



# **Razvoj DGS 2009**

## **Prehod na nov koordinatni sistem**

**Končno poročilo**

Ljubljana, 30. 10. 2009

**GEODETSKI INŠTITUT SLOVENIJE**

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, telefon: +386 1 200 29 00, faks: +386 1 425 06 77, e-pošta: [info@gis.si](mailto:info@gis.si), [www.gis.si](http://www.gis.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: 5026334  
Identifikacijska številka za DDV: SI 25661787

Odgovorna oseba: Aleš Seliškar, generalni direktor

### Izvajalec:

**Geodetski inštitut Slovenije (GI)**

Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana

Matična številka: 5051649  
Identifikacijska številka za DDV: SI 81498756  
Račun: 01100-6030348025

Odgovorna oseba: mag. Borut Pegan Žvokelj, direktor

### Pogodba:

Številka naročila: 2512-09-000076  
Naslov pogodbe: **Razvoj državnega geodetskega sistema 2009 – Prehod na nov koordinatni sistem (projekt SI0004)**

Naročnik: številka pogodbe: 45050-42/2009-1 Datum: 24. 08. 2009  
Izvajalec: številka pogodbe: 09\_111/P-SB Datum: 02. 09. 2009

### Zastopnik pogodbe:

Za naročnika: mag. Klemen Medved, univ. dipl. inž. geod.  
Za izvajalca: Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.

### Sodelavci:

Geodetski inštitut Slovenije:  
Sandi Berk, Katja Bajec, dr. Mihaela Triglav Čekada, Dominik Fajdiga, Nika Mesner,  
Ingrid Arh, dr. Tomaž Žagar, Miran Janežič, Niko Fabiani, dr. Dalibor Radovan  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo:  
dr. Bojan Stopar, dr. Božo Koler, dr. Miran Kuhar, mag. Oskar Sterle, dr. Polona  
Pavlovčič Prešeren, dr. Tomaž Ambrožič, dr. Dušan Kogoj, dr. Simona Savšek

**KAZALO**

1	Izhodišča in predmet projekta .....	1
1.1	Izhodišča projekta .....	1
1.2	Predmet projekta .....	2
2	Naloge na horizontalnem sistemu .....	3
2.1	Dokončni model transformacije med starim in novim koordinatnim sistemom (NALOGA 1.1) .....	3
2.1.1	Metodologija izbora virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0 .....	5
2.1.2	Določitev osnovnih virtualnih veznih točk – pravilna trikotniška mreža ..	7
2.1.3	Določitev pomožnih virtualnih veznih točk zunaj državnega ozemlja ...	10
2.1.4	Določitev referenčnih površin ETRS-točk .....	16
2.1.5	Določitev optimalnega polmera neposredne okolice veznih točk in optimalnega niza virtualnih veznih točk .....	20
2.1.6	Zaključek .....	53
2.2	Transformacijski modeli za transformacijo geodetskih podatkov (NALOGA 1.2) .....	55
2.2.1	Testno območje .....	56
2.2.2	Izmera veznih točk za transformacijo .....	56
2.2.3	Testiranje različnih metod transformacije .....	58
2.2.3.1	Transformacija z uporabo izmerjenih veznih točk .....	58
2.2.3.2	Trikotniška transformacija z uporabo državnih nizov veznih točk .....	73
2.2.3.3	Podobnostna transformacija z uporabo regionalnih parametrov .....	76
2.2.4	Zaključki primerjav različnih metod transformacij .....	78
2.3	Protokol vzpostavitve lokalne geodetske mreže za klasično detajlno izmero (NALOGA 1.3) .....	81
2.3.1	Protokol vzpostavitve lokalne geodetske mreže za klasično detajlno izmero (gradivo FGG) .....	82
2.3.1.1	Vrste izmeritvene mreže .....	83
2.3.1.2	Oblika in dimenzije mreže .....	83
2.3.1.3	Geodetski datum izmeritvene mreže (navezava na dane točke) .....	84
2.3.1.4	Stabilizacija točk izmeritvene mreže .....	84
2.3.1.5	Način izmere izmeritvene geodetske mreže .....	85
2.3.1.6	Izračun koordinat točk izmeritvene mreže .....	85
2.3.1.7	Detajlna izmera .....	86
2.3.1.8	Transformacije med koordinatnima sistemoma D48/GK in D96/TM .....	86
2.3.2	Protokol vzpostavitve lokalne geodetske mreže za klasično detajlno izmero (gradivo GI) .....	89
2.3.2.1	Načrtovanje izmeritvene mreže in obeležba točk .....	90
2.3.2.2	Izmera izmeritvene mreže .....	92
2.3.2.3	GNSS-izmera .....	93
2.3.2.4	Klasična izmera .....	93
2.3.2.5	Obdelava opazovanj izmeritvene mreže .....	94
2.3.2.6	Obdelava GNSS-opazovanj .....	94
2.3.2.7	Obdelava klasičnih opazovanj .....	94
2.3.2.8	Viri o izmeritvenih mrežah .....	95
2.4	Preračun omrežja SIGNAL zaradi vključitve novih stalnih postaj na območju sosednjih držav (NALOGA 1.4) .....	96
2.5	Zasnova geokinematičnega modela Slovenije (NALOGA 1.5) .....	97
2.5.1	Definicija, realizacija in vzdrževanje sodobnih koordinatnih sistemov ..	98
2.5.1.1	Sodobni koordinatni sistemi .....	99
2.5.1.2	EUREF in ETRS89 .....	100
2.5.1.3	Regionalni koordinatni sistemi po drugih celinah (državah) .....	102

2.5.1.4	ETRS89 v Sloveniji.....	105
2.5.1.5	Zaključek .....	108
2.5.2	Ureditev arhiva omrežja SIGNAL .....	110
3	Naloge na višinskem sistemu.....	115
3.1	Plan vzpostavitve nove nivelmanske mreže in navezave stalnih postaj omrežja SIGNAL na nivelmansko in gravimetrično mrežo (NALOGA 2.1).....	115
3.1.1	Izmere nivelmanskih poligonov od leta 2006 do leta 2009.....	116
3.2	Zasnova prehoda z normalnih ortometričnih na normalne višine (NALOGA 2.2) .....	119
3.2.1	Obstoječi višinski sistem v Sloveniji.....	120
3.2.2	Geopotencialne kote .....	121
3.2.3	Izračun geopotencialnih razlik in normalnih višinskih razlik .....	121
3.2.4	Izravnava in ocena natančnosti.....	122
3.2.5	Preračun nivelmanskih poligonov nižjih redov .....	123
3.3	Idejni projekt za kombinirano geodetsko mrežo 0. reda (NALOGA 2.3)....	124
3.3.1	Uvod in pregled stanja .....	125
3.3.2	Cilji in učinek vpeljave kombinirane geodetske mreže .....	125
3.3.3	Možni partnerji za sodelovanje.....	126
3.3.4	Izhodišča in zahteve .....	126
3.3.4.1	Merske tehnike .....	126
3.3.4.2	Naravni dejavniki .....	127
3.3.4.3	Družbeni dejavniki .....	127
3.3.4.4	Infrastruktura .....	127
3.3.4.5	Ostali dejavniki .....	127
3.3.5	Postopek iskanja makro- in mikrolokacij .....	127
3.3.6	Lastniškopravna razmerja in fizična postavitve točk .....	128
3.3.6.1	Obeležitev točk.....	129
3.3.7	Primeri kombiniranih omrežij v tujini.....	129
3.3.7.1	ECGN.....	129
3.3.7.2	CH-CGN, Švica .....	130
3.3.7.3	Penc, Madžarska.....	130
3.3.7.4	CBN1, Kanada .....	130
3.3.8	Standardi in priporočila .....	130
3.3.8.1	Standardi in priporočila za GNSS.....	131
3.3.8.2	Standardi in priporočila za nivelman.....	131
3.3.8.3	Standardi in priporočila za gravimetrijo .....	132
3.3.8.4	Standardi in priporočila za mareograf.....	132
3.3.8.5	Standardi in priporočila za mikromrežo .....	133
3.4	Obdelava GNSS-opazovanj za določitev elipsoidnih višin točk nivelmana (NALOGA 2.4) .....	134
4	Naloge na gravimetričnem sistemu .....	135
4.1	Priprava DMV za potrebe izračuna novega geoida (NALOGA 3.1).....	135
4.1.1	Določitev območja DMV.....	136
4.1.2	Določitev ločljivosti DMV .....	137
4.1.3	Izvorni podatki za pripravo DMV .....	140
4.1.3.1	Podatki za območje države .....	140
4.1.3.2	Podatki za okolico države.....	141
4.1.3.3	Združitev datotek in pretvorba DMV 12,5 .....	142
4.1.4	Rezultat pretvorbe DMV.....	142
4.2	Transformacija DMG za potrebe izračuna novega geoida (NALOGA 3.2).....	144
4.2.1	Določitev območja DMG .....	145
4.2.2	Določitev ločljivosti DMG .....	146
4.2.3	Rezultat pretvorbe DMG .....	147

4.3	Zasnova transformacij anomalij težnosti in odklonov navpičnic (NALOGA 3.3) .....	148
4.3.1	Zasnova transformacij anomalij težnosti .....	149
4.3.2	Zasnova transformacij odklonov navpičnic .....	150
4.3.3	Pregled podatkov za izračun novega geoida .....	150
5	Podporne naloge .....	154
5.1	Delovanje komisije za DGS (NALOGA 4.1) .....	154
5.2	Koordinacija in realizacija prehoda na nov koordinatni sistem (NALOGA 4.2) .....	155
5.3	Priprava spletnih vsebin norveškega projekta s predstavitvijo rezultatov (NALOGA 4.3) .....	156
5.4	Letno poročilo in udeležba na konferenci EUREF (NALOGA 4.4) .....	157
6	Literatura in viri .....	158

## Seznam prilog (ločena vezava):

- [Priloga 2.1-01](#): Niz virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0 (izbrana različica izmed 128 testnih)  
15 str.
- [Priloga 2.1-02](#): Transformacijski parametri za določitev vektorjev pomikov na virtualnih veznih točkah RAZLIČICA 3.0 (samo za izbrano različico izmed 128 testnih)  
388 (775) str.
- [Priloga 2.2-01](#): Testno območje transformacije podatkov koordinatnega katastra (vas Bočna) na ortofotu  
1 str.
- [Priloga 2.2-02](#): Zemljiškokatastrske točke na testnem območju transformacije podatkov koordinatnega katastra  
1 str.
- [Priloga 2.2-03](#): Seznam neposredno določenih koordinat in višin ZK-točk na testnem območju Bočna iz posameznih RTK-meritev in aritmetičnih sredin le-teh ter srednjih odstopanj položajev in višin  
6 str.
- [Priloga 2.2-04](#): Niz izmerjenih veznih točk na testnem območju Bočna s pari koordinat (e, n, y, x)  
3 str.
- [Priloga 2.2-05](#): Srednji pomiki (D48/GK → D96/TM) in odstopanja od le-teh na izmerjenih ZK-točkah na testnem območju Bočna  
3 str.
- [Priloga 2.2-06](#): Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov izometrične transformacije na testnem območju Bočna  
6 str.
- [Priloga 2.2-07](#): Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov podobnostne transformacije na testnem območju Bočna  
6 str.
- [Priloga 2.2-08](#): Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov affine transformacije na testnem območju Bočna  
6 str.
- [Priloga 2.2-09](#): Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov projekтивne transformacije na testnem območju Bočna  
6 str.
- [Priloga 2.2-10](#): Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk RAZLIČICA 1.0  
3 str.
- [Priloga 2.2-11](#): Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk RAZLIČICA 2.0  
3 str.
- [Priloga 2.2-12](#): Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0  
3 str.
- [Priloga 2.2-13](#): Transformacijski parametri območja št. 9 (regionalizacija na 24 transformacijskih območij) za ravninsko podobnostno transformacijo  
1 str.
- [Priloga 2.2-14](#): Ocena natančnosti transformacije in ostali metapodatki območja št. 9 (regionalizacija na 24 transformacijskih območij) za ravninsko podobnostno transformacijo  
1 str.

- [Priloga 2.2-15](#): Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk za območje št. 9  
3 str.
- [Priloga 3.2-01](#): Izračun višinskih razlik v sistemu normalnih ortometričnih višin in normalnih višin  
7 str.
- [Priloga 3.2-02](#): Izračun geopotencialnih razlik  
5 str.
- [Priloga 3.2-03](#): Rezultati izravnave nivelmanske zanke  
72 str.
- [Priloga 3.2-04](#): Izravnane nadmorske višine v različnih višinskih sistemih in razlike med posameznimi višinskimi sistemi  
6 str.
- [Priloga 5.1-01](#): Vabilo na 4. sejo Komisije za DGS z dne 03. 09. 2009  
1 str.
- [Priloga 5.1-02](#): Delovno gradivo za 2. točko dnevnega reda 4. seje Komisije za DGS (zagotavljanje kakovostnega koordinatnega sistema na dolgi rok)  
5 str.
- [Priloga 5.1-03](#): Uvodna predstavitev za 3. točko 4. seje Komisije za DGS – izroček predstavitve (prosojnice) Navodila za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu  
3 (8) str.
- [Priloga 5.2-01](#): Vprašanje v zvezi s kodama za slovenska koordinatna sistema D48/GK in D96/TM v registru EPSG z dne 10. 06. 2009  
3 str.
- [Priloga 5.2-02](#): Odgovor v zvezi s kodama za slovenska koordinatna sistema D48/GK in D96/TM v registru EPSG z dne 11. 06. 2009  
3 str.
- [Priloga 5.2-03](#): Vprašanje v zvezi z geolokacijskimi datotekami v ESRI orodjih (ARCGIS) z dne 23. 10. 2009  
2 str.
- [Priloga 5.2-04](#): Odgovor v zvezi z geolokacijskimi datotekami v ESRI orodjih (ARCGIS) z dne 26. 10. 2009  
3 str.
- [Priloga 5.2-05](#): Naslovnica brošure 14. strokovnega srečanja SIOUG (Slovenskega združenja uporabnikov programske opreme Oracle)  
1 str.
- [Priloga 5.2-06](#): Urnik predavanj 14. strokovnega srečanja SIOUG (Slovenskega združenja uporabnikov programske opreme Oracle) za sredo, 23. 09. 2009  
1 str.
- [Priloga 5.2-07](#): Povzetek predavanja z naslovom »Definicija slovenskih koordinatnih sistemov v Oracle Spatial«  
1 str.
- [Priloga 5.2-08](#): Predstavitev z naslovom »Definicija slovenskih koordinatnih sistemov v Oracle Spatial« – izroček predstavitve (prosojnice)  
7 (19) str.
- [Priloga 5.4-01](#): EUREF-simpozij Firenze 2009; predstavitev nacionalnega poročila – izroček predstavitve (prosojnice), ki je bila izvedena dne 29. 05. 2009  
5 (14) str.
- [Priloga 5.4-02](#): EUREF-simpozij Firenze 2009; poročilo o udeležbi na simpoziju z dne 03. 06. 2009  
5 str.

- [Priloga 5.4-03](#): EUREF-simpozij Firenze 2009; nacionalno poročilo (prispevek za zbornik), ki je bilo dne 15. 09. 2009 poslano na EUREF  
5 str.
- [Priloga Z1](#): Zapisnik sestanka z dne 04. 08. 2009  
3 str.
- [Priloga Z2](#): Zapisnik sestanka z dne 10. 08. 2009  
2 str.
- [Priloga Z3](#): Zapisnik sestanka z dne 14. 08. 2009  
2 str.

Skupaj (v ločeno vezanem zvezku) 38 prilog.

Skupaj (v ločeno vezanem zvezku) 597 (1010) strani prilog + 38 naslovnih 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 sistem)**

**3. sklop (Gravimetrični sistem)**

**4. sklop (Podporne naloge)**

V 1. (uvodnem) poglavju so predstavljena izhodišča, cilji in predmet projekta. Izvlečki so pripravljene po posameznih nalogah vsakega izmed štirih sklopov; glej ustrezna podpoglavja 2.–5. poglavja poročila, in sicer:

- za SKLOP 1:
  - podpoglavje 2.1: NALOGA 1
  - podpoglavje 2.2: NALOGA 2
  - podpoglavje 2.3: NALOGA 3
  - podpoglavje 2.4: NALOGA 4
  - podpoglavje 2.5: NALOGA 5
  
- za SKLOP 2:
  - podpoglavje 3.1: NALOGA 1
  - podpoglavje 3.2: NALOGA 2
  - podpoglavje 3.3: NALOGA 3
  - podpoglavje 3.4: NALOGA 4
  
- za SKLOP 3:
  - podpoglavje 4.1: NALOGA 1
  - podpoglavje 4.2: NALOGA 2
  - podpoglavje 4.3: NALOGA 3
  
- za SKLOP 4:
  - podpoglavje 5.1: NALOGA 1
  - podpoglavje 5.2: NALOGA 2
  - podpoglavje 5.3: NALOGA 3
  - podpoglavje 5.4: NALOGA 4

V (zadnjih) [prilogah Z1–Z3](#) so zapisniki sestankov z naročnikom z dne 04. 08. 2009 s podrobnejšim dogovorom o prioritetnih nalogah projekta in podrobnejšim terminskim planom, z dne 10. 08. 2009, ki je bil namenjen podrobnejši vsebinski obravnavi nalog ter z dne 14. 08. 2009, ki je bil namenjen 3. sklopu nalog. V **6. poglavju** je nekoliko obsežnejši pregled literature in virov (predvsem najnovejših), ki so neposredno ali posredno povezani z vzpostavljanjem novega koordinatnega sistema v Sloveniji.

# 1 Izhodišča in predmet projekta

## 1.1 Izhodišča projekta

Izhodišča projekta so podana v strateških ciljih državne geodetske službe za leti 2009 in 2010. Cilji, ki neposredno zadevajo področje državnega geodetskega sistema (DGS), so:

- vzpostaviti novi državni koordinatni sistem (horizontalno, višinsko in gravimetrično sestavino) kot del evropskega koordinatnega sistema ESRS,
- vzpostaviti pogoje za izvajanje državne geodetske izmere v ETRS89 (horizontalna sestavina), zagotavljati delovanje omrežja stalnih postaj GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem) in Službe za GPS za potrebe nadzora delovanja omrežja, posredovanja podatkov za izvajanje geodetskih meritev, navigacije in geolociranja prostorskih podatkov, stanj in dogajanj v prostoru,
- vzpostaviti in voditi državne podatke o značilnostih zemeljskega površja in objektih (topografski podatki) v zbirkah topografskih podatkov in podatkov daljinskega zaznavanja ter zagotavljati državne karte v skladu z mednarodnimi standardi,
- izvesti pretvorbo vseh georeferenciranih podatkov geodetske uprave in sodelovati z uporabniki pri pretvorbi ostalih prostorskih podatkov in
- nadalje razvijati in vzdrževati kartografski sistem Republike Slovenije za potrebe obrambe po standardih zveze NATO in slovenskih vojaških standardih.

Posredno se DGS dotikajo še strateški cilji državne geodetske službe za leti 2008 in 2009 na področjih uvajanja direktive INSPIRE, mednarodnega sodelovanja in izobraževanja, med drugimi:

- zagotoviti pogoje za izpolnitev zahtev evropske direktive INSPIRE na področju geodetskih zbirk podatkov,
- zagotoviti dostop do geodetskih podatkov in metapodatkov skladno z zahtevami INSPIRE,
- sodelovanje pri vzpostavljanju evropskih in čezmejnih podatkovnih nizov z upoštevanjem interoperabilnosti prostorskih in nepremičninskih podatkov in storitev,
- uresničevanje usmeritev zveze NATO z upoštevanjem interoperabilnosti pri pripravi topografskih in kartografskih izdelkov v sodelovanju z Ministrstvom za obrambo,
- izboljšati znanje uporabnikov o možnostih uporabe nepremičninskih in prostorskih podatkov.

## 1.2 Predmet projekta

V skladu s cilji državne geodetske službe na področju DGS (strateški cilji za leti 2009 in 2010) lahko konkretne naloge razdelimo na dva sklopa; prvi se nanaša na razvoj DGS, drugi sklop pa se nanaša na vzpostavitev in delovanje državnega omrežja stalnih postaj GNSS (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 uvajanju novega državnega koordinatnega sistema. 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

- 1.1 Dokončni model transformacije med starim in novim koordinatnim sistemom
- 1.2 Transformacijski modeli za transformacijo geodetskih podatkovnih zbirk
- 1.3 Protokol vzpostavitve lokalne geodetske mreže za klasično detajlno izmero
- 1.4 Preračun omrežja SIGNAL zaradi vključitve novih stalnih postaj na območju sosednjih držav
- 1.5 Zasnova geokinematičnega modela Slovenije

#### 2 Naloge, ki se nanašajo na višinski sistem

- 2.1 Plan vzpostavitve nove nivelmanske mreže in navezave stalnih postaj omrežja SIGNAL na nivelmansko in gravimetrično mrežo
- 2.2 Zasnova prehoda z normalnih ortometričnih na normalne višine
- 2.3 Idejni projekt za kombinirano geodetsko mrežo 0. reda
- 2.4 Obdelava GNSS-opazovanj za določitev elipsoidnih višin točk nivelmana

#### 3 Naloge, ki se nanašajo na gravimetrični sistem

- 3.1 Priprava DMV za potrebe izračuna novega geoida
- 3.2 Transformacija DMG za potrebe izračuna novega geoida
- 3.3 Zasnova transformacij anomalij težnosti in odklonov navpičnic

#### 4 Podporne naloge na področju DGS

- 4.1 Delovanje Komisije za DGS
- 4.2 Koordinacija in realizacija postopkov prehoda na nov koordinatni sistem
- 4.3 Izdelava spletne strani norveškega projekta s predstavitvijo rezultatov
- 4.4 Letno poročilo in udeležba na konferenci EUREF

## 2 Naloge na horizontalnem sistemu

### 2.1 Dokončni model transformacije med starim in novim koordinatnim sistemom (NALOGA 1.1)

*Poročilo: Sandi Berk*

*Recenzija: dr. Bojan Stopar, FGG, in Joc Triglav, GURS*

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

#### Povzetek

Za določitev končnega niza veznih točk med starim in novim koordinatnim sistemom oziroma niza veznih točk RAZLIČICA 3.0 je bila pripravljena nova metodologija. Ključni elementi nove metodologije so:

- generiranje virtualnih veznih točk (namesto izbora veznih točk med razpoložljivimi ETRS-točkami) – mreža virtualnih veznih točk je (skoraj) pravilna trikotniška mreža,
- določitev vektorjev pomikov upošteva optimalne transformacijske parametre v neposrednih okolicih virtualnih veznih točk in (pri določitvi teh parametrov)
- uvajanje uteži za ETRS-točke zaradi različne gostote ETRS-točk po posameznih delih države (vsi deli državnega ozemlja so upoštevani enakovredno) in zaradi različne oddaljenosti ETRS-točk od virtualnih veznih točk (točke v bližini virtualne vezne točke imajo večji vpliv na določitev vektorja pomika v tej točki).

