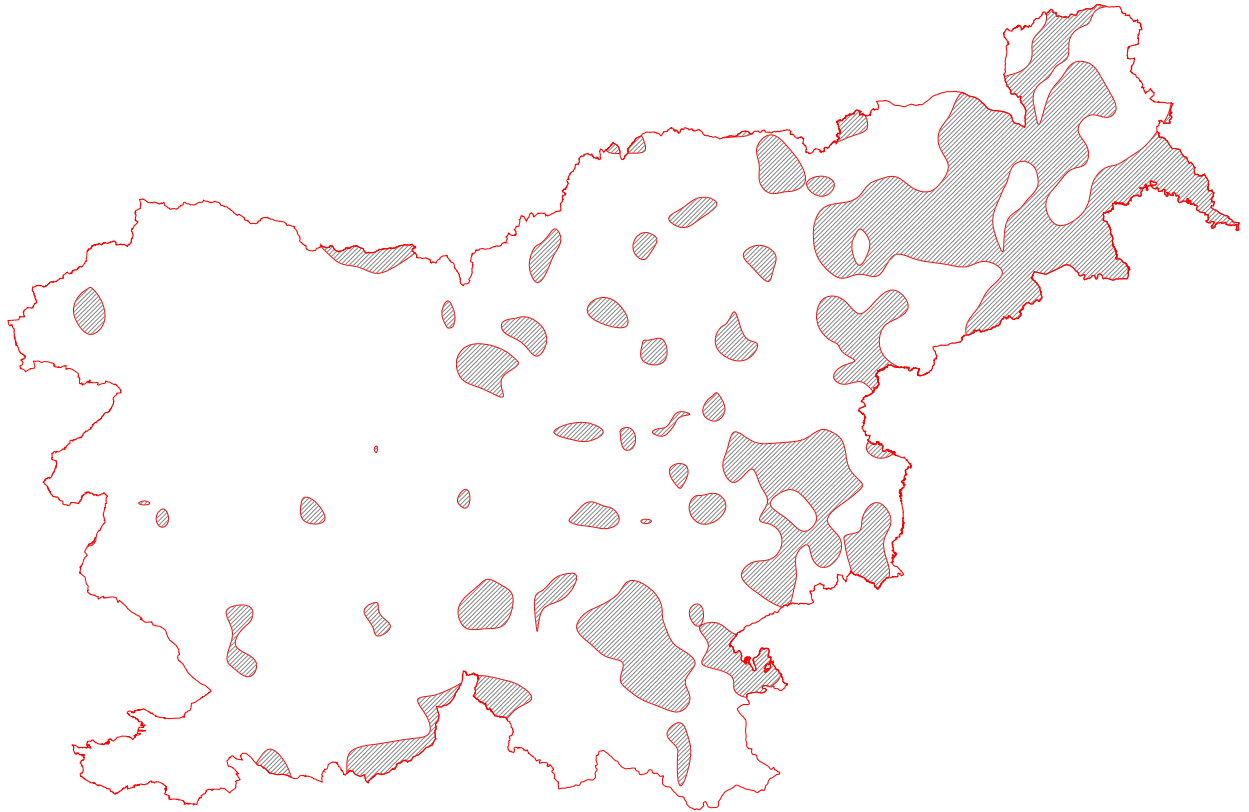
Znotraj območja, kjer so odstopanja tako po y-osi (E) kot tudi po x-osi (N) med kompleksno trikotniško transformacijo in enostavno ravninsko podobnostno transformacijo povsod manjša od 20 cm, se nahaja 8984,7 km² oziroma 44,37 % državnega ozemlja. Območje, kjer je natančnost optimalne ravninske podobnostne transformacije še vedno zadovoljiva za širok spekter tudi geodetskih nalog (npr. za potrebe evidence gospodarske javne infrastrukture katastra stavb, prostorskega načrtovanja, meritev v kmetijstvu in gozdarstvu, za potrebe vzpostavitve GIS-ov ipd.), obsega celotno osrednjo Slovenijo; glej sliko 5.7.3-5.



Slika 5.7.3-5: Območje, kjer so odstopanja tako po y-osi (E) kot tudi po x-osi (N) med kompleksno trikotniško transformacijo in enostavno ravninsko podobnostno transformacijo povsod manjša od 20 cm – zelena šrafura.

DEFORMACIJE merila pri pretvorbi iz D48/GK v D96/TM

S pomočjo kompleksnega modela transformacije (trikotniško zasnovana odsekoma afina ravninska transformacija, različica 1.0) lahko prikažemo tudi deformacije merila pri transformaciji iz starega (D48/GK) v novi (D96/TM) ravninski koordinatni sistem. Za večji del Slovenije pomeni transformacija hkrati tudi povečavo (merilo > 1); za okoli 4079,7 km² oziroma 20,15 % državnega ozemlja pa transformacija pomeni pomanjšavo (merilo < 1); glej sliko 5.7.3-6.