Končni optimalni niz je bil določen empirično. V testiranju je bilo skupaj vključenih 128 na različne načine generiranih nizov virtualnih veznih točk, in sicer:

- z različnimi gostotami virtualnih veznih točk,
- z različnimi tipi transformacij za določitev vektorjev pomikov,
- z različnimi velikostmi neposrednih okolicih virtualnih veznih točk in
- z različnimi izbori uteži za ETRS-točke znotraj neposrednih okolicih virtualnih veznih točk.

Virtualne vezne točke nadomeščajo dejansko izmerjene, tako imenovane ETRS-točke, pri čemer je izbor podrejen optimalni geometriji (pravilna trikotniška mreža točk). Vsaka virtualna vezna točka je dobljena z upoštevanjem ETRS-točk v neposredni okolici – s povprečenjem, in sicer upošteva ustrezno določene uteži, ki poskrbijo za eliminacijo neenakomerne gostote ETRS-točk in različne oddaljenosti ETRS-točk od virtualnih veznih točk. Za vektorje odstopanj v virtualnih veznih točkah bi lahko rekli, da so pridobljeni z interpolacijo (vektorskega polja), ki ga določajo vse razpoložljive ETRS-točke.

### Opombe in predlogi recenzentov

Mnenje obeh recenzentov je, da bi bilo kakovost transformacije mogoče še dodatno izboljšati predvsem z domeritvami dodatnih ETRS-točk, in sicer na območjih:

- kjer je gostota teh točk majhna,
- kjer se pojavljajo večja odstopanja in
- na območjih vzdolž državne meje.

Posebej so bila izpostavljena območja:

- vzhodni del Prekmurja vzdolž državne meje z Madžarsko (op. Triglav):
  1. argument: velikosti uporabljenih testnih polmerov (glej npr. sliko 2.1-12),
  2. argument: gre za območje na vzhodnem robu 5. cone z naknadno pripojenim delom 6. cone (D48/GK),
  3. argument: gre za ravninsko in gosto poseljeno območje, ki si zasluži trdnejšo osnovo za transformacijo,
- območja vzhodno in jugovzhodno od Ljubljane (op. Stopar).

Končni niz veznih točk različica 3.0 daje velikosti odstopanj po transformaciji, ki jih za območje Slovenije kot celote ne bo možno značilno izboljšati. Z dodatno izmero veznih točk na posameznih redko posejanih območjih pa bo velikost odstopanj lokalno pridobila na teži in zanesljivosti ter tako omogočila bolj verodostojno uporabo v praksi.

Predlog za test (Triglav): zanimivo bi bilo preizkusiti, kakšna so odstopanja za zemljiškokatastrske točke v Sloveniji, ki so bile v zbirko zemljiškega katastra vnešene po 1. 1. 2008 (izmera v novem KS).

### 2.1.1 Metodologija izbora virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0

#### Niz veznih točk RAZLIČICA 1.0

Prvi dve različici nizov veznih točk za trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo sta temeljili na avtomatičnem izboru (dejanskih) veznih točk. Algoritem izbora niza veznih točk **RAZLIČICA 1.0** (Razvoj DGS 2007, str. 168) sloni na redčenju ETRS-točk; le točke v neposredni bližini državne meje so bile izbrane ročno – izbrane so bile tiste, ki so kar najbližje meji. Redčenje se je izvedlo po korakih; v vsakem je bila izločena po ena ETRS-točka, in sicer točka na »območju največje gostote«. Postopek ugotavljanja točke na »območju največje gostote« je bil naslednji:

- iskanje para dveh ETRS-točk, ki sta si najbližje skupaj, nato pa
- ugotavljanje, katera izmed obeh točk ima bližje sebi drugo najbližjo ETRS-točko.

V vsakokratni ponovitvi postopka je bila točka, ki je izpolnjevala zgornja pogoja, obravnavana kot točka na »območju največje gostote« in je bila izločena iz niza. Za RAZLIČICO 1.0 je bil upoštevan naslednji kriterij za prenehanje nadaljnega redčenja ETRS-točk:

- najmanjša razdalja med sosednjima veznima točkama  $> 3$  km.

Preostale ETRS-točke, ko glede na opisani algoritem ni bilo več mogoče nobene izločiti, so torej točke iz niza RAZLIČICA 1.0.

#### Niz veznih točk RAZLIČICA 2.0

Za izbor niza veznih točk **RAZLIČICA 2.0** (Razvoj DGS 2008, str. 30) je bil algoritem izbora nekoliko boljšan. Pri izboru točk v RAZLIČICI 1.0 so bili namreč upoštevani predvsem kriteriji optimalne razporeditve veznih točk – torej geometrijski kriteriji. V metodologiji izbora pa ni bil upoštevan kriterij kakovosti veznih točk.

Kriterij kakovosti vezne točke je bil definiran v povezavi z njenim odstopanjem pri transformaciji, ki je na danem območju optimalna. Pri izboru so torej imele prednost točke z manjšimi odstopanji po transformaciji, določeni na podlagi točk v njeni neposredni okolici.

V praksi je bila zgornja ideja realizirana z naslednjim algoritmom:

- iskanje točk v »neposredni okolici« že izbrane vezne točke<sup>1</sup>,
- določitev optimalnih transformacijskih parametrov transformacije na podlagi teh točk (tj. izbrane točke in točk v njeni neposredni okolici),
- določitev odstopanj na teh točkah (tj. izbrani točki in točkah v njeni neposredni okolici) po transformaciji in
- po potrebi zamenjava izbrane točke z »najbolj kakovostno« točko v njeni neposredni okolici.

<sup>1</sup> Gre za točke iz niza veznih točk RAZLIČICA 1.0, razširjene s točkami zgostitve v letu 2008.

Neposredna okolica izbrane vezne točke je bila določena tako, da:

- je bila upoštevana različna gostota izbranih veznih točk na posameznih območjih države,
- ponoven izbor veznih točk ni preveč porušil dosežene relativno ugodne geometrijske razporeditve veznih točk v nizu veznih točk RAZLIČICA 1.0,
- ponoven izbor veznih točk ni preveč spremenil gostote veznih točk v nizu veznih točk RAZLIČICA 1.0, torej tudi ne njihovega števila, in da
- dveh sosednjih izbranih veznih točk iz niza veznih točk RAZLIČICA 1.0 ni mogla nadomestiti ista točka.

Izbrana transformacija, katere optimalni parametri so bili določeni na podlagi izbrane točke in točk v njeni neposredni okolici, je bila kar ravninska podobnostna transformacija. Mera za najbolj kakovostno točko, ki bi lahko zamenjala izbrano vezno točko je bilo odstopanje točke po izvedeni optimalni ravninski podobnostni transformaciji. Lahko bi rekli tudi, da je šlo za »najbolj reprezentativno« točko na danem območju.

Postopek zamenjav veznih točk je bil zveden v naslednja kriterija za izbor neposredne okolice točke in potencialnih zamenljivk<sup>2</sup> izbrane vezne točke:

- neposredna okolica izbrane vezne točke je vključevala vse razpoložljive ETRS-točke, ki so se nahajale znotraj očrtanega kroga izbrane točke in njej najbližjim 6 točkam; izjemoma (na območjih majhne gostote točk<sup>3</sup>) je bila neposredna okolica izbrane vezne točke omejena na krog s polmerom 12.000 metrov in središčem v sami točki.
- potencialne zamenljivke izbrane vezne točke pa so bile vse razpoložljive ETRS-točke, ki so se nahajale znotraj kroga s središčem v izbrani vezni točki in polmerom, ki je določen kot polovična razdalja med njo in njej najbližjo sosednjo vezno točko.

### Niz veznih točk RAZLIČICA 3.0 – dokončna transformacija

Osnovna ideja za izbor dokončnega niza veznih točk – **RAZLIČICA 3.0** – za trikotniško zasnovano odsekoma afino ravninsko transformacijo med D48/GK in D96/TM je bila, da niz veznih točk ne bo več vseboval pravih točk (na terenu obeleženih točk z neposredno določenimi koordinatami v D48/GK in D96/TM) ampak namišljene točke, z vnaprej določeno optimalno razporeditvijo. Na ta način zagotovimo:

- optimalno razporeditev veznih točk, torej gostoto in geometrijo,
- vektorji pomikov med starim in novim koordinatnim sistemom so določeni na podlagi trenda, torej:
  - upošteva vse razpoložljive ETRS-točke v neki izbrani okolici, pa tudi
  - upošteva ustrezne uteži razpoložljivih ETRS-točk v tako določeni okolici in
- ekstrapolacijo transformacije na območja brez ETRS-točk, torej na območja zunaj državne meje.

<sup>2</sup> Potencialne zamenljivke izbrane vezne točke (iz niza veznih točk RAZLIČICA 1.0) so tiste razpoložljive ETRS-točke v bližini izbrane vezne točke, ki pridejo v poštev za zamenjavo le-te – seveda v primeru, da se glede na izbrani kriterij reprezentativnosti izkažejo za boljše od nje.

<sup>3</sup> Območje majhne gostote točk pomeni, da je dobljeni polmer očrtanega kroga večji od 12.000 m, torej štirikrat večji od najmanjše razdalje med dvema sosednjima veznima točkama.

Z vektorji pomikov med starim in novim koordinatnim sistemom, pridobljenimi s »povprečenjem« ublažimo vpliv slučajnih napak, ki se v polni meri odražajo v obeh predhodnih nizih veznih točk (RAZLIČICA 1.0 in RAZLIČICA 2.0), pridobljenih zgolj na podlagi izbora izmed razpoložljivih ETRS-točk.

Z empirično določitvijo optimalnega polmera »neposrednih okolic« virtualnih veznih točk pri dani razporeditvi slednjih določimo optimalne vektorje pomikov med starim in novim koordinatnim sistemom. Kriterij optimalnega polmera »neposrednih okolic« je, da so zanj odstopanja na ETRS-točkah po transformaciji najmanjša možna.

Prav tako z ustrezno izbranimi polmeri neposrednih okolic zagotovimo kar se da enakovredno obravnavo vseh ETRS-točk, kar pomeni, da so vse izbrane v približno enako število neposrednih okolic.

Z določitvijo ustreznih uteži ETRS-točk pa zagotovimo, da vsak del ozemlja v enaki meri vpliva na tako določeno optimalno transformacijo v »neposredni okolici«, in sicer neglede na različno gostoto razpoložljivih ETRS-točk na danem območju.

### 2.1.2 Določitev osnovnih virtualnih veznih točk – pravilna trikotniška mreža

Kot osnova za pokritje države z mrežo vnaprej izbranih virtualnih veznih točk je bila izbrana pravilna trikotniška mreža. Takšna mreža je optimalna za uporabo trikotniške transformacije, saj so enakostranični trikotniki pri uporabi avtomatične Delaunayjeve triangulacije najbolj »stabilno« določeni (glede zagotovitve identičnosti triangulacije pri inverzni transformaciji).

V veliki pravilni trikotniški mreži je število osnovnih celic mreže (trikotnikov) skoraj dvakrat večje od števila oglišč trikotnikov ( $n$ ). Za velike pravilne trikotniške mreže ( $n \rightarrow \infty$ ) je namreč površina trikotniške mreže

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P = 2 \cdot n \cdot \frac{a^2 \cdot \sqrt{3}}{4} = 2 \cdot n \cdot p_{\Delta} .$$

Naš cilj je pokriti državo čimbolj enakomerno z  $n$  veznimi točkami. Imamo torej površino ( $P$ ) in želeno število točk ( $n$ ). Za površino osnovnega trikotnika ( $p_{\Delta}$ ) v odvisnosti od želenega števila točk ( $n$ ) torej uporabimo obrazec

$$p_{\Delta} = \frac{P}{2 \cdot n} .$$

Ustrezno dolžino stranice posameznega trikotnika izpeljemo iz obrazca za površino enakostraničnega trikotnika:

$$p_{\Delta} = \frac{a^2 \cdot \sqrt{3}}{4} \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt{\frac{4 \cdot p_{\Delta}}{\sqrt{3}}} .$$



Nekaj izračunov za Slovenijo ( $P \approx 20.000 \text{ km}^2$ ):

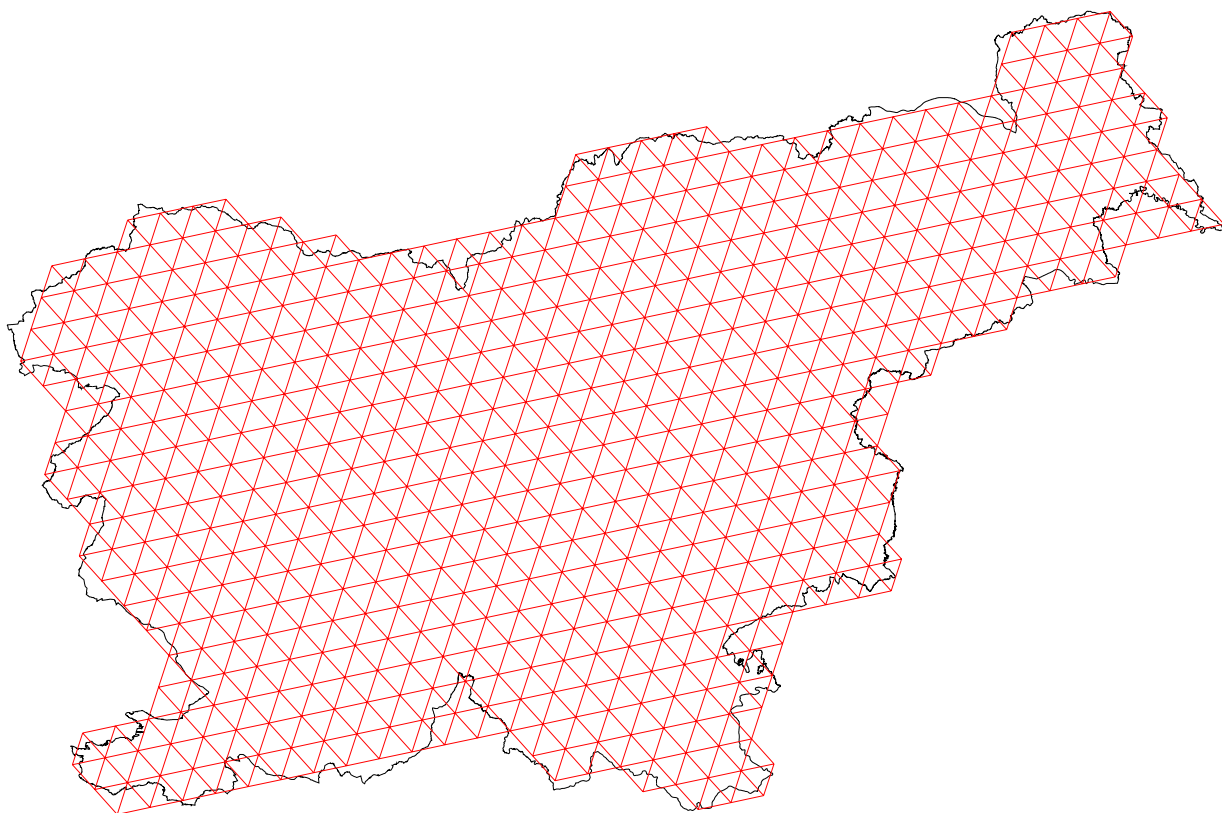
Št. točk	Št. trikotnikov	Površina trikotnika [ $\text{km}^2$ ]	Dolžina stranice trikotnika [m]
125	250	80	13.592,35
<b>250</b>	<b>500</b>	<b>40</b>	<b>9.611,25</b>
<b>500</b>	<b>1.000</b>	<b>20</b>	<b>6.796,18</b>
1.000	2.000	10	4.805,62

V nadaljevanju sta obravnavani obe srednji različici, torej tisti s ciljnima številoma točk 250 in 500. Slednja je po številu veznih točk še najbližje številu točk v nizu RAZLIČICA 2.0, ko je bilo na območju države izbranih 560 veznih točk (Razvoj DGS 2008, str. 35), seveda pa so bile prej točke precej neenakomerno razporejene; razdalje med točkami (dolžine stranic trikotnikov) so variirale med 2000,35 m in 11.831,40 m.

Zaradi optimalnega prileganja obliki države je bila osnovna trikotna celica mreže nagnjena pod kotom  $12^\circ$  – ta kot je bil določen izkustveno.

Prva različica: ciljno število točk na območju države = **500**

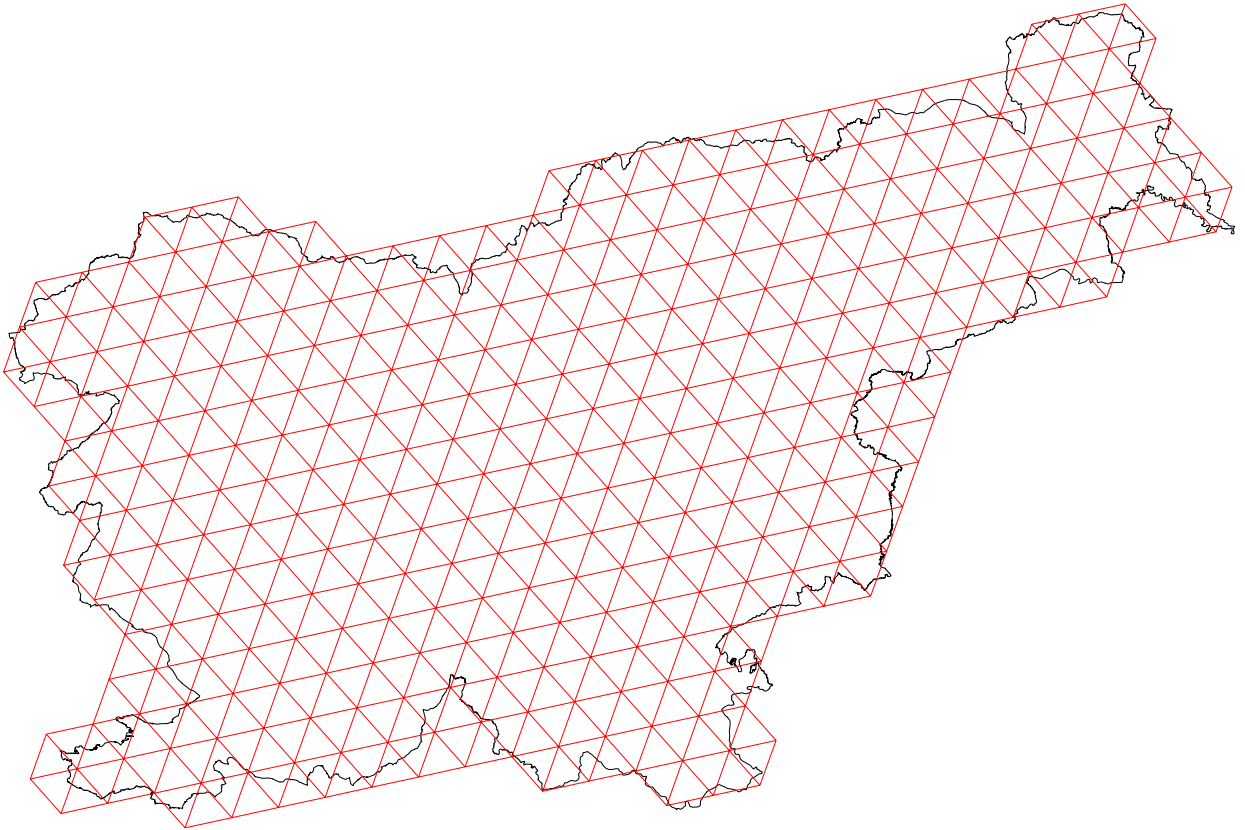
Za konstrukcijo pravilne trikotniške mreže je bila uporabljena dolžina stranice trikotnika:  $a' = 6.796,18 \text{ m}$ . Površina trikotnika je  **$20 \text{ km}^2$**  (slika 2.1-1). Za primerjavo: ustrezna dolžina stranice v kvadratasti mreži (z osnovno celico iste površine) bi bila:  $a = 4.472,14 \text{ m}$ .



Slika 2.1-1: Pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$ .

Druga različica: ciljno število točk na območju države = **250**

Za konstrukcijo pravilne trikotniške mreže je bila uporabljena dolžina stranice trikotnika:  $a'' = 9.611,25$  m. Površina trikotnika je **40 km<sup>2</sup>** (slika 2.1-2). Za primerjavo: ustrežna dolžina stranice v kvadratasti mreži (z osnovno celico iste površine) bi bila:  $a = 6.324,56$  m.



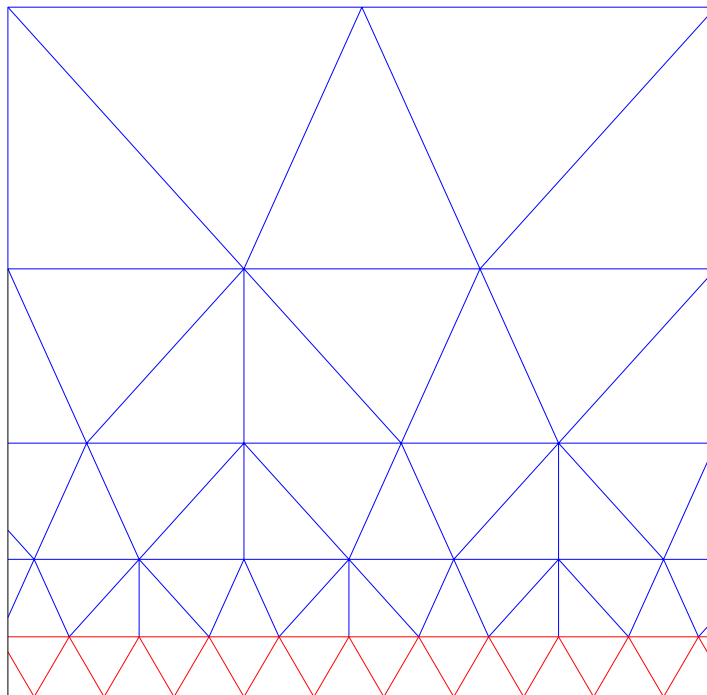
*Slika 2.1-2: Pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 40 km<sup>2</sup>.*

Koordinate virtualnih veznih točk za obe predstavljeni različici (s površinama trikotnikov 20 km<sup>2</sup> in 40 km<sup>2</sup>) so določene v D96/TM in zaokrožene na cela števila, tj. na cel meter. Razlog je v tem, da bo v datoteki virtualnih veznih točk takoj razvidno, katere koordinate točk so bile privzete in katere izračunane (določitev ustreznih vektorjev odstopanj).

### 2.1.3 Določitev pomožnih virtualnih veznih točk zunaj državnega ozemlja

Pravilna trikotniška mreža je bila porezana približno po državni meji – seveda precej generalizirano. Tako so manjši delčki državnega ozemlja ostali tudi zunaj. Zato – pa tudi iz drugih razlogov<sup>4</sup> – je bila osnovna mreža razširjena navzven, pri čemer pa je bila gostota točk mreže postopoma zmanjšana.

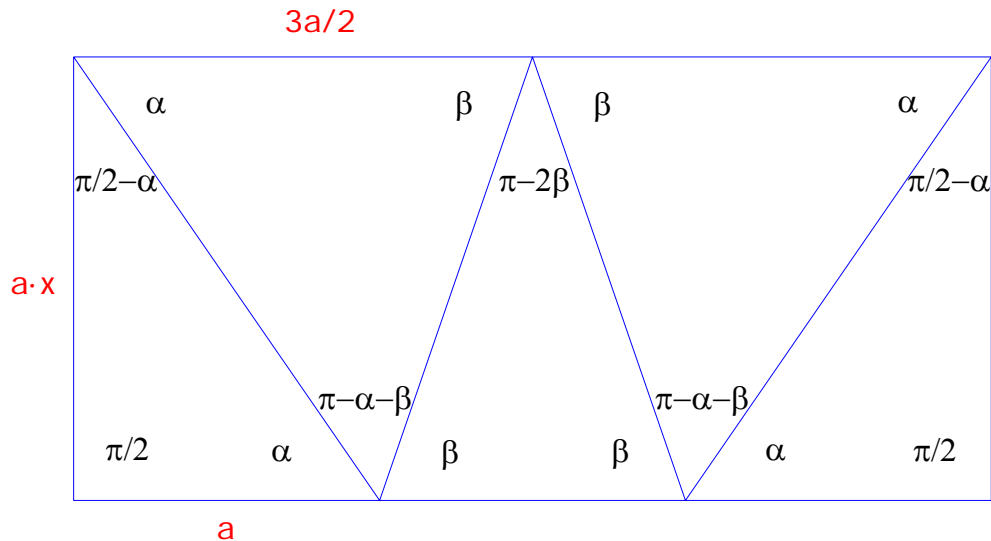
Za konstruiranje pomožnih virtualnih veznih točk navzven je bil uporabljen postopek dodajanja točk po obodnih poligonih (obročih). Tako so nastali obodni pasovi (bufferji), ki predstavljajo ustrezno razširitev vsakokratnega predhodno določenega obsega/dosega transformacije. Za redčenje točk je bilo kot izhodiščno vzeto razmerje 2 : 3 za vsak naslednji obodni poligon, kar pomeni: trikratna dolžina stranice trikotnika v predhodnem pasu ustreza dvakratni dolžini stranice trikotnika v naslednjem pasu (slika 2.1-3).



*Slika 2.1-3: Princip konstruiranja trikotnikov navzven – spodaj je rob osnovne trikotniške mreže (rdeče); trikratna dolžina stranice trikotnika v predhodnem pasu ustreza dvakratni dolžini stranice trikotnika v naslednjem pasu (modro).*

Opisani način konstruiranja trikotnikov navzven – ob hkratnem redčenju gostote točk oziroma postopnem povečevanju dolžin stranic trikotnikov ima seveda eno neznaniko: širino vsakokratnega pasu. Optimalno širino določa kriterij, da naj bodo tako konstruirani trikotniki kot se le da blizu enakostraničnim. V matematičnem jeziku to pomeni, da naj bo vsota kvadratov odstopanj kotov tako nastalih trikotnikov od  $60^\circ$  (kot v enakostraničnem trikotniku) minimalna možna. Zadošča, da ta minimum dosežemo v ponavljajočem se vzorcu petih trikotnikov (slika 2.1-4).

<sup>4</sup> Potreba po določitvi transformacije na širšem območju (zunaj državnega ozemlja) se pojavlja predvsem v kartografiji – vsebina karte se običajno ne konča na meji države, ampak na robu pravokotnega lista karte. Drug primer uporabe transformacij koordinat točk, kjer se pojavi potreba po ekstrapolaciji navzven, je morje – pomorska hidrografija.



Slika 2.1-4: Tipični vzorec trikotnikov razširitvenega pasu; imamo dva para zrcalno simetričnih trikotnikov, od katerih sta oba skrajna trikotnika pravokotna, osrednji trikotnik pa je enakokrak.

Neznanka je torej zgolj širina posameznega razširitvenega pasu oziroma ob dani dolžini osnovne stranice ( $a$ ) faktor, s katerim jo moramo povečati ( $x$ ), da dobimo optimalno širino pasu ( $a \cdot x$ ).

V preglednici so podani vsi koti petih trikotnikov tipičnega vzorca ter odstopanja letih od  $\pi/3$  ( $60^\circ$ ):

Število	Kot	Odstopanje kota od $\pi/3$
4	$\alpha$	$\pi/3 - \alpha$
4	$\beta$	$\pi/3 - \beta$
2	$\pi/2$	$\pi/6$
2	$\pi/2 - \alpha$	$\pi/6 - \alpha$
2	$\pi - \alpha - \beta$	$2 \cdot \pi/3 - \alpha - \beta$
1	$\pi - 2 \cdot \beta$	$2 \cdot \pi/3 - 2 \cdot \beta$

Zanima nas, kdaj je vsota kvadratov odstopanj vseh kotov od  $\pi/3$  minimalna, torej:

$$4 \cdot \left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{\pi}{3} - \beta\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\pi}{6}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\pi}{6} - \alpha\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{3} - \alpha - \beta\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{3} - 2 \cdot \beta\right)^2 = \min$$

Malo preuredimo in dobimo:

$$24 \cdot \alpha^2 + 30 \cdot \beta^2 + 12 \cdot \alpha \cdot \beta - 18 \cdot \pi \cdot \alpha - 24 \cdot \pi \cdot \beta + 7 \cdot \pi = \min$$

Da bi določili neznani faktor ( $x$ ), moramo z njim ustrezno izraziti oba pomožna kota ( $\alpha$  in  $\beta$ ); velja (slika 2.1-4):

$$\alpha = \arctan(x) \quad \text{in} \quad \beta = \arctan(2 \cdot x) .$$

Vstavimo v zgornji izraz, odvajamo po neznanki  $x$  in po ureditvi dobimo enačbo:

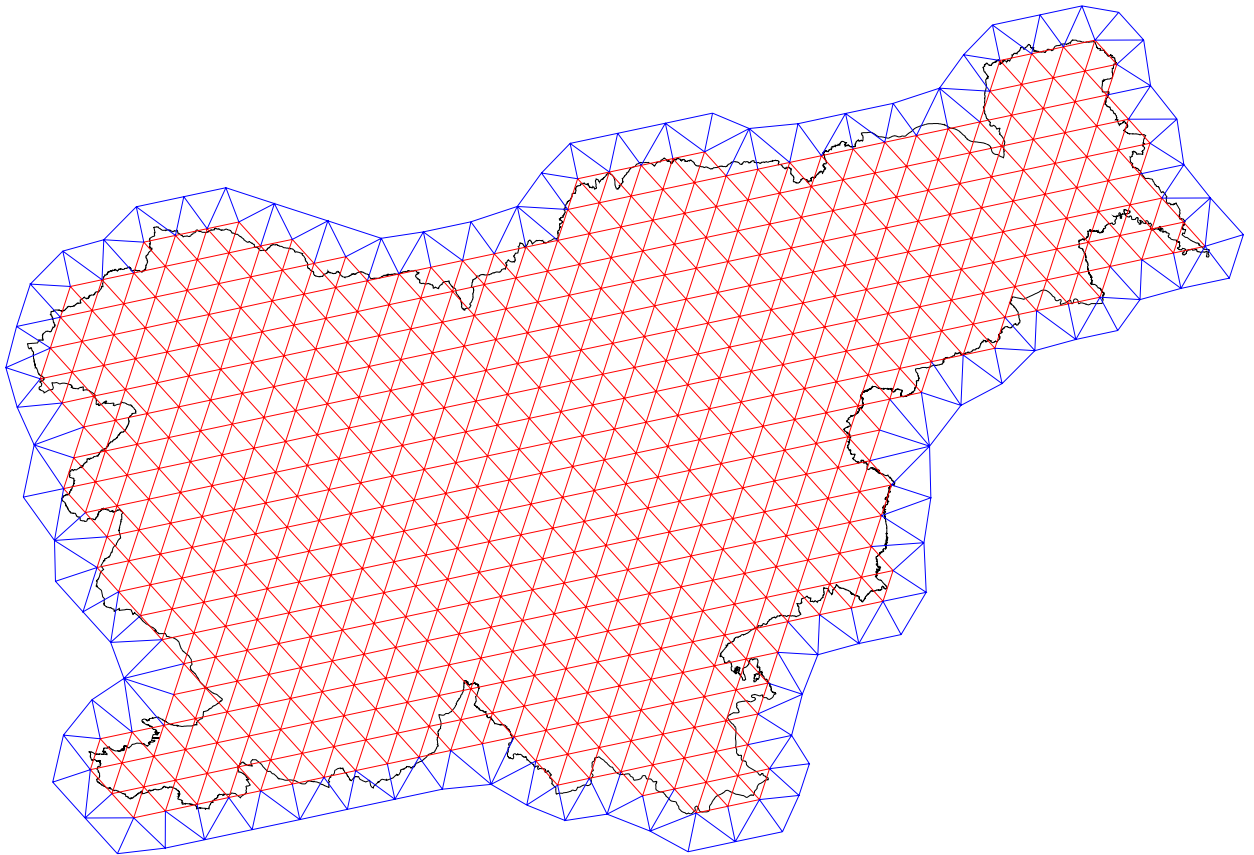
$$(28 \cdot x^2 + 22) \cdot \arctan(2 \cdot x) + (36 \cdot x^2 + 12) \cdot \arctan(x) - \pi \cdot (20 \cdot x^2 + 11) = 0$$

Enačbo rešimo numerično:

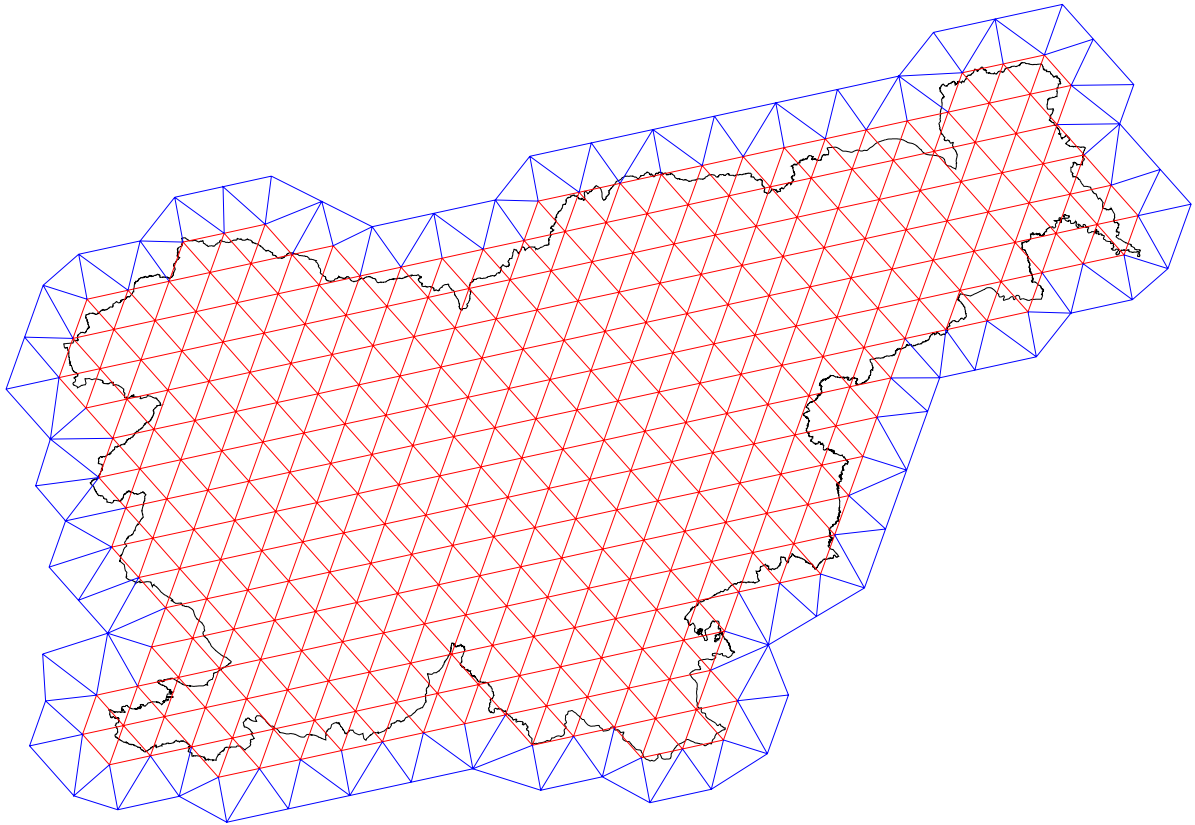
$$x \approx 1,108595431 \quad \text{oziroma}$$

$$x \approx 1,1 .$$

Širina vsakega naslednjega pasu je torej enaka dolžini stranice trikotnika na prejšnjem obodu, pomnoženi z  $x$ , kar pomeni, da sta optimalna konstrukcijska kota:  $\alpha \approx 47,9^\circ$  in  $\beta \approx 65,7^\circ$ .



*Slika 2.1-5: Pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$  (rdeče) in prvi razširitveni pas trikotnikov (modro), ki je konstruiran je ob upoštevanju optimalnega principa redčenja točk v razmerju 2 : 3.*

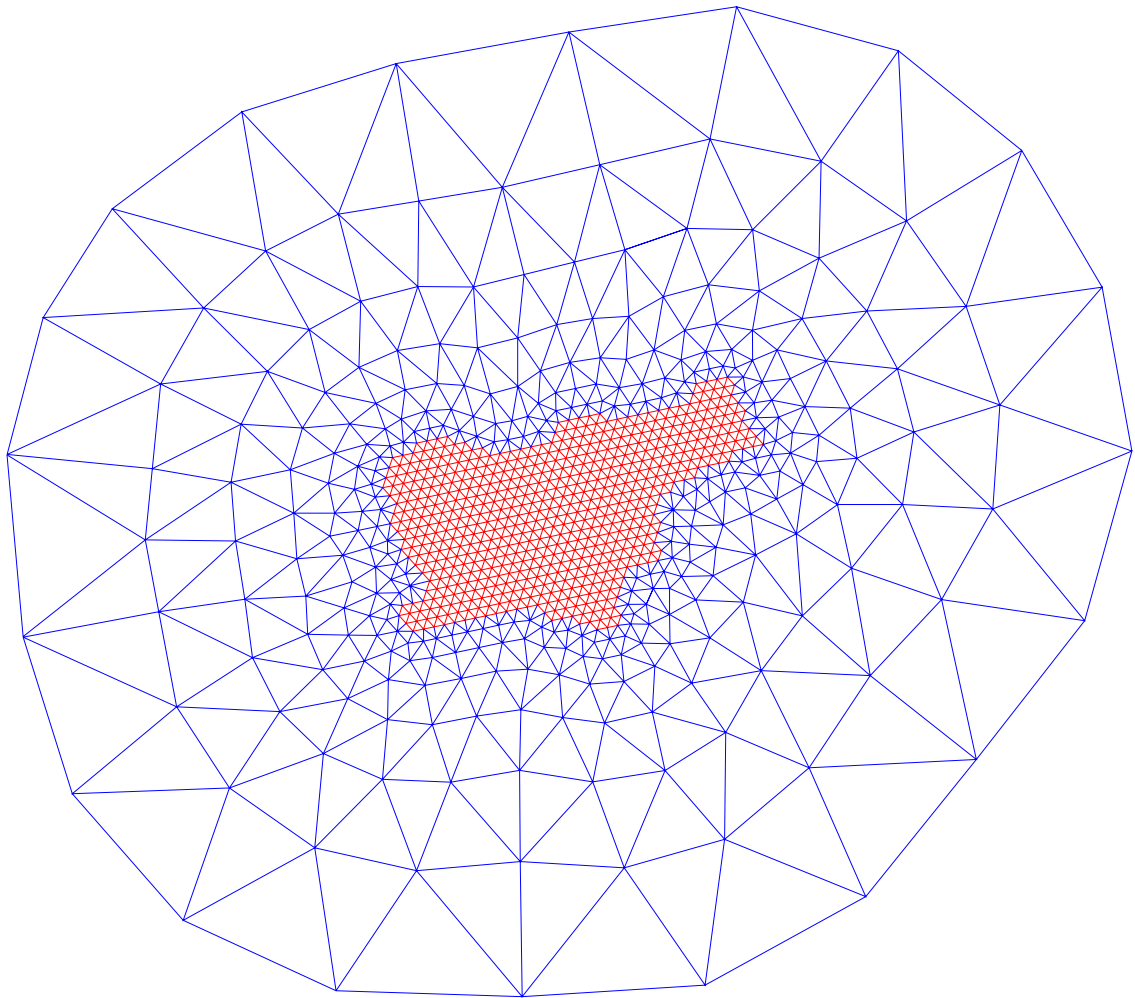


*Slika 2.1-6: Pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $40 \text{ km}^2$  (rdeče) in prvi razširitveni pas trikotnikov (modro), ki je konstruiran je ob upoštevanju optimalnega principa redčenja točk v razmerju 2 : 3.*

Konstrukcija razširitvenih pasov trikotnikov (sliki 2.1-5 in 2.1-6) torej temelji na načelu optimalnega redčenja točk v razmerju 2 : 3. Vendar pa ima rob območja tudi lome, zato tvorba razširitvenega pasu zahteva tudi ročno konstruiranje. Ročna konstrukcija razširitvenih pasov je bila izvedena ob upoštevanju naslednjih pravil:

- širina vsakega naslednjega pasu je približno enaka (povprečni) dolžini stranice trikotnika na prejšnjem obodu, pomnoženi z  $x$  ( $\approx 1,1$ );
- trikotniki, dobljeni z Delaunayjevo triangulacijo, so vedno ostrokotni ali kvečjemu pravokotni – noben kot trikotnika ne presega  $\pi/2$  ( $90^\circ$ );
- razmaki med točkami (dolžine stranic trikotnikov) na novotvorjenem obodnem poligonu so kot se le da enakomerni;
- novotvorjeni obodni poligoni so vse bolj konveksne oblike – zadnji je tudi dejansko konveksen.

Drugo in tretje pravilo se nanašata na izbor pomožnih virtualnih veznih točk vsakokratnega novotvorjenega obodnega poligona, zadnje pravilo pa določa kriterij za število razširitvenih pasov – pogoj je, da z zadnjim obodnim poligonom dosežemo konveksnost (sliki 2.1-7 in 2.1-8).



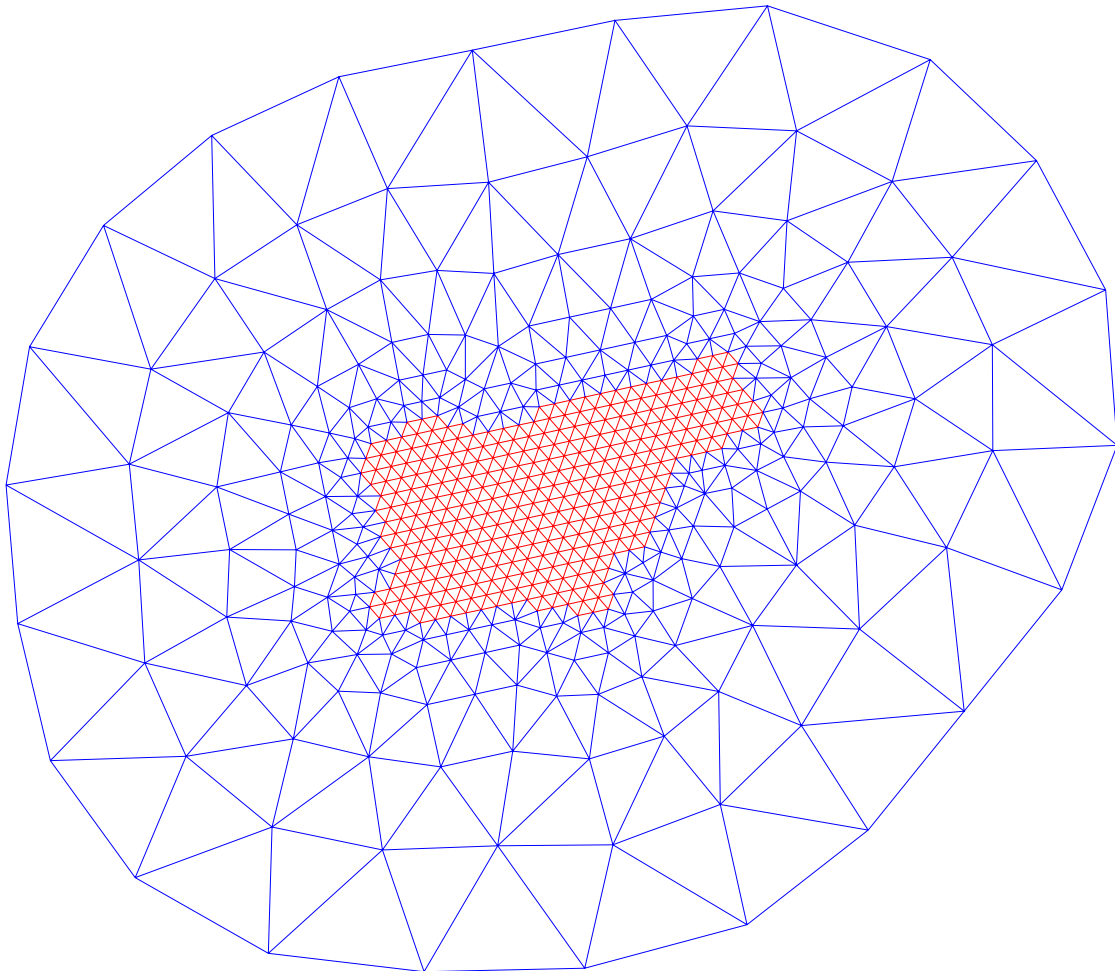
*Slika 2.1-7: Pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$  (rdeče) ter sedem ročno konstruiranih razširitvenih pasov trikotnikov (modro) – zadnji oz. zunanji obod območja transformacije je konveksen.*

Skupaj dobimo **899 virtualnih veznih točk**, in sicer:

- **479 točk** znotraj pravilne mreže trikotnikov; označene so z zaporedno številko {1, 2, 3 ... 479}
- **115 točk** na obodu pravilne mreže trikotnikov (0. obod območja); označene so s črko A in zaporedno številko {A1, A2, A3 ... A115}
- **82 točk** na obodu 1. razširitvenega pasu (1. obod območja); označene so s črko B in zaporedno številko {B1, B2, B3 ... B82}
- **62 točk** na obodu 2. razširitvenega pasu (2. obod območja); označene so s črko C in zaporedno številko {C1, C2, C3 ... C62}
- **47 točk** na obodu 3. razširitvenega pasu (3. obod območja); označene so s črko D in zaporedno številko {D1, D2, D3 ... D47}
- **37 točk** na obodu 4. razširitvenega pasu (4. obod območja); označene so s črko E in zaporedno številko {E1, E2, E3 ... E37}
- **31 točk** na obodu 5. razširitvenega pasu (5. obod območja); označene so s črko F in zaporedno številko {F1, F2, F3 ... F31}
- **26 točk** na obodu 6. razširitvenega pasu (6. obod območja); označene so s črko G in zaporedno številko {G1, G2, G3 ... G26}
- **20 točk** na obodu 7. razširitvenega pasu (7. oziroma zunanji obod območja); označene so s črko H in zaporedno številko {H1, H2, H3 ... H20}



Z Delaunayjevo triangulacijo 899-ih virtualnih veznih točk dobimo 1776 trikotnikov. Površina celotnega območja (upoštevaje zunanji – 7. obod) je 358.504,34 km<sup>2</sup> (v D96/TM), kar je približno 18-kratnik površine države.