Slika 5.7.3-6: Siva šrafura označuje območja, kjer je pri transformaciji iz D48/GK v D96/TM sprememba merila negativna (pomanjšava).

5.7.4 Primerjava trikotniške transformacije z drugimi modeli transformacij

Poročilo pripravil: Klemen Kozmus Trajkovski, FGG

Preizkušene so bile različne vrste transformacij iz D48 v D96:

- ravninska 4-parametrična
- ravninska 6-parametrična
- prostorska 7-parametrična

Uporabljen je bil izbrani niz veznih točk (različica 1.0). Po transformaciji dosežejo odstopanja med danimi in transformiranimi koordinatami veznih točk do 1 meter. Transformirane koordinate, izračunane z različni postopki, se zelo malo razlikujejo. Na osnovi odstopanj na veznih točkah so bile z različnimi metodami tvorjene ploskve odstopanj, iz teh pa z interpolacijo izračunani popravki za poljuben položaj v mreži. Uporabljene so bile:

- a) linearna interpolacija,
- b) kubična interpolacija,
- c) interpolacija z zlepci in
- d) interpolacija na osnovi umetnih nevronske mreže.

Na kontrolnih točkah – teh je bilo 1341 – so bila izračunana odstopanja med danimi in transformiranimi koordinatami kontrolnih točk. Metode od a) do c) dajo zelo podobne rezultate (največja razlika med njimi je 2 cm), tako da je največje odstopanje med danimi in transformiranimi koordinatami v posamezni komponenti 18 cm. Porazdelitev popravkov z umetno nevronske mreže daje malo drugačne rezultate, največje odstopanje v posamezni komponenti je 34 cm.

Rezultati izračunov

Število veznih točk: 598

Število kontrolnih točk: 1341

Transformacijski parametri:

4-par: 1.000010,0.000025,496.628914,-378.083224

6-par: 1.000008,-0.000024,496.657987,0.000023,1.000011,-378.518115

4-parametrična transformacija

a) brez upoštevanja popravkov koordinat

min x: -0.981 m
 max x: 1.056 m
 min y: -0.840 m
 min y: 0.751 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.382 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.222 m

b) linearna porazdelitev popravkov

min x: -0.171 m
 max x: 0.158 m
 min y: -0.142 m
 min y: 0.176 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.028 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.029 m

c) kubična porazdelitev popravkov

min x: -0.168 m
 max x: 0.156 m
 min y: -0.159 m
 min y: 0.153 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.030 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.030 m

d) bikubična metoda porazdelitve z zleпки

min x: -0.130 m
 max x: 0.169 m
 min y: -0.147 m
 min y: 0.183 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.029 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.029 m

e) umetne nevronske mreže

min x: -0.143 m
 max x: 0.190 m
 min y: -0.170 m
 min y: 0.337 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.038 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.037 m

6-parametrična transformacija

a) brez upoštevanja popravkov koordinat

min x: -1.222 m
 max x: 0.587 m
 min y: -0.557 m
 min y: 0.992 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.359 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.225 m

b) linearna porazdelitev popravkov

min x: -0.171 m
 max x: 0.158 m
 min y: -0.142 m
 min y: 0.176 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.028 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.029 m

c) kubična porazdelitev popravkov

min x: -0.168 m
 max x: 0.156 m
 min y: -0.159 m
 min y: 0.153 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.030 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.030 m

d) bikubična metoda porazdelitve z zleпки

min x: -0.130 m
 max x: 0.169 m
 min y: -0.147 m
 min y: 0.183 m
 Standardni odklon x-koordinat: 0.029 m
 Standardni odklon y-koordinat: 0.029 m

Zaključni komentar opravljene analize

Oba preizkušena tipa ravninske transformacije – 4- in 6-parametrični transformaciji – dajeta na izbranem vzorcu točk podobne rezultate, rezultati transformacije s porazdelitvijo popravkov pa so skoraj identični. Pri postopku 4-parametrične transformacije je bila preizkušena tudi metoda porazdelitve popravkov z umetnimi nevronskimi mrežami (metoda radial basis), ki pa daje malo slabše rezultate kot ostale metode interpolacije.

Vse interpolacijske metode, razen umetnih nevronskih mrež, dajejo zelo podobne rezultate (razlike razreda nekaj cm).

Glede na to, da so odstopanja na točkah brez porazdelitve odstopanj tudi večja od 1 m, z upoštevanjem popravkov pa so odstopanja na istih točkah manjša od 20 cm, tovrstni dodatni izračuni pripomorejo k boljši natančnosti. Dosežena natančnost pa je še vedno premajhna za geodetske potrebe.