*Slika 2.1-8: Pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 40 km<sup>2</sup> (rdeče) ter šest ročno konstruiranih razširitvenih pasov trikotnikov (modro) – zadnji oz. zunanji obod območja transformacije je konveksen.*

Skupaj dobimo **550 virtualnih veznih točk**, in sicer:

- **250 točk** znotraj pravilne mreže trikotnikov; označene so z zaporedno številko {1, 2, 3 ... 250}
- **80 točk** na obodu pravilne mreže trikotnikov (0. obod območja); označene so s črko A in zaporedno številko {A1, A2, A3 ... A80}
- **62 točk** na obodu 1. razširitvenega pasu (1. obod območja); označene so s črko B in zaporedno številko {B1, B2, B3 ... B62}
- **45 točk** na obodu 2. razširitvenega pasu (2. obod območja); označene so s črko C in zaporedno številko {C1, C2, C3 ... C45}
- **39 točk** na obodu 3. razširitvenega pasu (3. obod območja); označene so s črko D in zaporedno številko {D1, D2, D3 ... D39}
- **28 točk** na obodu 4. razširitvenega pasu (4. obod območja); označene so s črko E in zaporedno številko {E1, E2, E3 ... E28}
- **24 točk** na obodu 5. razširitvenega pasu (5. obod območja); označene so s črko F in zaporedno številko {F1, F2, F3 ... F24}
- **22 točk** na obodu 6. razširitvenega pasu (6. oziroma zunanji obod območja); označene so s črko G in zaporedno številko {G1, G2, G3 ... G22}



Z Delaunayjevo triangulacijo 550-ih virtualnih veznih točk dobimo 1076 trikotnikov. Površina celotnega območja (upoštevaje zunanji – 6. obod) je 322.445,10 km<sup>2</sup> (v D96/TM), kar je približno 16-kratnik površine države.

Tudi koordinate razširitvenih virtualnih veznih točk za obe predstavljeni različici (s površinama trikotnikov 20 km<sup>2</sup> in 40 km<sup>2</sup>) so določene v D96/TM in zaokrožene na cela števila, tj. na cel meter. Razlog je bil že naveden.

#### **2.1.4 Določitev referenčnih površin ETRS-točk**

Osnova za določitev (izbor) veznih točk v nizih veznih točk RAZLIČICA 1.0 in RAZLIČICA 2.0 je bil celoten niz točk s kakovostno določenimi ravninskimi koordinatami v starem in novem državnem ravninskem koordinatnem sistemu (D48/GK in D96/TM) – tako imenovane ETRS-točke. Na podlagi zadnje zgostitve je ta niz vseboval 1963 točk, ki so bile tudi ustrezno preverjene – točke z grobimi odkloni od trenda v neposredni okolici dane točke so bile iz tega niza izločene (Razvoj DGS 2008, str. 27). Izmed teh točk jih je bilo izločenih še pet (pod zap. št. 128, 482, 808, 1187 in 1915); tri izmed njih se nahajajo zunaj državne meje. Tako je bil v nadaljevanju uporabljen niz 1958-ih ETRS-točk.

Glede danega niza ETRS-točk je treba obravnavati predvsem dva vidika, ki vplivata na končno kakovost izbranih veznih točk:

- različna kakovost ETRS-točk in
- različna gostota ETRS-točk na posameznih območjih države.

Različna in težko ocenljiva kakovost ETRS-točk je bila poleg slabih (ostrih) trikotnikov pri uporabi dejanskih ETRS-točk kot veznih točk glavni razlog za odločitev o uporabi pravilne mreže virtualnih veznih točk – vpliv slabše kakovosti posameznih veznih točk je tako delno odstranjen s povprečenjem.

Realno kakovost posameznih ETRS-točk je precej težko oceniti zgolj iz analiz odstopanj na podlagi optimalno določenih transformacij v neposrednih okolih točk, saj imamo opravka s koordinatnim sistemom nehomogene natančnosti (D48/GK) – del dobljenega odstopanja je tako posledica slednjega; s transformacijo vsebino razpačujemo.

Problem pa je tudi različna gostota ETRS-točk. Pri določanju optimalnih transformacij na danem območju – npr. v neposredni okolici neke točke – je namreč lahko rezultat zelo nerealen, če so točke v tej »okolici« neenakomerno razporejene. Območja z večjo gostoto ETRS-točk imajo tako pri določitvi optimalnih transformacijskih parametrov »večjo težo«.

Osnovni parametri gostote in razporeditve niza vseh ETRS-točk so:  
(Razvoj DGS 2008, str. 27)

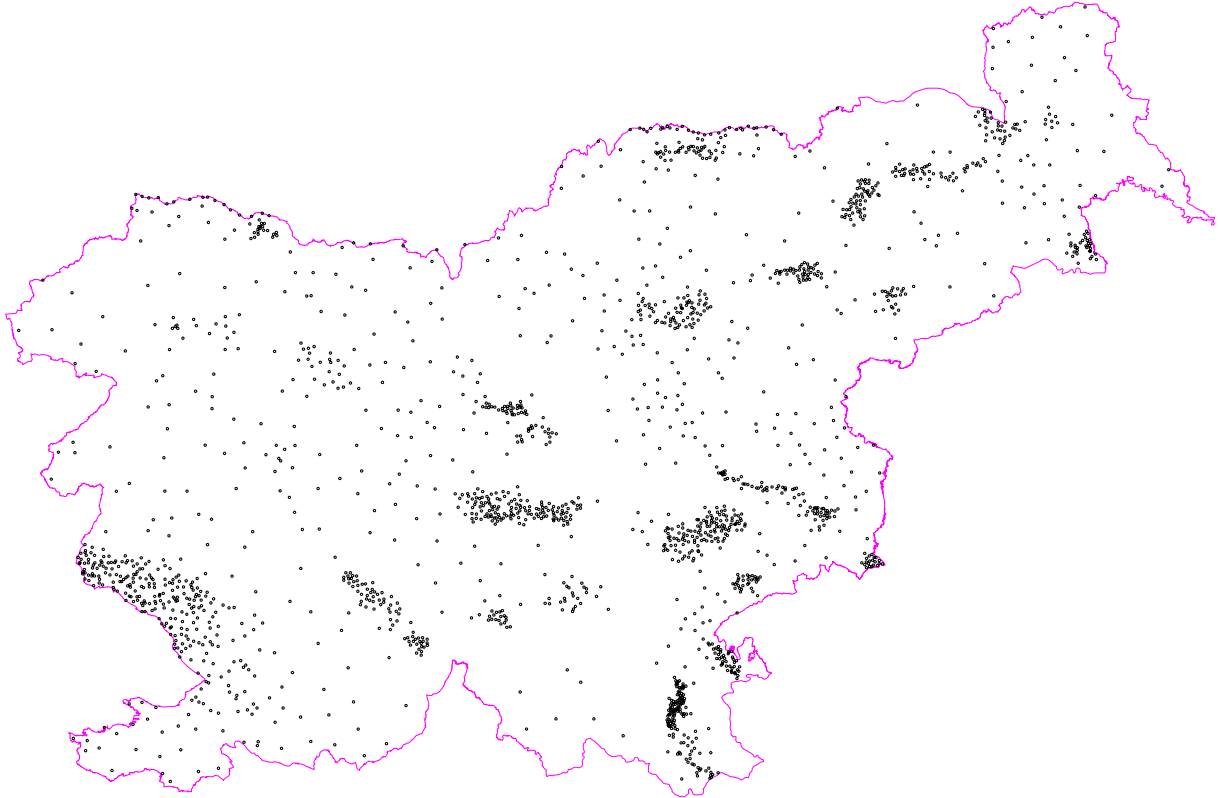
v D48/GK:

- najmanjša razdalja do najbližje sosednje točke v nizu = 69,377 m
- največja razdalja do najbližje sosednje točke v nizu = 11.608,412 m
- povprečna razdalja do najbližje sosednje točke v nizu = 1.480,667 m

v D96/TM:

- najmanjša razdalja do najbližje sosednje točke v nizu = 69,410 m
- največja razdalja do najbližje sosednje točke v nizu = 11.608,449 m
- povprečna razdalja do najbližje sosednje točke v nizu = 1.480,683 m

Razporeditev ETRS-točk je vidna na sliki 2.1-9.



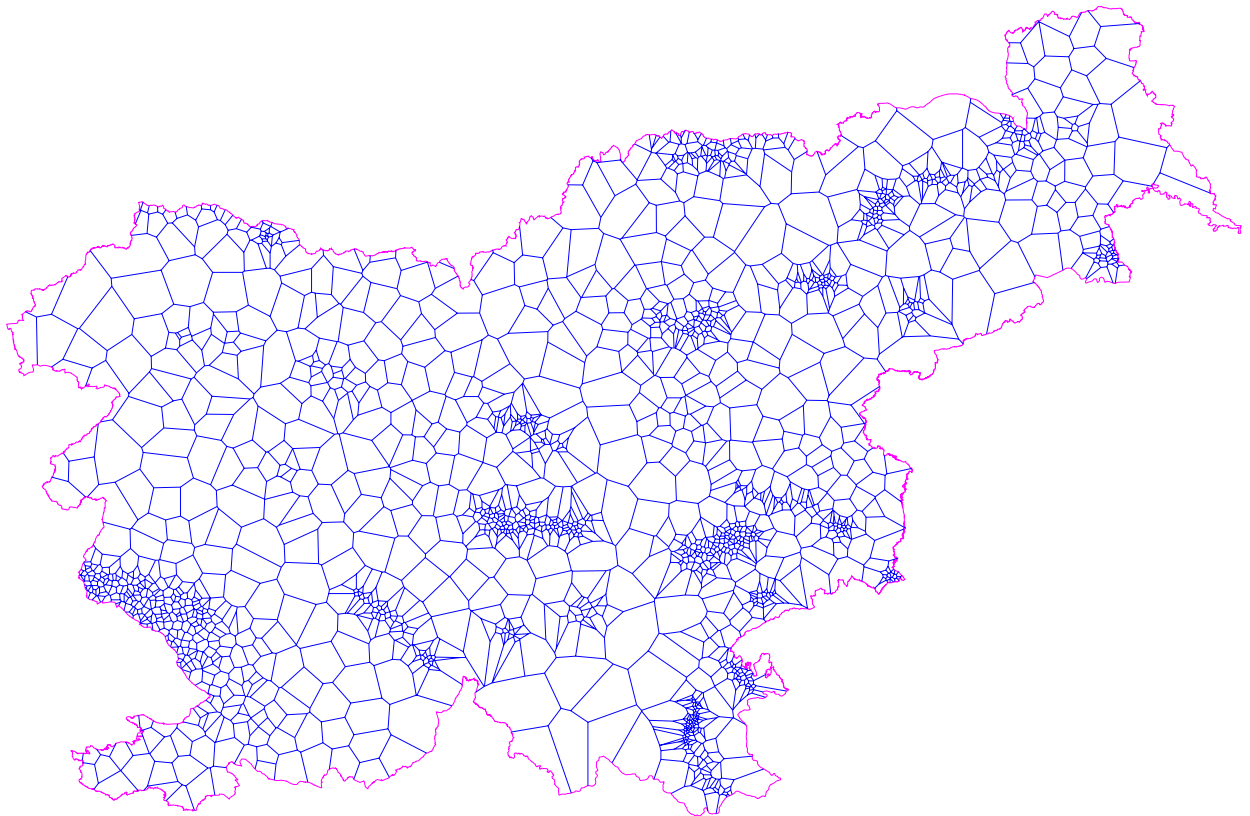
*Slika 2.1-9: 1958 razpoložljivih ETRS-točk, ki so bile uporabljene za določanje virtualnih veznih točk za trikotniško transformacijo.*

#### Referenčna površina ETRS-točke (kot parameter uteži)

Za ustrezno upoštevanje gostote točk je bilo izbrano načelo, da:

- vsaka ETRS-točka »zastopa« območje, ki je tej točki najbližje.

Postopek določitve območij, ki so najbližje danemu nizu točk, se imenuje Veronojeva teselacija. Za vsako ETRS-točko je bil torej določen t. i. Veronojev poligon (glej npr. Razvoj DGS 2008, str. 37); pri tem se nezaključena robna območja zaključijo z državno mejo oziroma morsko obalo (slika 2.1-10).



*Slika 2.1-10: 1958 Veronojevih poligonov za prav toliko razpoložljivih ETRS-točk; površina Veronojevega območja je referenčna površina ETRS-točke.*

Kot parameter uteži posamezne ETRS-točke je bila vzeta površina njenega Veronojevega poligona, ki jo tu imenujemo **referenčna površina**. Vsota tako določenih referenčnih površin vseh ETRS-točk je kar skupna površina države. Na ta način je pri določanju transformacijskih parametrov za poljuben del države (ali pa za celotno območje države – državni parametri) vpliv posameznih ETRS-točk takšen, da vsak del državnega ozemlja enakovredno vpliva na dolčitev parametrov optimalne transformacije, in sicer neglede na gostoto razpoložljivih ETRS-točk na različnih območjih države.

Lastnosti Veronojevih poligonov okoli ETRS-točk so:

- da omejujejo območja, ki so dani točki najbližje, torej območja, za katera je dana ETRS-točka najbolj upoštevanja vredna;
- konveksnost – vsi Veronojevi poligoni so konveksne oblike (razen seveda tistih, ki jih deloma omejuje državna meja ali morska obala);
- vsi lomi Veronojevih poligonov so hkrati vozlišča, praviloma stičišča treh poligonov, izjemoma tudi večih;
- vsi lomi Veronojevih poligonov so središča Delaunayjevim trikotnikom očrtanih krogov (slednji se nanašajo na triangulacijo dane množice ETRS-točk).

### Prva različica uteži ETRS-točk

ETRS-točke so brez uteži, kar dejansko pomeni, da je utež za vse enaka, in sicer 1.

### Druga različica uteži ETRS-točk

Utež ETRS-točke je površina njenega Veronojevega območja, torej referenčna površina. Kot enota uteži je izbrana površina  $10 \text{ km}^2$  oziroma 1.000 ha. Enota je izbrana tako, da je povprečna utež ETRS-točk okoli 1 (natančno: 1,035). Največjo utež ima ETRS-točka 2027, in sicer 13,854 (površina njenega Veronojevega poligona je  $138,54 \text{ km}^2$ ), najmanjšo utež pa ima ETRS-točka 265, in sicer 0,012 (površina njenega Veronojevega poligona je  $0,12 \text{ km}^2$  oziroma 12 ha). Razmerje med najmanjšo in največjo utežjo je približno 1 : 1.150, razmerje med povprečno in največjo utežjo pa je približno 1 : 13. Uteži so zaokrožene na tri decimalna mesta (tj. površine Veronojevih območij so zaokrožene na hektar).

### Tretja različica uteži ETRS-točk

Utež je kombinacija dveh uteži; prva je vzeta kar iz druge različice. Druga utež je odvisna od oddaljenosti ETRS-točke od izbrane virtualne vezne točke – gre za vpeljavo uteži v obratnem sorazmerju z oddaljenostjo od točke (angl. inverse distance weighting). Kot enota oddaljenosti je bila izbrana dolžina 1 km. Najmanjša oddaljenost virtualne vezne točke od katerekoli ETRS-točke je:

- v prvi različici izbora virtualnih veznih točk (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$ ): 103,131 m (razdalja med virtualno vezno točko 267 in ETRS-točko 722) in
- v drugi različici izbora virtualnih veznih točk (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $40 \text{ km}^2$ ): 102,212 m (razdalja med virtualno vezno točko 250 in ETRS-točko 902).

Deljenje z 0 je torej izključeno. Največjo (drugo) utež ima ETRS-točka 902, in sicer ob izboru v neposredno okolico virtualne vezne točke 250 v okviru druge različice izbora virtualnih veznih točk, ko ta znaša 9,784. Končna utež je torej kvocient:

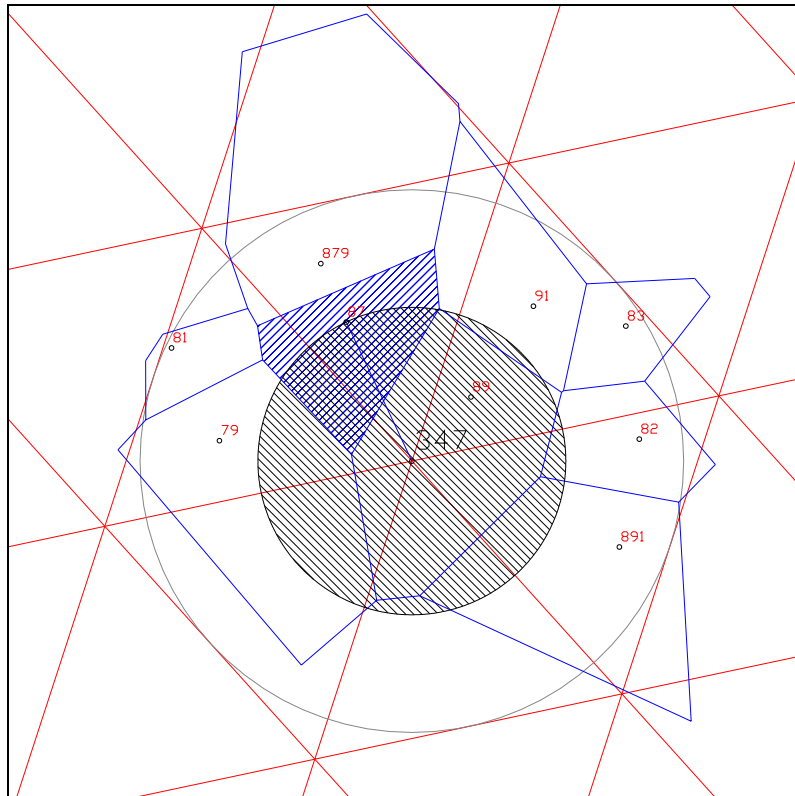
- referenčne (Veronojeve) površine ETRS-točke in
- oddaljenosti ETRS-točke od izbrane virtualne vezne točke.

### Četrta različica uteži ETRS-točk

Utež je kombinacija dveh uteži; prva je vzeta kar iz druge različice. Druga utež je odvisna od oddaljenosti ETRS-točke od izbrane virtualne vezne točke, vendar je tokrat po razsežnosti in enoti usklajena s prvo. Končna utež je kvocient:

- referenčne (Veronojeve) površine ETRS-točke in
- površine kroga, katerega polmer določata ETRS-točka in izbrana virtualna vezna točka.

Dejansko gre za podobno določeno utež kot v tretji različici, le da je tokrat utež obratnosorazmerna s kvadratom oddaljenosti ETRS-točke od izbrane virtualne vezne točke – ETRS-točke v neposredni bližini virtualne vezne točke tako dobijo še večjo težo.



Slika 2.1-11: Primer določitve uteži ETRS-točke 87 v neposredni okolici virtualne vezne točke 347; pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$  je v rdeči barvi, doseg neposredne okolice s polmerom  $5.885 \text{ m}$  je v sivi barvi, referenčna površina (Veronjov poligon) ETRS-točke je šrafiran v modri barvi, krog s polmerom, enakim oddaljenosti ETRS-točke, je šrafiran v črni barvi; utež ETRS-točke je kvocient obeh šrafiranih površin – v našem primeru  $0,258453$ ; v neposredno okolico virtualne vezne točke 347 so izbrane še ETRS-točke 79, 81, 82, 83, 89, 91, 879 in 891.

### 2.1.5 Določitev optimalnega polmera neposredne okolice veznih točk in optimalnega niza virtualnih veznih točk

Optimalni polmeri neposrednih okolice virtualnih veznih točk so bili empirično določeni za:

- dano (vnaprej izbrano) gostoto virtualnih veznih točk, torej posebej za
  - prvo različico (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$ ) in
  - drugo različico (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $40 \text{ km}^2$ ).

Določeni so bili:

- **osnovni testni polmeri** – izbrani za določitev neposrednih okolice veznih točk v notranjosti izbrane pravilne trikotniške mreže in
- **obodni testni polmeri** – izbrani za določitev neposrednih okolice veznih točk na obodih posameznih razširitvenih pasov.

Upoštevani so bili naslednji kriteriji za določitev optimalnega polmera neposrednih okolice virtualnih veznih točk:

- **vsaka ETRS-točka naj bo vsaj enkrat uporabljena;**
- **v vsaki neposredni okolici virtualne vezne točke naj bo zagotovljeno neko minimalno število ETRS-točk (možnost izravnave);**
- **v vsaki neposredni okolici virtualne vezne točke naj bo zagotovljena neka minimalna vsota referenčnih površin ETRS-točk (reprezentativnost);**
- **ETRS-točke naj bodo obravnavane čimbolj enakovredno;**
- **odstopanja na vseh ETRS-točkah naj bodo po izvedeni transformaciji čimmanjša.**

#### Pogoj uporabe vseh ETRS-točk

Pogoj uporabe vseh ETRS-točk (prva krepka alineja) je dejansko prvi kriterij za najmanjši dopustni polmer neposrednih okolice veznih točk. Ta kriterij je odvisen izključno od dolžine stranice v izbrani pravilni trikotniški mreži. Dejansko zahteva, da naj bo vsaka ETRS-točka vsaj enkrat uporabljena (tj. da naj bo izbrana v vsaj eno neposredno okolico virtualne vezne točke). Izkaže se (glej preglednico 2.1-1, mejni polmer  $R_2$ ), da mora veljati

$$R > \frac{a}{\sqrt{3}},$$

kjer je  $a$  dolžina stranice osnovnega trikotnika v pravilni trikotniški mreži. Kriterij za najmanjši dopustni polmer za prvo različico (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$  oziroma dolžino stranice trikotnika  $a' = 6.796,18 \text{ m}$ ) je tako

$$R_{min1} = 3.923,78 \text{ m} (= 0,57735 \cdot a'),$$

za drugo različico (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $40 \text{ km}^2$  oziroma dolžino stranice trikotnika  $a'' = 9.611,25 \text{ m}$ ) pa

$$R_{min2} = 5.549,06 \text{ m} (= 0,57735 \cdot a'').$$

#### Pogoj minimalnega števila ETRS-točk v neposrednih okolice veznih točk

Pogoj minimalnega števila ETRS-točk (druga krepka alineja) je dejansko drugi kriterij za najmanjši dopustni polmer neposrednih okolice veznih točk. Če želimo parametre na podlagi ETRS-točk iz neposredne okolice določati z izravnavo, rabimo vsaj tri ETRS-točke za ravninsko podobnostno transformacijo in vsaj štiri ETRS-točke za ravninsko afino transformacijo. Sicer je zaželeno, da je teh točk več. Najmanjši dopustni polmer je odvisen predvsem od gostote točk na z ETRS-točkami najrevnejših območjih, pa tudi od gostote in razporeditve točk izbrane mreže virtualnih veznih točk glede na razporeditev niza ETRS-točk, zato je določen empirično in posebej za prvo in drugo različico pravilne trikotniške mreže.

Za pogoj minimalnega števila ETRS-točk v neposrednih okolice veznih točk sta bila izbrana najmanjša polmera, ko je število dobljenih ETRS-točk vsaj štiri – le-to še omogoča izravnavo tudi za ravninsko afino transformacijo. Polmera sta zaokrožena na cel meter. Za točke osnovne mreže v prvi različici (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$ ) je ta polmer

$$R_{min1} = 14.596 \text{ m ,}$$

za točke osnovne mreže v drugi različici (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $40 \text{ km}^2$ ) pa

$$R_{min2} = 16.034 \text{ m .}$$

Ker je drugi pogoj (vsaj štirih ETRS-točk v neposrednih okolih veznih točk) za obe različici pravilnih trikotniških mrež strožji, se v nadaljevanju kot absoluten upošteva pogoj uporabe vseh ETRS-točk, pogoj minimalnega števila ETRS-točk pa se upošteva po potrebi za vsako okolico posebej – njen polmer se ustrezno poveča.

#### Pogoj minimalne vsote referenčnih površin ETRS-točk v neposrednih okolih veznih točk

Pogoj minimalne vsote referenčnih površin ETRS-točk (tretja krepka alineja) je dejansko tretji kriterij za najmanjši dopustni polmer neposrednih okolic veznih točk. Če želimo, da bodo izbrane ETRS-točke iz neposredne okolice dejansko reprezentativne, naj bi se velikost območja, ki ga predstavljajo, približno ujemalo z velikostjo kroga, ki ga določa dolžina izbranega testnega polmera.

Vpeljimo pojem **reprezentativna površina neposredne okolice**. To je površina, ki jo dobimo kot vsoto referenčnih površin vseh v neposredno okolico izbranih ETRS-točk – pri danem testnem polmeru seveda.

Za pogoj minimalne vsote referenčnih površin ETRS-točk v neposrednih okolih veznih točk je bil določen kriterij, da naj reprezentativna površina neposredne okolice vsaj dosega površino kroga, ki ga določa izbrani testni polmer. Če ta pogoj ni izpolnjen, se dejansko uporabljeni polmer temu ustrezno poveča.

Ker je tretji pogoj (da reprezentativna površina neposredne okolice vsaj dosega površino osnovnega kroga za izbor ETRS-točk v neposredno okolico) za obe različici pravilnih trikotniških mrež najstrožji, se v nadaljevanju upošteva zgolj v primerih, ko prva dva pogoja ne zadoščata.

#### Kriterij čimbolj enakovredne obravnave ETRS-točk

Kriterij čimbolj enakovredne obravnave ETRS-točk se nanaša predvsem na izbor osnovnega testnega polmera, torej polmera znotraj izbrane pravilne trikotniške mreže. Izbor obodnih testnih polmerov (za vsak obod posebej) je nato določen v odvisnosti od prvega.

#### Izbor osnovnih testnih polmerov

Čimbolj enakovredna obravnava ETRS-točk (četrti krepka alineja) pomeni, da naj bo vsaka ETRS-točka vključena v približno enako število neposrednih okolic veznih točk. Natančneje povedano: razmerje razlike med največjim in najmanjšim številom okolic ter najmanjšim številom okolic, v katere je lahko izbrana ETRS-točka naj bo čimmanjše; število uporab posameznih ETRS-točk (tj. kolikokrat je bila ETRS-točka uporabljena) naj čimmanj variira. Kriterij čimbolj enakovredne obravnave ETRS-točk lahko imenujemo tudi kriterij optimalnega preklopa izbranih okolic. Preklop naj bi bil takšen, da bi vse točke padle v približno enako število okolic virtualnih veznih točk – torej, da bi bile vse ETRS-točke približno enakokrat uporabljene.

Za določitev najugodnejših polmerov okolic veznih točk, tj. polmerov, pri katerih je variiranje uporabe ETRS-točk najmanjše, so bile upoštevane geometrijske lastnosti pravih trikotniških mrež. Rešitev za zgoraj predstavljeni problem lahko namreč podamo v grafični obliki (diagram 2.1-1).

Kako poiščemo mejne polmere, to je polmere, pri katerih se spremeni najmanjše ali pa največje število točk v pravilni trikotniški mreži, ki so na dosegu s poljubne točke znotraj mreže? Takšen mejni polmer je lahko:

- ali razdalja med neko točko na razpolovišču veznice dveh poljubnih točk pravilne mreže in katerokoli izmed izbranih točk (polovična dolžina veznice dveh točk mreže)
- ali pa razdalja med točko v središču krožnice, ki vsebuje tri poljubne točke pravilne mreže, in katerekoli izmed treh točk na krožnici (polmer krožnice skozi tri točke mreže).

Da se pokazati, da so za prvi primer (polovične razdalje med pari točk) v pravilni trikotniški mreži vsi kandidati za mejne polmere

$$R_{i,j} = \sqrt{i^2 + j^2 + i \cdot j} / 2 \quad \dots \quad i, j \in \mathbb{N}_0 \quad \& \quad i \leq j,$$

Za drugi primer (polmeri krožnic skozi tri točke) so formule precej bolj komplicirane. Gre za polmere očrtanih krogov trikotnikov, pri čemer so dolžine stranic teh trikotnikov dvakratne dolžine dobljene po zgornjih formulah.

Z razvrstitvijo vseh dobljenih polmerov po velikosti, dobimo urejeno množico vseh kandidatov za singularne točke grafa dosega točk v pravilni trikotniški mreži. Dejanski razpon števila točk na dosegu za vsak tak polmer ugotovimo na osnovi ustreznega grafičnega prikaza (diagram 2.1-1).



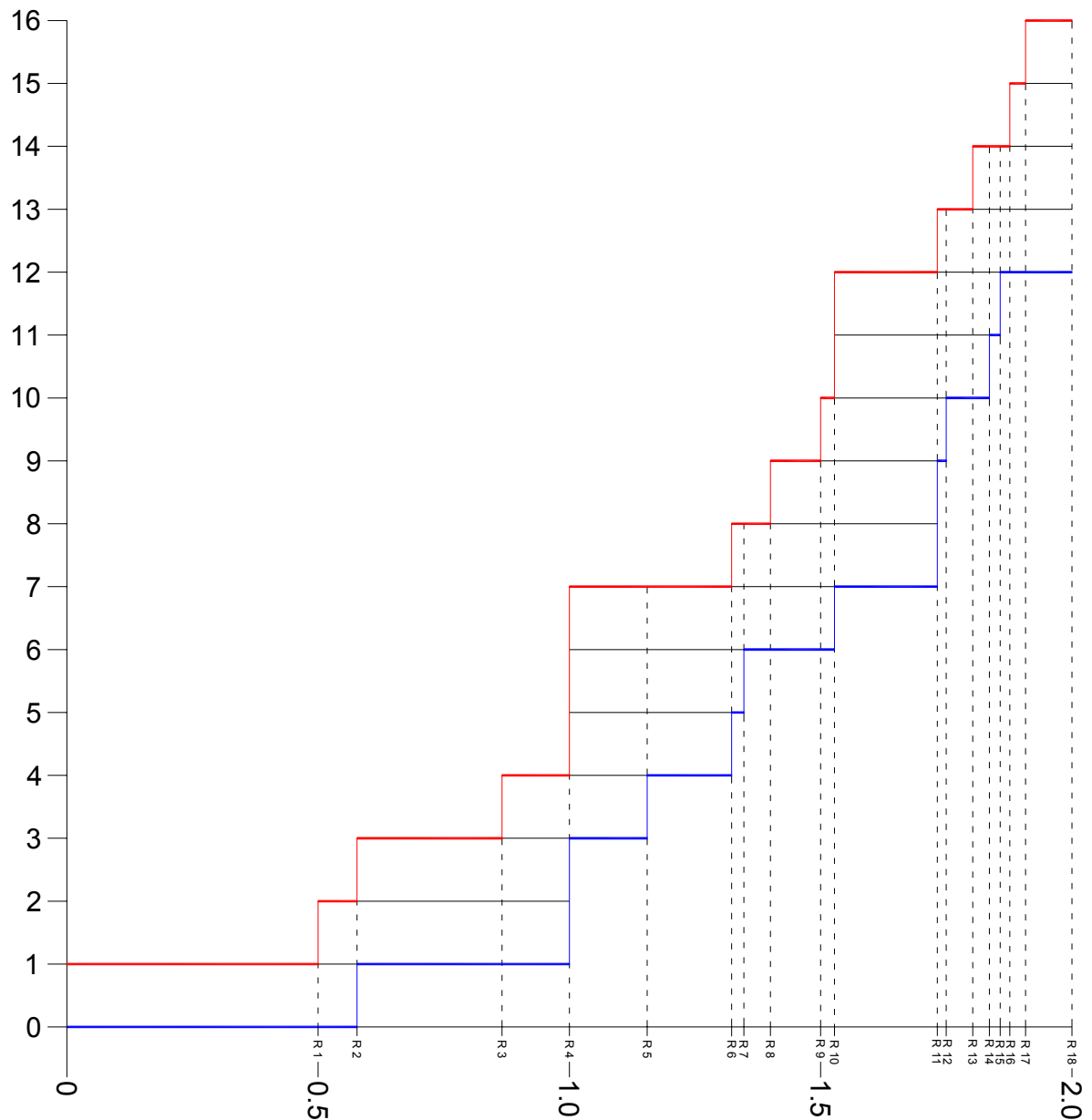


Diagram 2.1-1: Najmanjše in največje število točk v pravilni trikotniški mreži znotraj poljubno postavljenega kroga z danim polmerom ( $R$ ) – enota je stranica osnovnega trikotnika mreže (a); spodnji (moder) graf prikazuje najmanjše število točk, zgornji (rdeč) graf pa največje število točk znotraj kroga.

Točne vrednosti posameznih mejnih polmerov ( $R_1$ – $R_{18}$ ) na intervalu  $[0, 2]$  iz zgorjnjega diagrama so podane v preglednici 2.1-1.

R 0	0	0	$0 \leq N \leq 1$
R 1	$1/2$	0,50000000	$0 \leq N \leq 2$
R 2	$1/\sqrt{3}$	0,57735027	$1 \leq N \leq 3$
R 3	$\sqrt{3}/2$	0,86602540	$1 \leq N \leq 4$
R 4	1	1,00000000	$3 \leq N \leq 7$
R 5	$2/\sqrt{3}$	1,15470054	$4 \leq N \leq 7$
R 6	$\sqrt{7}/2$	1,32287566	$5 \leq N \leq 8$
R 7	$7\sqrt{3}/9$	1,34715063	$6 \leq N \leq 8$
R 8	$7/5$	1,40000000	$6 \leq N \leq 9$
R 9	$3/2$	1,50000000	$6 \leq N \leq 10$
R 10	$\sqrt{7/3}$	1,52752523	$7 \leq N \leq 12$
R 11	$\sqrt{3}$	1,73205081	$9 \leq N \leq 13$
R 12	$7/4$	1,75000000	$10 \leq N \leq 13$
R 13	$\sqrt{13}/2$	1,80277564	$10 \leq N \leq 14$
R 14	$\sqrt{273}/9$	1,83585685	$11 \leq N \leq 14$
R 15	$13/7$	1,85714286	$12 \leq N \leq 14$
R 16	$13\sqrt{3}/12$	1,87638837	$12 \leq N \leq 15$
R 17	$\sqrt{91}/5$	1,90787840	$12 \leq N \leq 16$
R 18	2	2,00000000	

*Preglednica 2.1-1: Točne mejne vrednosti polmera (R) iz diagrama 2.1-1 – polmeri v enotah stranice osnovne celice mreže, pri katerih se spremeni najmanjše ali pa največje število točk znotraj kroga (N).*

Mera za ugodnost razmerja med najmanjšim in največjim številom (virtualnih veznih) točk na dosegu (z dane ETRS-točke) je kar razmerje razlike med največjim in najmanjšim številom točk na dosegu ter najmanjšim številom točk na dosegu, torej

$$r = \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{min}}$$

oziroma to razmerje izraženo v % (tj. za koliko odstotkov največje število točk na dosegu presega najmanjše število točk na dosegu). Prikaz tega razmerja za posamezne intervale izbranega polmera (R) je v preglednici 2.1-2.

R 0			
R 1	$0 \leq N \leq 1$	$\infty$	$\infty$
R 2	$0 \leq N \leq 2$	$\infty$	$\infty$
R 3	$1 \leq N \leq 3$	<b>2,00000000</b>	<b>200,00 %</b>
R 4	$1 \leq N \leq 4$	3,00000000	300,00 %
R 5	$3 \leq N \leq 7$	1,33333333	133,33 %
R 6	$4 \leq N \leq 7$	0,75000000	75,00 %
R 7	$5 \leq N \leq 8$	0,60000000	60,00 %
R 8	$6 \leq N \leq 8$	<b>0,33333333</b>	<b>33,33 %</b>
R 9	$6 \leq N \leq 9$	0,50000000	50,00 %
R 10	$6 \leq N \leq 10$	0,66666667	66,67 %
R 11	$7 \leq N \leq 12$	0,71428571	71,43 %
R 12	$9 \leq N \leq 13$	0,44444444	44,44 %
R 13	$10 \leq N \leq 13$	<b>0,30000000</b>	<b>30,00 %</b>
R 14	$10 \leq N \leq 14$	0,40000000	40,00 %
R 15	$11 \leq N \leq 14$	0,27272727	27,27 %
R 16	$12 \leq N \leq 14$	<b>0,16666667</b>	<b>16,67 %</b>
R 17	$12 \leq N \leq 15$	0,25000000	25,00 %
R 18	$12 \leq N \leq 16$	0,33333333	33,33 %

*Preglednica 2.1-2: Razmerje razlike med največjim in najmanjšim številom točk na dosegu ter najmanjšim številom točk na dosegu – vsi lokalni minimumi tega razmerja (tj. najugodnejša razmerja) na intervalu [0, 2] so označeni krepko.*

S pomočjo dobljenih štirih najugodnejših intervalov (preglednica 2.1-2) so bili izbrani testni polmeri za empirično določitev optimalnega polmera neposredne okolice virtualne vezne točke.

Prva različica (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 20 km<sup>2</sup>)

1. ugodni interval za testni polmer:

$$R_2 < R < R_3 \rightarrow \frac{a'}{\sqrt{3}} < R < \frac{a' \cdot \sqrt{3}}{2} \rightarrow 3.923,77 \text{ m} < R < 5.885,67 \text{ m}$$

2. ugodni interval za testni polmer:

$$R_7 < R < R_8 \rightarrow \frac{7 \cdot a' \cdot \sqrt{3}}{9} < R < \frac{7 \cdot a'}{5} \rightarrow 9.155,47 \text{ m} < R < 9.514,66 \text{ m}$$

3. ugodni interval za testni polmer:

$$R_{12} < R < R_{13} \rightarrow \frac{7 \cdot a'}{4} < R < \frac{a' \cdot \sqrt{13}}{2} \rightarrow 11.893,31 \text{ m} < R < 12.251,99 \text{ m}$$

4. (naj)ugodn(ejš)i interval za testni polmer:

$$R_{15} < R < R_{16} \rightarrow \frac{13 \cdot a'}{7} < R < \frac{13 \cdot a' \cdot \sqrt{3}}{12} \rightarrow 12.621,47 \text{ m} < R < 12.752,28 \text{ m}$$

Kot **testni polmeri** so izbrani vsi robni polmeri navedenih ugodnih intervalov (lokalni minimumi razlike med največjim in najmanjšim številom točk na dosegu in najmanjšim številom točk na dosegu), in sicer zaokroženi na cel meter:

**3.924 m, 5.885 m, 9.156 m, 9.514 m, 11.894 m, 12.251 m, 12.622 m, 12.752 m**

Druga različica (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 40 km<sup>2</sup>)

1. ugodni interval za testni polmer:

$$R_2 < R < R_3 \rightarrow \frac{a''}{\sqrt{3}} < R < \frac{a'' \cdot \sqrt{3}}{2} \rightarrow 5.549,05 \text{ m} < R < 8.323,59 \text{ m}$$

2. ugodni interval za testni polmer:

$$R_7 < R < R_8 \rightarrow \frac{7 \cdot a'' \cdot \sqrt{3}}{9} < R < \frac{7 \cdot a''}{5} \rightarrow 12.947,80 \text{ m} < R < 13.455,75 \text{ m}$$

3. ugodni interval za testni polmer:

$$R_{12} < R < R_{13} \rightarrow \frac{7 \cdot a''}{4} < R < \frac{a'' \cdot \sqrt{13}}{2} \rightarrow 16.819,68 \text{ m} < R < 17.326,93 \text{ m}$$

4. (naj)ugodn(ejš)i interval za testni polmer:

$$R_{15} < R < R_{16} \rightarrow \frac{13 \cdot a''}{7} < R < \frac{13 \cdot a'' \cdot \sqrt{3}}{12} \rightarrow 17.849,46 \text{ m} < R < 18.034,44 \text{ m}$$

Kot **testni polmeri** so izbrani vsi robni polmeri ugotovljenih ugodnih intervalov (lokalni minimumi razlike med največjim in najmanjšim številom točk na dosegu in najmanjšim številom točk na dosegu), in sicer zaokroženi na cel meter:

**5.550 m, 8.323 m, 12.948 m, 13.455 m, 16.820 m, 17.326 m, 17.850 m, 18.034 m**

Po vrsti navedeni izbrani testni polmeri in razlike med njimi so podani v preglednici 2.1-3.

I	3.924	
II	5.550	1.626
I	5.885	335
II	8.323	2.438
I	9.156	833
I	9.514	358
I	11.894	2.380
I	12.251	357
I	12.622	371
I	12.752	130
II	12.948	196
II	13.455	507
II	16.820	3.365
II	17.326	506
II	17.850	524
II	18.034	184

*Preglednica 2.1-3: Po dolžini razvrščeni izbrani testni polmeri za prvo različico mreže virtualnih veznih točk (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 20 km<sup>2</sup>) – odro in za drugo različico mreže virtualnih veznih točk (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 40 km<sup>2</sup>) – magentno; podane so tudi razlike med njimi – črno oz. rdeče (večje vrzeli); vse dolžine so v metrih.*

V preglednici 2.1-3 vidimo, da se prva in druga različica mreže lepo dopolnjujeta, saj obe skupaj pokrivata razpon testnih polmerov med 3.924 m in 18.034 m. Nekoliko večje vrzeli so le intervali med 13.455 m in 16.820 m (3.365 m), med 5.885 m in 8.323 m (2.438 m) ter med 9.514 m in 11.894 m (2.380 m), ki so v preglednici oznaeni z rdečo barvo.

Vsi navedeni osnovni testni polmeri so pogojno uporabni; glej dodatna pogoja minimalnega števila ETRS-točk in minimalne vsote referenčnih površin ETRS-točk. V primeru, da je pri navedenem polmeru dobljeno število ETRS-točk v okolici neke virtualne vezne točke manjše od štiri ali pa reprezentativna površina okolice ne dosega vsaj površine kroga, izračunane na podlagi izbranega (osnovnega oz. obodnega) testnega polmera, se polmer okolice poveča za ravno toliko (zaokroženo na cel meter), kot je potrebno, da sta oba dodatna pogoja izpolnjena – uporabi se torej ustrezno povečani testni polmer.

#### Izbor obodnih testnih polmerov

Izbor obodnih testnih polmerov je prilagojen izboru osnovnih testnih polmerov, in sicer tako, da obodni testni polmeri posameznih obodov enakomerno naraščajo, dokler z njimi (na zadnjem obodu) ne dosežemo, da so v tako nastali neposredni okolici virtualnih veznih točk vsebovane vse ETRS-točke. Na zunanem obodu definicijskega območja transformacije je torej neposredna okolica za vsako obodno točko kar celotno državno ozemlje oziroma vse razpoložljive ETRS-točke.

Na ta način dosežemo postopno ekstrapolacijo transformacije navzven s postopno generalizacijo – upošteva se vse več točk, transformacijski parametri so vse manj detajlni, na zunanem obodu definicijskega območja transformacije dobimo transformacijo, ki upošteva vse razpoložljive ETRS-točke.

Najprej poiščemo najmanjša polmera, za katera so s poljubne vezne točke na zunanjem obodu definicijskega območja transformacije na dosegu vse razpoložljive ETRS-točke. Dejansko gre za določitev največjih polmerov neposrednih okolice virtualnih veznih točk. Oba dobljena mejna polmera sta zaokrožena na cel meter. Za prvo različico (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $20 \text{ km}^2$ ) mora biti ta polmer

$$R_{max1} = 496.673 \text{ m} ,$$

za drugo različico (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika  $40 \text{ km}^2$ ) pa

$$R_{max2} = 481.709 \text{ m} .$$

Najprej moramo torej določiti polmere krogov, katerih površine bodo služile kot kriterij za reprezentativne površine okolice obodnih virtualnih veznih točk; imenujmo jih **izhodiščni obodni polmeri za posamezne obode**.

Izhodiščne obodne polmere določimo z ustreznimi razmaki, zopet zaokroženo na cel meter. Razmišljamo takole:

- naj bo za točke na 0. obodu (zunani rob pravilne trikotniške mreže) reprezentativna površina neposredne okolice vsaj enaka površini osnovne okolice (izračunane iz osnovnega testnega polmera)<sup>5</sup> in
- naj se reprezentativna površina neposrednih okolice točk na razširitvenih obodih, ki sledijo, povečuje od površine osnovne okolice, pa vse do površine države na zunanjem obodu definicijskega območja transformacije.

Smiselno bi bilo postaviti zahtevo, da razmerja med zaporednimi izhodiščnimi obodnimi polmeri ustrezajo razmerjem med širinami razširitvenih pasov. Za redčenje točk je bilo vzeto razmerje  $2 : 3$ , kar pomeni: trikratna dolžina stranice trikotnika v predhodnem pasu ustreza dvakratni dolžini stranice trikotnika v naslednjem pasu (slika 2.1-3). To nam da naslednja razmerja med širinami razširitvenih pasov:

$$1 : \frac{3}{2} : \frac{9}{4} : \frac{27}{8} : \frac{81}{16} : \frac{243}{32} : \frac{729}{64} : \frac{2187}{128} : \frac{6561}{256} \dots$$

V istih razmerjih naj si sledijo tudi izhodiščni obodni polmeri za posamezne obode. Za določitev njihovih vrednosti moramo najprej določiti neznani faktor ( $t$ ), ki sledi iz enačbe

$$R_{SI} - R_{osn} = t \cdot \sum_{i=0}^n \left(\frac{3}{2}\right)^i \quad \Rightarrow \quad t = \frac{R_{SI} - R_{osn}}{\sum_{i=0}^n \left(\frac{3}{2}\right)^i}$$

kjer so:

$n$  ... število razširitvenih pasov, brez oboda pravilne trikotniške mreže (0. obod),

<sup>5</sup> To je sicer identičen pogoj, kot velja za izbor neposrednih okolice veznih točk v notranjosti pravilne trikotniške mreže, vendar je dejansko precej strožji, saj so tu vezne točke na robu države (ali zunaj) in se vse ETRS-točke praviloma nahajajo zgolj v polkrogu; dejansko uporabljeni polmeri so zato bistveno večji.