Literatura in viri

- Sandi Berk in Marjana Duhovnik: **Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem.** *Geodetski vestnik*, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 803–826
- Sandi Berk, Miran Janežič, Primož Kete, Nika Mesner, Dalibor Radovan in Primož Rosulnik: **Opredelitev postopkov pretvorbe podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v nov državni koordinatni sistem.** Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, junij 2007, 49+16 str.
- Sandi Berk, Miran Janežič, Nika Mesner in Dalibor Radovan: **Razvoj ortofota v novem koordinatnem sistemu.** Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, september 2007, 13+14395 str.
- Sandi Berk, Matija Klanjšček, Žarko Komadina, Klemen Kozmus, Nika Mesner, Blaž Mozetič, Polona Pavlovčič Prešeren, Dalibor Radovan in Bojan Stopar: **Navodilo za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu.** Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, november 2006, 35+13 str.
- Sandi Berk, Žarko Komadina, Marijan Marjanovič, Dalibor Radovan in Bojan Stopar: **Preračun kombinirane rešitve EUREF GPS-kampanj iz let 1994, 1995 in 1996 – »EUREF-SLOVENIA-94/95/96«.** Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, avgust 2003, 15+240 str.
- Sandi Berk, Žarko Komadina, Marijan Marjanovič, Dalibor Radovan in Bojan Stopar: **Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije.** *Geodetski vestnik*, letn. 47, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2003, str. 414–422
- Sandi Berk, Žarko Komadina, Marijan Marjanovič, Dalibor Radovan in Bojan Stopar: **Preračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije.** *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2003.* Ljubljana, 15. januar 2004, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2004, str. 45–56
- Sandi Berk, Žarko Komadina, Marijan Marjanovič, Dalibor Radovan in Bojan Stopar: **The Recomputation of the EUREF GPS Campaigns in Slovenia.** Report on the Symposium of the IAG Subcommision for Europe (EUREF). Toledo, Španija, 04.–07. junij 2003. *Reports of the EUREF Technical Working Group (TWG)*, št. 13. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt na Majni, 2004, str. 132–149
- Sandi Berk, Klemen Kozmus, Dalibor Radovan in Bojan Stopar: **Planning and realization of the Slovenian permanent GPS network.** *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, letn. 113, št. 11–12. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 2006, str. 383–387

- Claude Boucher in Zuheir Altamimi: **Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign**. 2007, različica 6
- Pasi Häkli: **Practical Test on Accuracy and Usability of Virtual Reference Station Method in Finland**. FIG Working Week, Atene, 2004
- Bernhard Hofmann - Wellenhof, Gerhard Kienast in Herbert Lichtenegger: **GPS in der Praxis**. Springer-Verlag, Wien, 1994
- Dušan Kogoj, Tomaž Ambrožič, Simona Savšek Safić, Sonja Bogatin, Aleš Marjetič, Bojan Stopar, Dalibor Radovan, Sandi Berk in Nika Mesner: **Navodilo za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu**. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, november 2006, 14 str.
- Nika Mesner in Matija Klanjšček: **Določitev koordinat permanentnih postaj omrežja SIGNAL v koordinatnem sistemu ETRS 89**. Geodetski inštitut Slovenije, avgust 2006, 19+19 str.
- Dalibor Radovan, Sandi Berk, Jure Fegic, Anita Ipša, Matija Klanjšček, Nika Mesner, Dunja Vrenko, Tomaž Ambrožič, Sonja Bogatin, Samo Jaklič, Dušan Kogoj, Božo Koler, Klemen Kozmus, Miran Kuhar, Anka Lisec, Aleš Marjetič, Polona Pavlovčič Prešeren, Simona Savšek Safić, Oskar Sterle in Bojan Stopar: **Razvoj OGS 2006. Prehod na nov koordinatni sistem**. Končno poročilo in Končno poročilo – priloge, Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, november 2006, 2 zv., 222+14 in 217+40 str.
- Bojan Stopar, Dušan Kogoj, Tomaž Ambrožič, Miran Kuhar, Božo Koler, Dušan Petrovič, Simona Savšek Safić, Polona Pavlovčič Prešeren, Klemen Kozmus, Miran Ferlan, Mojca Kosmatin Fras, Oskar Sterle, Nika Zavadlav, Borut Pegan Žvokelj, Branko Janez Rojc, Igor Karničnik, Dalibor Radovan, Katja Oven in Sandi Berk: **Zasnova protokola prehoda nacionalne geoinformacijske infrastrukture v evropski koordinatni sistem in raziskava njegovih posledic za različne državne resorje in evidence**. Ciljni raziskovalni program »Konkurenčnost Slovenije 2001–2006« – raziskovalni projekt št. V2-0979. Končno poročilo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo in Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, avgust 2005, 117+22 str.
- Bojan Stopar, Dalibor Radovan, Sandi Berk in Andrej Bilc: **Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitve GPS-službe. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002**. Ljubljana, 12. december 2002, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2002, str. 73–80