- $R_{osn}$  ... prvi izhodiščni obodni polmer (za točke na obodu pravilne trikotniške mreže) = izbrani osnovni testni polmer,  
 $R_{SI}$  ... zadnji izhodiščni obodni polmer (za točke na zunanjem obodu) = polmer kroga s površino, ki je enaka površini države.

Neznani faktor ( $t$ ) določimo posebej za vsako izmed različic izbora virtualnih veznih točk. Nato določimo za vsakega izmed izbranih osnovnih tesnih polmerov še vse obodne polmere posameznih obodov:

$$\begin{aligned} R_A &= R_{osn} \\ R_B &= R_A + t \\ R_C &= R_B + 3 \cdot t/2 \\ R_D &= R_C + 9 \cdot t/4 \\ R_E &= R_D + 27 \cdot t/8 \\ &\dots \end{aligned}$$

Za površino države vzamemo kar površino, dobljeno kot vsota referenčnih površin vseh ETRS-točk, kar znaša

$$P_{SI} = 20.273,51 \text{ km}^2$$

Zadnji izhodiščni obodni polmer (za točke na zunanjem obodu) je tako za obe različici izbora virtualnih veznih točk

$$R_{SI} = \sqrt{\frac{P_{SI}}{\pi}}$$

Z zaokrožitvijo (navzgor) na cel meter dobimo

$$R_{SI} = \mathbf{80.333 \text{ m.}}$$

Sledi pregled dobljenih izhodiščnih obodnih polmerov ter dejanskih najmanjših in največjih obodnih testnih polmerov za izbrane osnovne testne polmere – posebej za vsako različico izbora virtualnih veznih točk. Jasno je, da so dejanski obodni testni polmeri – tako najmanjši kot tudi največji – bistveno večji od izhodiščnih obodnih testnih polmerov, ki določajo zgolj minimalno referenčno površino v neposredno okolico izbranih ETRS-točk (slike 2.1-12–2.1-20).

#### Pregled osnovnih in obodnih testnih polmerov – izhodiščnih in dejanskih

##### Prva različica (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 20 km<sup>2</sup>)

Pravilna trikotniška mreža je v prvi različici obkrožena s sedmimi razširitvenimi pasovi (slika 2.1-7), torej  $n' = 7$ . Za neznani faktor ( $t'$ ) tako dobimo

$$t' = \frac{R_{SI} - R_{osn}}{\sum_{i=0}^7 \left(\frac{3}{2}\right)^i} = \frac{64 \cdot (R_{SI} - R_{osn})}{2059}$$

Osnovni in obodni testni polmeri (izhodiščni ter najmanjši in največji dejanski), zaokroženi na cel meter, so podani v preglednici:

$R_{osn}$	<b>3.924</b>	<b>5.885</b>	<b>9.156</b>	<b>9.514</b>	<b>11.894</b>	<b>12.251</b>	<b>12.622</b>	<b>12.752</b>
$R_{min}$	3.924	5.885	9.156	5.514	11.894	12.251	12.622	12.752
$R_{max}$	14.596	14.596	17.527	18.665	25.059	26.892	28.072	28.194
$R_A$	<b>3.924</b>	<b>5.885</b>	<b>9.156</b>	<b>9.514</b>	<b>11.894</b>	<b>12.251</b>	<b>12.622</b>	<b>12.752</b>
$R_{Amin}$	3.924	5.885	9.839	10.830	14.474	14.589	15.502	15.502
$R_{Amax}$	24.901	24.901	27.323	28.424	31.621	32.407	33.900	34.153
$R_B$	<b>6.299</b>	<b>8.199</b>	<b>11.368</b>	<b>11.715</b>	<b>14.021</b>	<b>14.367</b>	<b>14.727</b>	<b>14.853</b>
$R_{Bmin}$	12.186	15.837	19.553	19.720	23.175	23.430	23.735	23.801
$R_{Bmax}$	31.593	33.350	38.867	39.524	43.146	43.763	45.368	45.368
$R_C$	<b>9.862</b>	<b>11.670</b>	<b>14.687</b>	<b>15.017</b>	<b>17.212</b>	<b>17.541</b>	<b>17.884</b>	<b>18.004</b>
$R_{Cmin}$	25.743	28.959	32.899	33.003	35.599	36.040	36.093	36.093
$R_{Cmax}$	45.613	49.048	55.176	56.421	59.831	60.193	60.420	60.690
$R_D$	<b>15.205</b>	<b>16.877</b>	<b>19.665</b>	<b>19.970</b>	<b>21.999</b>	<b>22.303</b>	<b>22.619</b>	<b>22.730</b>
$R_{Dmin}$	49.467	50.715	54.074	54.513	56.748	57.399	57.399	57.610
$R_{Dmax}$	72.673	75.048	80.097	80.288	85.000	86.160	86.246	86.280
$R_E$	<b>23.221</b>	<b>24.687</b>	<b>27.132</b>	<b>27.399</b>	<b>29.178</b>	<b>29.445</b>	<b>29.722</b>	<b>29.820</b>
$R_{Emin}$	81.041	82.625	86.363	86.520	89.033	89.033	89.424	89.576
$R_{Emax}$	111.934	115.380	124.033	125.159	129.069	130.050	131.481	131.481
$R_F$	<b>35.245</b>	<b>36.402</b>	<b>38.332</b>	<b>38.543</b>	<b>39.948</b>	<b>40.158</b>	<b>40.377</b>	<b>40.454</b>
$R_{Fmin}$	134.061	135.007	137.149	137.290	139.603	139.674	139.889	140.088
$R_{Fmax}$	186.051	188.912	195.477	196.420	199.514	199.814	200.221	200.310
$R_G$	<b>53.280</b>	<b>53.974</b>	<b>55.132</b>	<b>55.259</b>	<b>56.102</b>	<b>56.228</b>	<b>56.360</b>	<b>56.406</b>
$R_{Gmin}$	208.913	209.610	210.739	210.918	212.984	213.012	213.012	213.043
$R_{Gmax}$	295.531	297.183	301.753	302.738	304.298	304.825	304.927	304.927
$R_H$	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>
$R_{Hmin}$	383.625	383.625	383.625	383.625	383.625	383.625	383.625	383.625
$R_{Hmax}$	496.673	496.673	496.673	496.673	496.673	496.673	496.673	496.673

*Preglednica 2.1-4: Prva različica veznih točk: pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 20 km<sup>2</sup>; osnovni in obodni testni polmeri, in sicer izračunani izhodiščni ter empirično dobljeni najmanjši in največji dejanski polmeri; vse dolžine so v metrih.*



Števila ETRS-točk (najmanjša, povprečna in največja), izbranih v neposredne okolice virtualnih veznih točk, so za dane osnovne testne polmere podana v preglednici:

$R_{osn}$	<b>3.924</b>	<b>5.885</b>	<b>9.156</b>	<b>9.514</b>	<b>11.894</b>	<b>12.251</b>	<b>12.622</b>	<b>12.752</b>
$N_{min}$	4	4	4	4	5	5	6	6
$N_{pov}$	6,9	11,7	26,4	28,3	43,4	45,9	48,7	49,5
$N_{max}$	57	92	132	138	181	185	189	193
$N_{Amin}$	4	4	4	4	5	5	6	6
$N_{Apov}$	7,8	13,2	27,5	30,0	48,1	51,3	54,7	55,7
$N_{Amax}$	40	82	152	160	204	211	216	218
$N_{Bmin}$	4	4	5	5	7	8	9	9
$N_{Bpov}$	15,5	23,5	46,3	49,8	70,9	73,8	76,8	77,8
$N_{Bmax}$	101	131	190	195	225	229	232	234
$N_{Cmin}$	4	5	11	12	19	20	21	22
$N_{Cpov}$	34,1	49,0	77,9	80,9	101,6	105,1	108,7	109,9
$N_{Cmax}$	131	175	223	225	248	255	262	263
$N_{Dmin}$	11	16	39	39	52	53	55	56
$N_{Dpov}$	81,2	97,0	127,0	131,2	158,7	163,0	167,8	169,0
$N_{Dmax}$	211	252	289	291	353	364	376	378
$N_{Emin}$	60	76	101	102	117	121	124	125
$N_{Epov}$	170,9	194,5	231,6	236,9	265,4	270,0	274,8	276,4
$N_{Emax}$	332	406	482	485	492	493	498	508
$N_{Fmin}$	170	178	197	198	216	220	222	223
$N_{Fpov}$	372,7	396,9	432,5	437,2	466,1	470,8	475,5	476,7
$N_{Fmax}$	559	579	625	639	677	694	697	701
$N_{Gmin}$	632	647	675	675	693	700	703	707
$N_{Gpov}$	850,1	874,3	918,3	923,2	955,2	961,0	965,0	966,1
$N_{Gmax}$	1.147	1.159	1.204	1.205	1.217	1.218	1.218	1.220
$N_{Hmin}$	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958
$N_{Hpov}$	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958
$N_{Hmax}$	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958

*Preglednica 2.1-5: Prva različica veznih točk: pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 20 km<sup>2</sup>; število ETRS-točk (najmanjše, povprečno in največje), izbranih v neposredne okolice virtualnih veznih točk znotraj osnovne mreže (N), na obodu osnovne mreže (N<sub>A</sub>) ter na obodih razširitvenih pasov (N<sub>B</sub>, N<sub>C</sub>, N<sub>D</sub> ...).*

Druga različica (pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 40 km<sup>2</sup>)

Pravilna trikotniška mreža je v drugi različici obkrožena s šestimi razširitvenimi pasovi (slika 2.1-8), torej  $n'' = 6$ . Za neznani faktor ( $t''$ ) tako dobimo

$$t^n = \frac{R_{SI} - R_{osn}}{\sum_{i=0}^6 \left(\frac{3}{2}\right)^i} = \frac{32 \cdot (R_{SI} - R_{osn})}{665}$$

Osnovni in obodni testni polmeri (izhodiščni ter najmanjši in največji dejanski), zaokroženi na cel meter, so podani v preglednici:

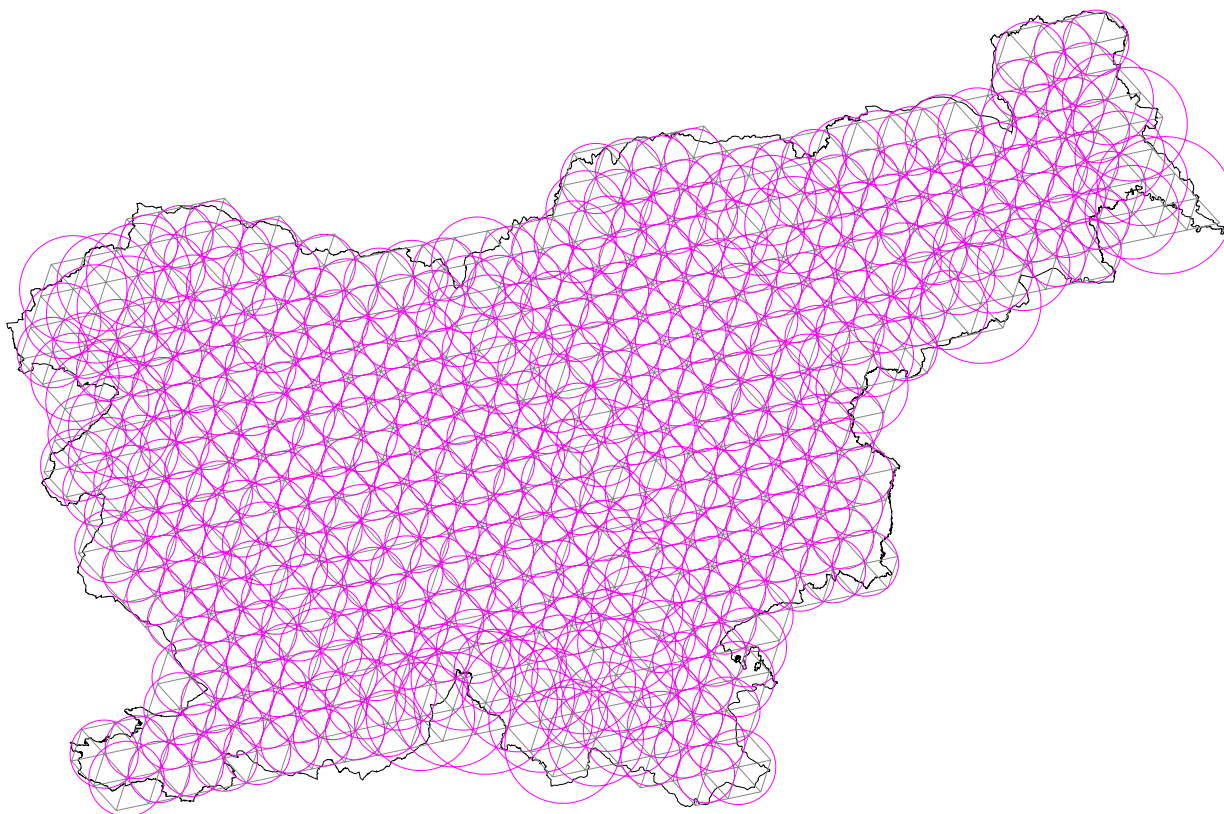
$R_{osn}$	<b>5.550</b>	<b>8.323</b>	<b>12.948</b>	<b>13.455</b>	<b>16.820</b>	<b>17.326</b>	<b>17.850</b>	<b>18.034</b>
$R_{min}$	5.550	8.323	12.948	13.455	16.820	17.326	17.850	18.034
$R_{max}$	16.034	18.375	32.036	32.461	38.296	39.206	40.096	40.096
$R_A$	<b>5.550</b>	<b>8.323</b>	<b>12.948</b>	<b>13.455</b>	<b>16.820</b>	<b>17.326</b>	<b>17.850</b>	<b>18.034</b>
$R_{Amin}$	6.109	10.271	16.553	17.041	22.068	22.720	22.960	23.175
$R_{Amax}$	23.911	27.022	39.485	40.663	45.890	46.946	48.262	48.531
$R_B$	<b>9.149</b>	<b>11.788</b>	<b>16.191</b>	<b>16.673</b>	<b>19.876</b>	<b>20.358</b>	<b>20.857</b>	<b>21.032</b>
$R_{Bmin}$	19.826	24.280	28.828	29.138	31.754	32.509	33.535	33.940
$R_{Bmax}$	41.612	48.706	55.128	55.668	61.843	62.013	62.750	63.377
$R_C$	<b>14.546</b>	<b>16.986</b>	<b>21.054</b>	<b>21.500</b>	<b>24.461</b>	<b>24.906</b>	<b>25.367</b>	<b>25.529</b>
$R_{Cmin}$	40.309	42.686	47.134	47.137	50.748	51.979	52.394	52.500
$R_{Cmax}$	67.873	71.629	78.486	79.836	85.630	87.662	87.662	87.796
$R_D$	<b>22.643</b>	<b>24.782</b>	<b>28.350</b>	<b>28.741</b>	<b>31.337</b>	<b>31.728</b>	<b>32.132</b>	<b>32.274</b>
$R_{Dmin}$	70.737	71.937	77.625	77.625	80.631	80.720	80.973	81.126
$R_{Dmax}$	106.356	114.098	125.578	126.116	134.628	137.484	139.296	140.398
$R_E$	<b>34.788</b>	<b>36.477</b>	<b>39.294</b>	<b>39.603</b>	<b>41.652</b>	<b>41.960</b>	<b>42.279</b>	<b>42.392</b>
$R_{Emin}$	125.589	127.243	130.471	130.623	133.216	133.485	133.986	134.210
$R_{Emax}$	182.060	186.753	194.065	195.210	201.044	201.208	202.275	202.942
$R_F$	<b>53.006</b>	<b>54.020</b>	<b>55.710</b>	<b>55.895</b>	<b>57.124</b>	<b>57.309</b>	<b>57.501</b>	<b>57.568</b>
$R_{Fmin}$	198.607	199.813	202.391	202.692	204.600	205.239	205.378	205.544
$R_{Fmax}$	287.329	290.383	297.104	297.861	300.525	300.525	300.816	301.064
$R_G$	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>	<b>80.333</b>
$R_{Gmin}$	359.875	359.875	359.875	359.875	359.875	359.875	359.875	359.875
$R_{Gmax}$	481.709	481.709	481.709	481.709	481.709	481.709	481.709	481.709

*Preglednica 2.1-6: Druga različica veznih točk: pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 40 km<sup>2</sup>; osnovni in obodni testni polmeri, in sicer izračunani izhodiščni ter empirično dobljeni najmanjši in največji dejanski polmeri; vse dolžine so v metrih.*

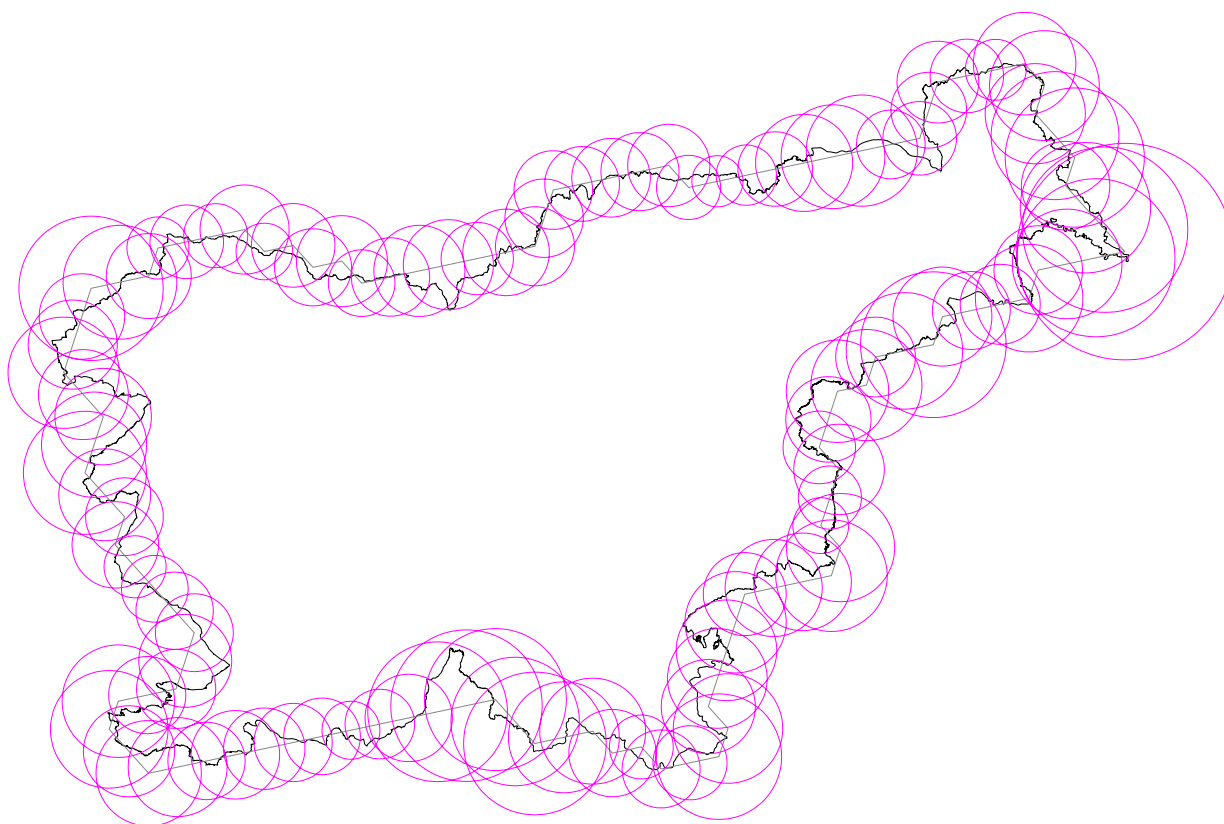
Števila ETRS-točk (najmanjša, povprečna in največja), izbranih v neposredne okolice virtualnih veznih točk, so za dane osnovne testne polmere podana v preglednici:

$R_{osn}$	<b>5.550</b>	<b>8.323</b>	<b>12.948</b>	<b>13.455</b>	<b>16.820</b>	<b>17.326</b>	<b>17.850</b>	<b>18.034</b>
$N_{min}$	4	4	6	7	14	19	22	24
$N_{pov}$	10,4	21,6	51,0	55,2	85,8	91,2	96,8	99,0
$N_{max}$	77	114	186	199	232	245	258	264
$N_{Amin}$	4	4	6	6	18	20	22	23
$N_{Apov}$	12,5	22,9	58,3	62,9	96,4	102,1	107,6	109,3
$N_{Amax}$	74	132	219	223	256	262	266	268
$N_{Bmin}$	4	5	12	13	30	39	43	44
$N_{Bpov}$	29,6	50,2	90,2	94,5	130,7	137,0	144,0	146,1
$N_{Bmax}$	130	172	243	248	283	301	324	337
$N_{Cmin}$	10	15	44	45	67	71	79	81
$N_{Cpov}$	70,1	91,2	140,1	145,6	185,2	191,5	198,7	200,8
$N_{Cmax}$	203	243	331	343	428	443	459	468
$N_{Dmin}$	56	79	107	110	137	143	146	148
$N_{Dpov}$	163,4	192,6	246,6	253,2	299,5	307,9	314,8	317,6
$N_{Dmax}$	360	421	493	494	518	540	544	546
$N_{Emin}$	169	187	227	232	266	272	277	277
$N_{Epov}$	366,9	297,5	453,0	459,8	513,3	521,3	530,4	532,5
$N_{Emax}$	571	580	661	684	781	784	793	797
$N_{Fmin}$	566	630	735	746	764	767	768	769
$N_{Fpov}$	841,7	882,4	946,9	954,8	1.003,7	1.009,9	1.016,4	1.018,3
$N_{Fmax}$	1.140	1.162	1.213	1.215	1.232	1.236	1.240	1.243
$N_{Gmin}$	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958
$N_{Gpov}$	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958
$N_{Gmax}$	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958

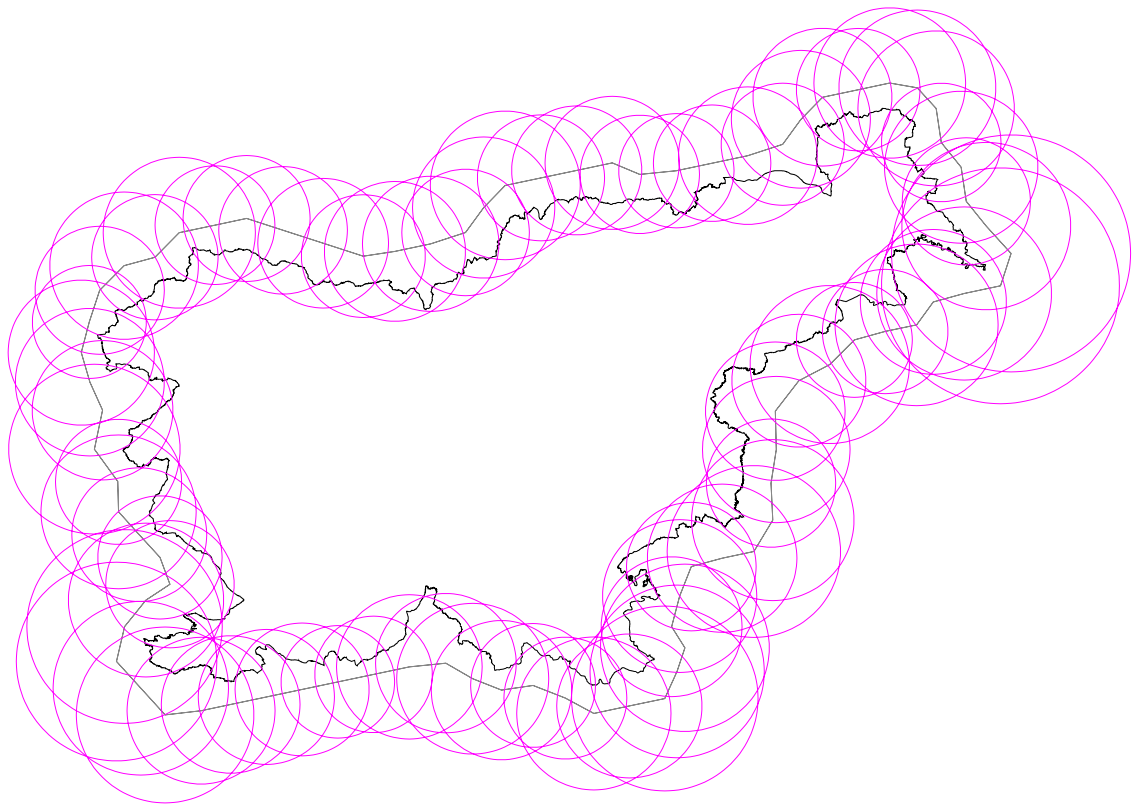
*Preglednica 2.1-7: Druga različica veznih točk: pravilna trikotniška mreža s površino trikotnika 40 km<sup>2</sup>; število ETRS-točk (najmanjše, povprečno in največje), izbranih v neposredne okolice virtualnih veznih točk znotraj osnovne mreže (N), na obodu osnovne mreže (N<sub>A</sub>) ter na obodih razširitvenih pasov (N<sub>B</sub>, N<sub>C</sub>, N<sub>D</sub> ...).*



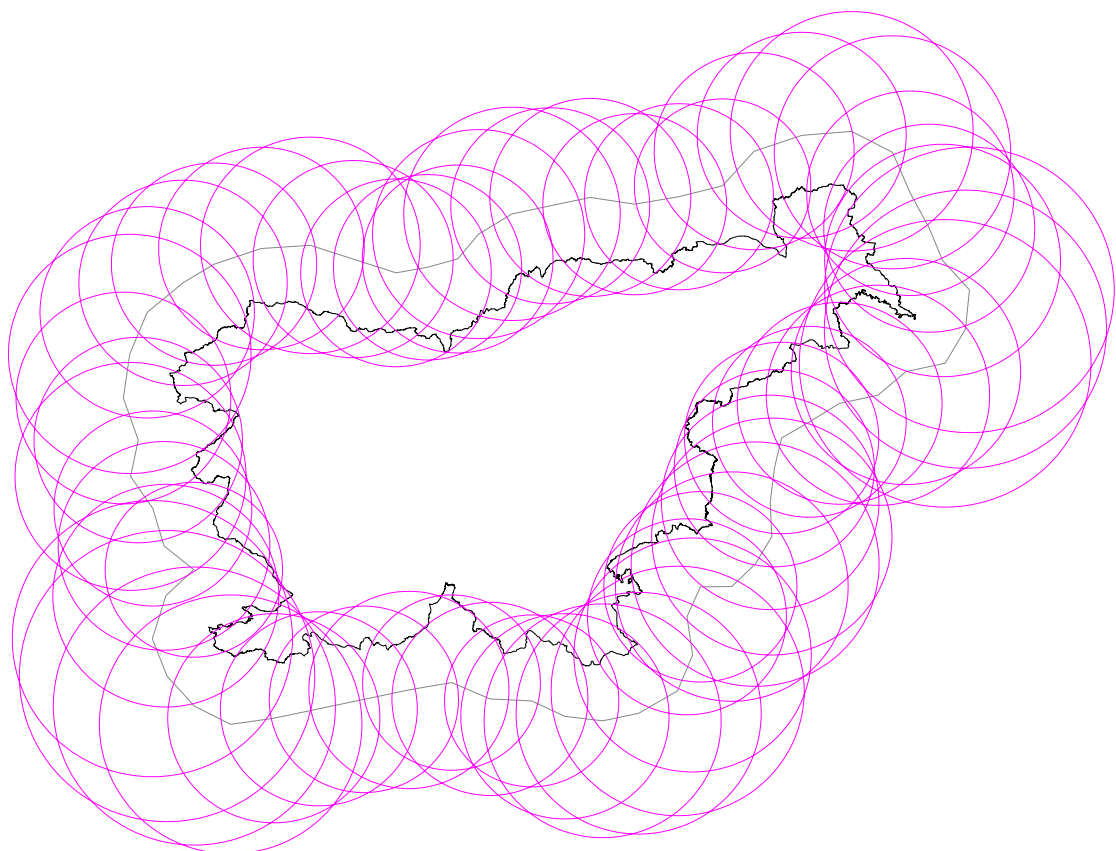
**Slika 2.1-12:** Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov v notranjosti osnovne mreže virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.



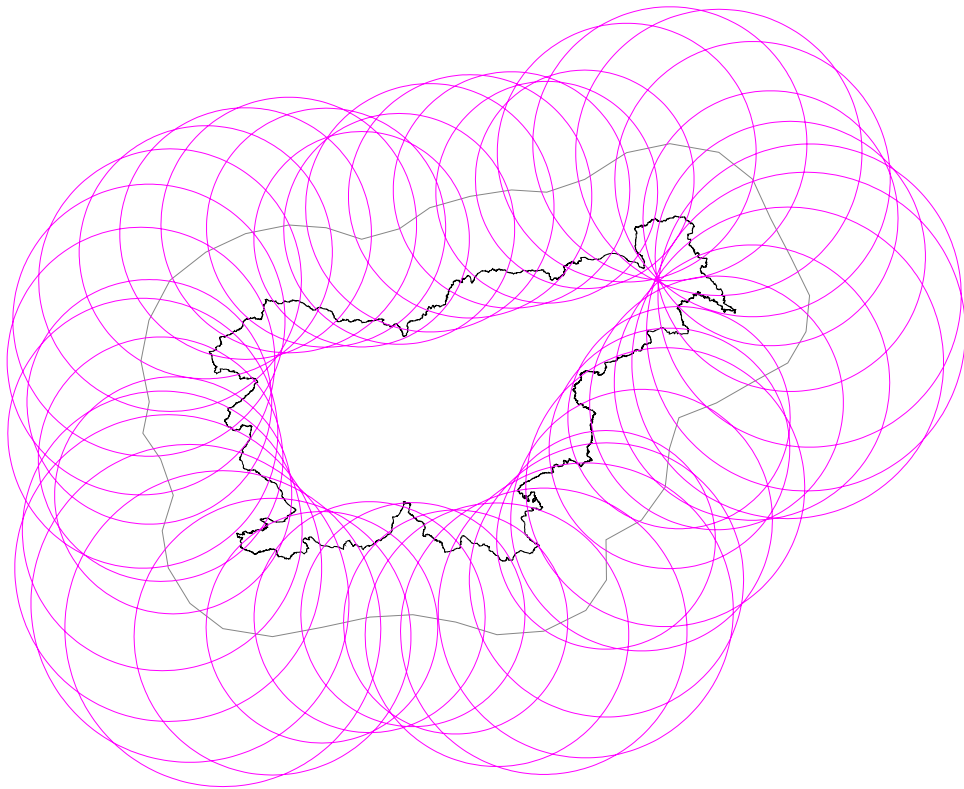
**Slika 2.1-13:** Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na obodu osnovne mreže (A) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.



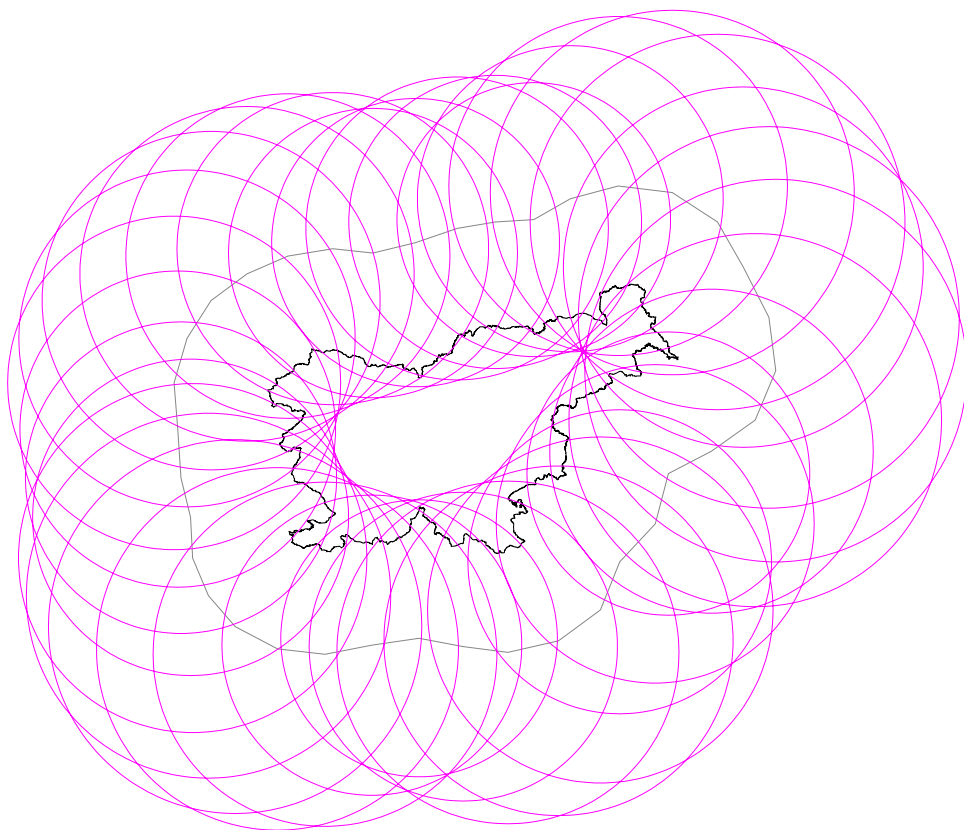
**Slika 2.1-14:** Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na obodu prvega razširitvenega pasu (B) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.



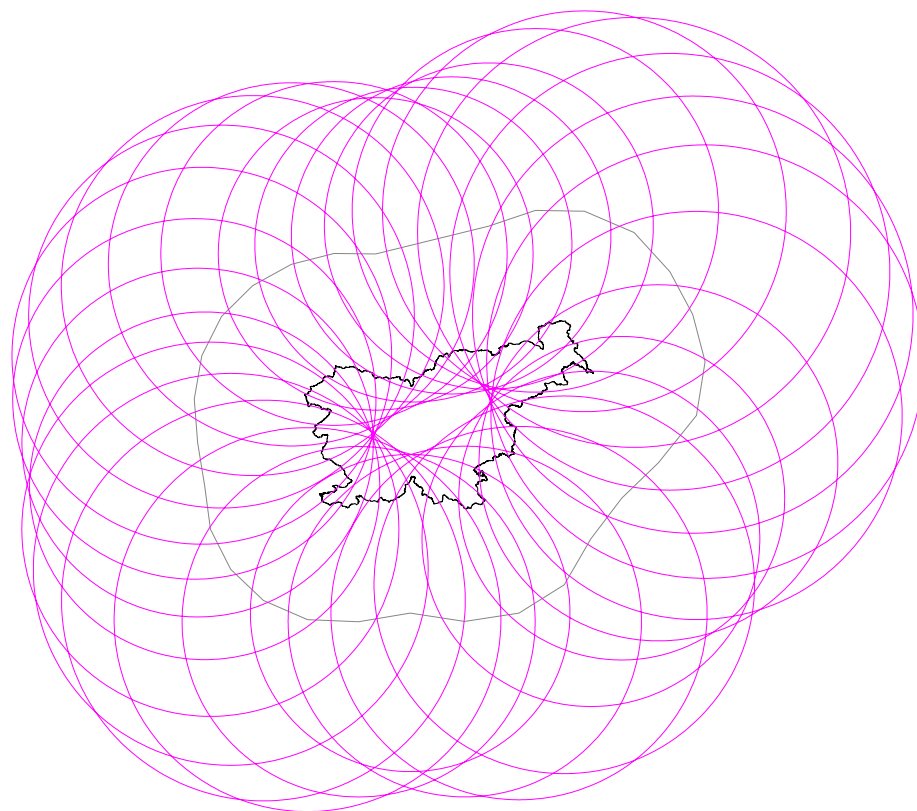
**Slika 2.1-15:** Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na obodu drugega razširitvenega pasu (C) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.



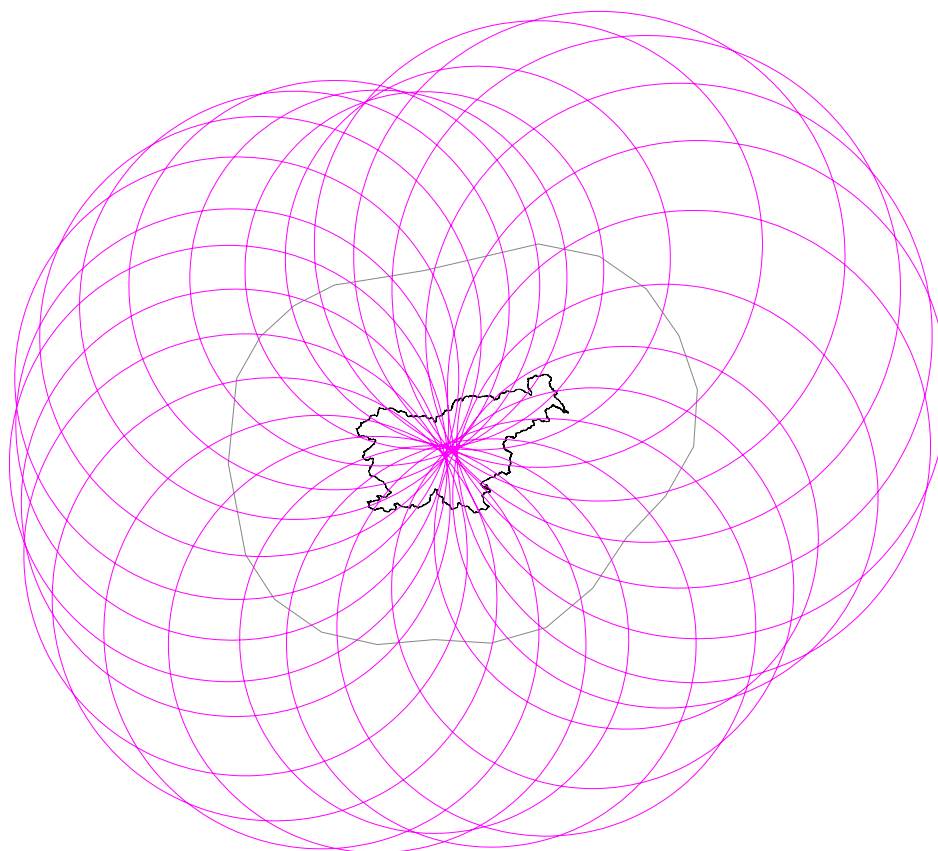
**Slika 2.1-16: Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na obodu tretjega razširitvenega pasu (D) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.**



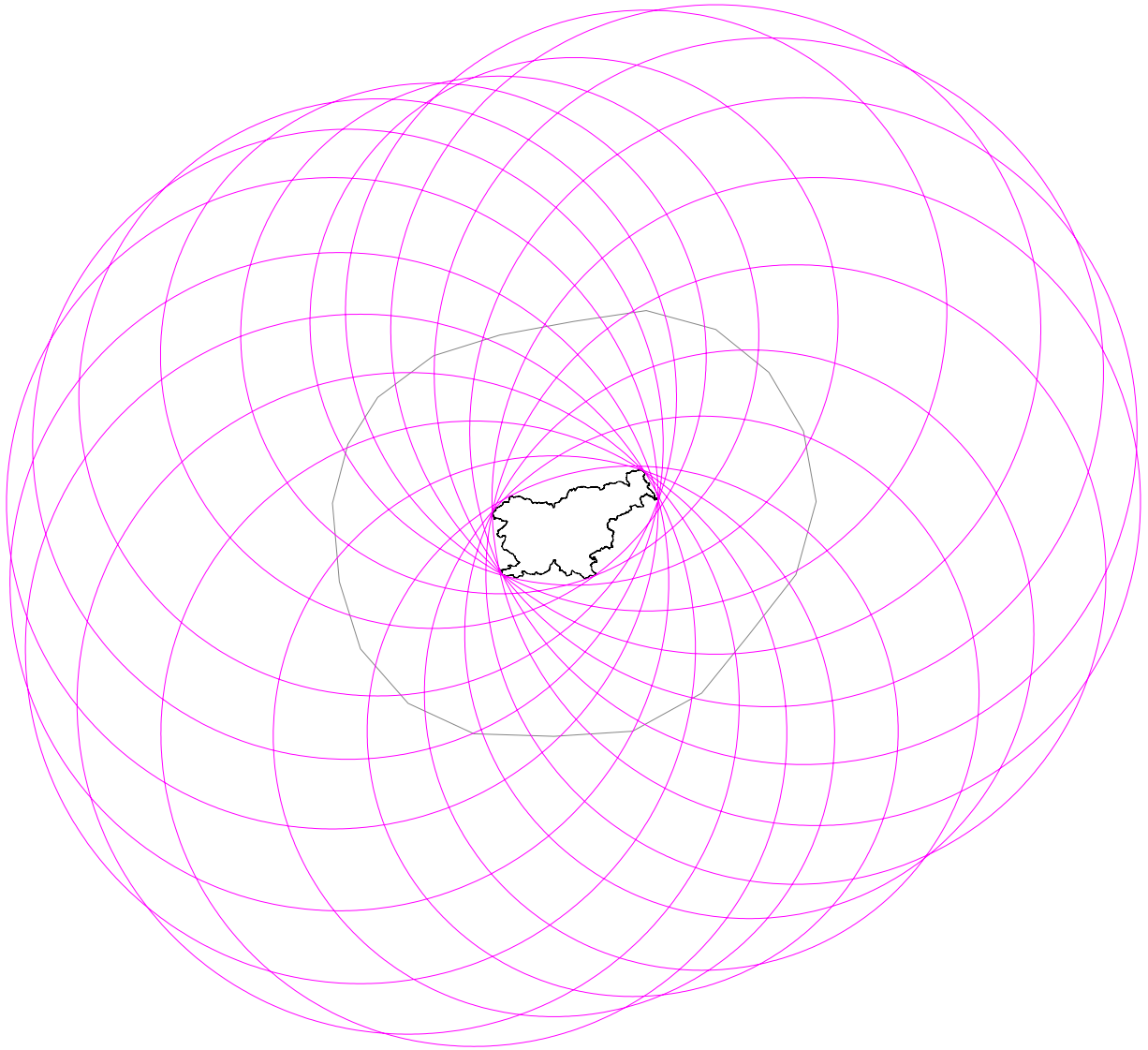
**Slika 2.1-17: Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na obodu četrtega razširitvenega pasu (E) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.**



*Slika 2.1-18: Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na obodu petega razširitvenega pasu (F) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.*



*Slika 2.1-19: Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na obodu šestega razširitvenega pasu (G) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.*



*Slika 2.1-20: Grafični prikaz dejansko uporabljenih testnih polmerov na zunanjem obodu (H) virtualnih veznih točk za izbrani osnovni polmer 5.885 m.*

#### Empirična določitev optimalnega niza virtualnih veznih točk

Tako generirani nizi virtualnih veznih točk so bili nato uporabljeni za transformacijo vseh 1958 razpoložljivih ETRS-točk.

Meri za velikost odstopanj (peta krepka alineja) na ETRS-točkah sta bili:

- standardni odklon položajev ETRS-točk po transformaciji in
- največje zabeleženo odstopanje položaja ETRS-točke po transformaciji.

Dodatno so bile preverjane še deformacije vsebine (največje, ki se v posamezni različici lahko pojavijo – torej upoštevaje najneugodnejši Delaunayjev trikotnik), in sicer:

- največja površinska deformacija,
- največja dolžinska deformacija in
- največja kotna deformacija (kotno striženje).



Gre seveda za uporabo trikotniško zasnovane odsekoma afine transformacije z dobljenimi nizi virtualnih veznih točk (za različno izbrane testne polmere neposrednih okolice); točke iz tako dobljenih neposrednih okolice so bile upoštevane za določitev transformacijskih parametrov, s pomočjo katerih je bilo določeno drugo krajišče vektorja pomika za izbrano virtualno vezno točko (z vnaprej izbranim prijemališčem).

Sledijo preglednice z rezultati izvedenih testiranj 128-ih testnih nizov virtualnih veznih točk, razdeljenih v 8 sklopov (preglednice 2.1-8–2.1-15).

**1. sklop testnih nizov virtualnih veznih točk**  
 ravninska podobnostna transformacija  
 brez uteži (tj. utež = 1)

P <sub>Δ</sub> [km <sup>2</sup> ]	R <sub>osn</sub> [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,4	22,8	0,093	0,086	23,7
20	5.885	4,7	25,1	0,075	0,060	15,1
20	9.156	5,6	28,7	0,067	0,049	15,1
20	9.514	5,8	28,7	0,070	0,051	15,1
20	11.894	6,4	28,2	0,067	0,046	11,3
20	12.251	6,5	28,2	0,067	0,045	11,8
20	12.622	6,7	28,7	0,061	0,046	11,9
20	12.752	6,7	28,7	0,061	0,046	11,9
40	5.550	5,0	26,4	0,076	0,043	10,1
40	8.323	5,5	26,8	0,069	0,042	9,4
40	12.948	6,8	28,7	0,060	0,038	9,6
40	13.455	7,0	28,7	0,059	0,040	9,2
40	16.820	8,0	38,0	0,056	0,033	8,1
40	17.326	8,2	38,0	0,054	0,034	7,7
40	17.850	8,4	39,0	0,055	0,034	7,4
40	18.034	8,4	40,0	0,054	0,034	7,1

*Preglednica 2.1-8: Rezultati testiranj prvega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska podobnostna transformacija – brez upoštevanja uteži ETRS-točk.*

Za obe različici pravilnih trikotniških mrež (s površinama trikotnikov 20 km<sup>2</sup> in 40 km<sup>2</sup>) se za prvi sklop testnih nizov z večanjem osnovnega testnega polmera neposrednih okolice virtualnih veznih točk praviloma povečuje tako standardni položajni odklon kot tudi največje odstopanje ETRS-točke po transformaciji. Obratno se z večanjem osnovnega testnega polmera manjšajo deformacije površin, dolžin in kotov. Povečevanje neposrednih okolice virtualnih veznih točk brez upoštevanja uteži ETRS-točk, ki se znajdejo v tej okolici, torej očitno zgolj izravna tako slučajne kot tudi sistematične vplive za odstopanja na veznih točkah; slednjega pa tu ne želimo.

**2. sklop** testnih nizov virtualnih veznih točk  
 ravninska afina transformacija  
 brez uteži (tj. utež = 1)

P <sub>Δ</sub> [km <sup>2</sup> ]	R <sub>osn</sub> [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,5	19,2	0,124	0,125	35,7
20	5.885	4,5	19,4	0,116	0,102	22,0
20	9.156	5,4	26,4	0,089	0,073	17,6
20	9.514	5,5	27,3	0,087	0,074	17,5
20	11.894	6,0	26,4	0,085	0,068	18,8
20	12.251	6,1	25,6	0,065	0,050	13,3
20	12.622	6,2	25,6	0,062	0,050	13,4
20	12.752	6,2	25,6	0,062	0,050	13,4
40	5.550	5,2	24,6	0,184	0,154	37,0
40	8.323	5,4	20,2	0,069	0,066	16,7
40	12.948	6,4	26,9	0,060	0,043	10,6
40	13.455	6,5	27,5	0,056	0,043	10,8
40	16.820	7,3	31,0	0,054	0,038	9,1
40	17.326	7,5	31,0	0,055	0,038	9,1
40	17.850	7,7	31,0	0,057	0,037	9,1
40	18.034	7,7	31,0	0,056	0,038	9,1

*Preglednica 2.1-9: Rezultati testiranja drugega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska afina transformacija – brez upoštevanja uteži ETRS-točk.*

Tudi za drugi sklop testnih polmerov veljajo podobne ugotovitve, kot za prvi sklop. Pri tem pa so opazni nekoliko večji standardni odkloni za manjše testne polmere in nekoliko manjši standardni odkloni za večje testne polmere, precej bolj ugodna pa so največja zabeležena odstopanja ETRS-točk po transformaciji, posebej pri največjih testnih polmerih. Pač pa dobimo nekoliko večje deformacije površin, dolžin in kotov. Uvajanje dodatnega parametra (afine transformacije glede na podobnostno) torej nekoliko manj izravna (izpovpreči) vplive nehomogene natančnosti starega koordinatnega sistema in da v splošnem ugodnejši rezultat, posebej ob uporabi večjih testnih polmerov.

**3. sklop** testnih nizov virtualnih veznih točk  
ravninska podobnostna transformacija  
utež je referenčna (Veronojeva) površina

$P_{\Delta}$ [km <sup>2</sup> ]	$R_{osn}$ [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,5	19,2	0,110	0,100	26,5
20	5.885	4,9	19,4	0,083	0,055	14,5
20	9.156	6,2	26,8	0,065	0,045	13,7
20	9.514	6,2	26,8	0,069	0,046	14,3
20	11.894	7,2	28,8	0,067	0,046	8,2
20	12.251	7,4	28,2	0,067	0,046	9,6
20	12.622	7,5	29,4	0,059	0,046	10,2
20	12.752	7,5	29,4	0,059	0,039	10,2
40	5.550	5,3	23,0	0,081	0,049	11,7
40	8.323	5,9	22,8	0,069	0,044	10,5
40	12.948	7,6	28,2	0,060	0,037	8,0
40	13.455	7,7	29,2	0,059	0,037	6,9
40	16.820	8,7	32,9	0,054	0,032	6,6
40	17.326	8,8	32,3	0,053	0,033	6,6
40	17.850	9,1	33,2	0,053	0,032	6,6
40	18.034	9,1	33,2	0,053	0,033	6,5

*Preglednica 2.1-10: Rezultati testiranja tretjega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska podobnostna transformacija – uteži so Veronojeve površine ETRS-točk.*

Za obe različici pravih trikotniških mrež (s površinama trikotnikov 20 km<sup>2</sup> in 40 km<sup>2</sup>) se tudi pri uvedbi uteži ETRS-točk v obliki Veronojevih površin z večanjem osnovnega testnega polmera neposrednih okolice virtualnih veznih točk praviloma povečuje tako standardni položajni odklon kot tudi največje odstopanje ETRS-točke po transformaciji. Obratno se z večanjem osnovnega testnega polmera manjšajo deformacije površin, dolžin in kotov. Če primerjamo rezultate testiranja nizov iz prvega sklopa, so pri uvedbi uteži opazni predvsem nekoliko večji standardni položajni odkloni in praviloma nekoliko manjša največja zabeležena odstopanja ETRS-točk po transformaciji.

**4. sklop** testnih nizov virtualnih veznih točk  
 ravninska afina transformacija  
 utež je referenčna (Veronojeva) površina

P <sub>Δ</sub> [km <sup>2</sup> ]	R <sub>osn</sub> [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,5	20,0	0,162	0,128	40,7
20	5.885	4,3	18,9	0,162	0,114	30,4
20	9.156	4,8	22,8	0,087	0,066	16,0
20	9.514	4,9	22,8	0,087	0,067	16,0
20	11.894	5,2	24,6	0,085	0,061	18,3
20	12.251	5,3	24,6	0,068	0,054	13,9
20	12.622	5,3	24,6	0,062	0,056	14,3
20	12.752	5,4	24,6	0,063	0,056	14,3
40	5.550	5,7	27,8	0,220	0,173	42,9
40	8.323	5,9	22,0	0,106	0,120	29,4
40	12.948	7,1	31,9	0,061	0,045	9,8
40	13.455	7,3	32,4	0,054	0,045	9,8
40	16.820	8,4	33,6	0,051	0,043	10,2
40	17.326	8,6	33,6	0,050	0,045	9,9
40	17.850	8,8	34,1	0,050	0,038	9,4
40	18.034	8,8	34,1	0,049	0,039	9,3

*Preglednica 2.1-11: Rezultati testiranja četrtega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska afina transformacija – uteži so Veronojeve površine ETRS-točk.*

Za četrti sklop testnih polmerov veljajo podobne ugotovitve, kot za tretji sklop. Če primerjamo rezultate testiranja nizov iz drugega sklopa (uporabljena afina transformacija brez upoštevanja uteži ETRS-točk), so pri uvedbi uteži za manjše testne polmere opazni nekoliko manjši standardni položajni odkloni in tudi manjša največja zabeležena odstopanja ETRS-točk po transformaciji; pri večjih testnih polmerih pa se trend obrne in so rezultati za nize iz drugega sklopa ugodnejši.

**5. sklop testnih nizov virtualnih veznih točk**

ravninska podobnostna transformacija

utež je kvocient referenčne (Veronojeve) površine in oddaljenosti ETRS-točke

P <sub>Δ</sub> [km <sup>2</sup> ]	R <sub>osn</sub> [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,2	19,2	0,110	0,099	26,5
20	5.885	4,4	19,2	0,084	0,059	14,6
20	9.156	5,1	21,6	0,068	0,048	14,1
20	9.514	5,2	22,5	0,070	0,050	14,1
20	11.894	5,7	24,4	0,064	0,043	9,0
20	12.251	5,7	24,4	0,064	0,042	9,0
20	12.622	5,8	25,2	0,063	0,042	9,0
20	12.752	5,8	25,2	0,062	0,042	9,0
40	5.550	5,1	23,0	0,076	0,045	11,7
40	8.323	5,4	23,0	0,070	0,044	10,5
40	12.948	6,3	26,4	0,062	0,035	7,2
40	13.455	6,4	26,4	0,060	0,034	7,4
40	16.820	7,0	27,8	0,056	0,032	6,3
40	17.326	7,1	27,8	0,056	0,032	6,4
40	17.850	7,1	27,8	0,056	0,032	6,4
40	18.034	7,2	27,8	0,055	0,031	6,5

*Preglednica 2.1-12: Rezultati testiranja petega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska podobnostna transformacija – uteži so kvocienti Veronojevih površin in oddaljenosti ETRS-točk od virtualnih veznih točk.*

Z uvajanjem kombiniranih uteži (upoštevaje Veronojeve površine in oddaljenosti ETRS-točk od izbranih virtualnih veznih točk) se glede na tretji sklop testnih nizov (ko so uteži samo Veronojeve površine) izboljšajo rezultati takorekoč po vseh kriterijih; zmanjšajo se tako standardni položajni odkloni kot tudi največja zabeležena odstopanja ETRS-točk po transformaciji. Prvi testni niz (z osnovnim testnim polmerom 5.550 m) iz druge različice pravih trikotniških mrež (s površino trikotnikov 40 km<sup>2</sup>) je izbran tudi kot najugodnejši testni niz za ta tip trikotniške mreže (osenčena vrstica v preglednici 2.1-12).

**6. sklop testnih nizov virtualnih veznih točk**

ravninska afina transformacija

utež je kvocient referenčne (Veronojeve) površine in oddaljenosti ETRS-točke

P <sub>Δ</sub> [km <sup>2</sup> ]	R <sub>osn</sub> [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,6	20,8	0,190	0,189	50,0
20	5.885	4,5	20,0	0,186	0,130	33,7
20	9.156	5,0	23,6	0,083	0,060	17,1
20	9.514	5,1	24,2	0,084	0,060	14,5
20	11.894	5,5	26,0	0,085	0,060	17,0
20	12.251	5,5	26,0	0,067	0,050	12,7
20	12.622	5,6	26,0	0,065	0,052	13,4
20	12.752	5,6	26,0	0,063	0,052	13,4
40	5.550	5,6	31,4	0,222	0,174	43,2
40	8.323	5,5	22,5	0,115	0,131	31,9
40	12.948	6,1	28,6	0,060	0,045	9,6
40	13.455	6,2	29,4	0,057	0,045	9,5
40	16.820	6,8	28,8	0,054	0,042	9,9
40	17.326	6,8	28,0	0,052	0,042	9,5
40	17.850	6,9	28,0	0,051	0,038	8,9
40	18.034	6,9	28,0	0,051	0,039	8,9

*Preglednica 2.1-13: Rezultati testiranja šestega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska afina transformacija – uteži so kvocienti Veronojevih površin in oddaljenosti ETRS-točk od virtualnih veznih točk.*

Osnovna ugotovitev za šesti sklop testnih nizov (ob uporabi afine transformacije) je, da standardni položajni odkloni in največja odstopanja ETRS-točk po transformaciji za obe različici pravilnih trikotniških mrež najprej nekoliko padejo, nato pa spet naraščajo, pri čemer pa za velike testne polmere praviloma naraščajo počasneje kot pri testnih nizih iz petega sklopa (ko je uporabljena ravninska podobnostna transformacija); pač pa se zato nekoliko povečajo deformacije – tako površin kot tudi dolžin in kotov.

**7. sklop testnih nizov virtualnih veznih točk**

ravninska podobnostna transformacija

utež je kvocient referenčne (Veronojeve) površine in površine kroga s polmerom, enakim oddaljenosti ETRS-točke

P <sub>Δ</sub> [km <sup>2</sup> ]	R <sub>osn</sub> [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,2	19,2	0,110	0,099	26,5
20	5.885	4,2	18,6	0,085	0,065	15,0
20	9.156	4,4	21,1	0,083	0,061	14,4
20	9.514	4,4	21,1	0,083	0,061	14,4
20	11.894	4,6	22,0	0,073	0,059	11,6
20	12.251	4,6	22,0	0,073	0,059	11,6
20	12.622	4,6	22,0	0,074	0,059	11,6
20	12.752	4,6	22,0	0,074	0,057	11,3
40	5.550	5,1	23,6	0,082	0,049	12,1
40	8.323	5,2	23,6	0,076	0,045	10,8
40	12.948	5,5	23,9	0,076	0,041	8,6
40	13.455	5,5	23,9	0,066	0,040	8,6
40	16.820	5,6	25,0	0,062	0,038	7,7
40	17.326	5,7	25,0	0,062	0,038	7,7
40	17.850	5,7	25,0	0,062	0,038	7,5
40	18.034	5,7	25,0	0,062	0,038	7,5

*Preglednica 2.1-14: Rezultati testiranja sedmega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska podobnostna transformacija – uteži so kvocienti Veronojevih površin in površin krogov s polmerom, enakim oddaljenostim ETRS-točk od virtualnih veznih točk.*

Zadnja različica uteži (ko so te kombinirane iz Veronojevih površin in površin krogov s polmeri, enakimi oddaljenostim ETRS-točk od izbranih virtualnih veznih točk) se glede na peti sklop testnih nizov (ko so uteži kombinirane iz Veronojevih površin in oddaljenosti ETRS-točk od izbranih virtualnih veznih točk) rezultati še izboljšajo; praviloma se zmanjšajo tako standardni položajni odkloni kot tudi največja zabeležena odstopanja ETRS-točk po transformaciji. Nekoliko se povečajo le deformacije površin, dolžin in kotov<sup>6</sup>. Drugi testni niz (z osnovnim testnim polmerom 5.885 m) iz prve različice pravilne trikotniške mreže (s površino trikotnikov 20 km<sup>2</sup>) je izbran tudi kot najugodnejši testni niz za ta tip trikotniške mreže (osenčena vrstica v preglednici 2.1-14).

<sup>6</sup> To je tudi razlog, da je za drugo različico pravilne trikotniške mreže (s površino trikotnikov 40 km<sup>2</sup>) kot najugodnejši izbran niz iz petega sklopa – glej preglednico 2.1-12.

**8. sklop** testnih nizov virtualnih veznih točk

ravninska afina transformacija

utež je kvocient referenčne (Veronojeve) površine in površine kroga s polmerom, enakim oddaljenosti ETRS-točke

$P_{\Delta}$ [km <sup>2</sup> ]	$R_{osn}$ [m]	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
		standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
20	3.924	4,6	20,8	0,195	0,192	50,5
20	5.885	4,3	20,6	0,195	0,129	34,1
20	9.156	4,4	21,1	0,089	0,066	17,6
20	9.514	4,4	21,1	0,086	0,061	14,5
20	11.894	4,5	22,8	0,082	0,058	16,0
20	12.251	4,6	22,8	0,080	0,058	12,1
20	12.622	4,6	22,8	0,079	0,058	12,5
20	12.752	4,6	22,8	0,078	0,057	12,5
40	5.550	5,6	34,1	0,223	0,174	43,2
40	8.323	5,3	23,0	0,126	0,138	33,5
40	12.948	5,5	25,8	0,069	0,045	9,4
40	13.455	5,5	25,8	0,068	0,045	9,4
40	16.820	5,6	25,0	0,065	0,040	8,9
40	17.326	5,7	25,0	0,063	0,040	9,1
40	17.850	5,7	25,0	0,063	0,039	8,7
40	18.034	5,7	25,0	0,064	0,039	8,8

*Preglednica 2.1-15: Rezultati testiranja osmega sklopa testnih nizov virtualnih veznih točk: uporabljena je ravninska afina transformacija – uteži so kvocienti Veronojevih površin in površin krogov s polmerom, enakim oddaljenostim ETRS-točk od virtualnih veznih točk.*

Tudi za zadnji sklop testnih nizov (ob uporabi afine transformacije) lahko ugotovimo, da standardni položajni odkloni in največja odstopanja ETRS-točk po transformaciji za obe različici pravilnih trikotniških mrež najprej nekoliko padejo, nato pa spet naraščajo; pač pa se zato precej povečajo deformacije – tako površin kot tudi dolžin in kotov. Nekoliko se povečajo tudi največja zabeležena odstopanja ETRS-točk po transformaciji, zato je afina transformacija na koncu vendarle spoznana (vsaj za testirane nize virtualnih veznih točk) kot manj primerna od podobnostne transformacije.

Skupna ugotovitev za vsa testiranja je, da večanje polmerov neposrednih okolic ne prinaša boljših rezultatov – praviloma sta v posameznih sklopih dosežena optima pri prvem ali drugem testnem polmeru. To pomeni, da na večjih območjih očitno že prevladuje sistematični vpliv nehomogene natančnosti starega koordinatnega sistema. Verjetno bi bila situacija drugačna za pravilne trikotniške mreže (virtualnih veznih točk) s precej manjšimi osnovnimi trikotniki. Na ta način bi morda lahko še nekoliko izboljšali natančnost transformacije na območjih velike gostote ETRS-točk. Glede na to, da smo z natančnostjo na teh območjih lahko povsem zadovoljni tudi s pravilno trikotniško mrežo z velikostjo osnovnega trikotnika 20 km<sup>2</sup>, pa potrebe po dodatnem zgoščevanju virtualnih veznih točk očitno ni; zgostitev virtualnih veznih točk namreč ne bi prinesla nobenega izboljšanja na območjih majhne gostote ETRS-točk.



Testna niza veznih točk RAZLIČICA 1.0 in RAZLIČICA 2.0 – za primerjavo  
(dosedanja izbora nizov veznih točk med razpoložljivimi ETRS-točkami):

	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
	standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
RAZLIČICA 1.0	4,5	40,0	0,140	0,117	30,2
RAZLIČICA 2.0	4,6	25,2	0,088	0,086	18,7

*Preglednica 2.1-16: Primerjalni rezultati predhodnih nizov veznih točk – RAZLIČICA 1.0 in RAZLIČICA 2.0.*

Zaradi primerljivosti je bil za testiranje obeh predhodnih različic uporabljen povsem isti niz 1958-ih ETRS-točk, kot za vseh 128 testnih nizov virtualnih veznih točk. Pri tem pa za določitev standardnih odklonov ETRS-točk po transformaciji niso bile upoštevane tiste ETRS-točke, ki so bile izbrane kot vezne točke nizov veznih točk RAZLIČICE 1.0 oziroma RAZLIČICE 2.0.

Končni izbor niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0

optimalna izbora nizov virtualnih veznih točk na podlagi izvedenih testiranj  
(za trikotniški mreži s površinama trikotnikov 20 km<sup>2</sup> in 40 km<sup>2</sup>):

	Položajno odstopanje [cm]		Največje deformacije		
	standardno	največje	površin [‰]	dolžin [‰]	kotov ["]
$P_{\Delta} = 20 \text{ km}^2$	4,2	18,6	0,085	0,065	15,0
$P_{\Delta} = 40 \text{ km}^2$	5,1	23,0	0,076	0,045	11,7

*Preglednica 2.1-17: Optimalna izbora nizov virtualnih veznih točk na podlagi rezultatov testiranj 128-ih testnih nizov – RAZLIČICA 3.0.*

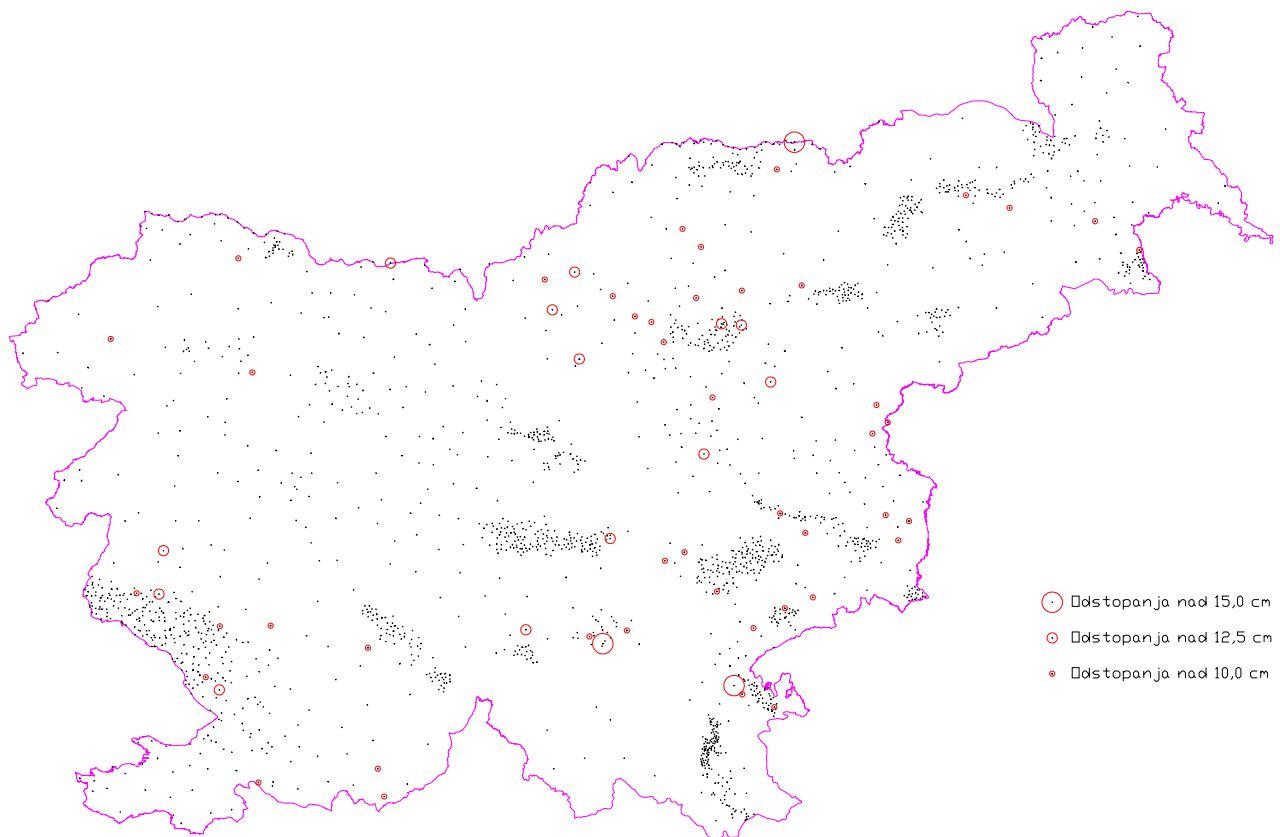
Optimalen niz virtualnih veznih točk za trikotniško mrežo s površino trikotnikov **20 km<sup>2</sup>** je **drugi niz** – z osnovnim polmerom neposredne okolice 5.885 m – **iz sedmega sklopa testnih nizov** (glej preglednico 2.1-14), torej niz generiran z uporabo ravninske podobnostne transformacije in utežmi, ki so kvocienti referenčnih (Veronojevih) površin in površin krogov s polmeri, enakimi oddaljenostim ETRS-točk od virtualnih veznih točk; gre za uteži, ki so sorazmerne referenčnim površinam ETRS-točk in obratnosorazmerne kvadratom oddaljenosti ETRS-točk od virtualnih veznih točk.

Optimalen niz virtualnih veznih točk za trikotniško mrežo s površino trikotnikov **40 km<sup>2</sup>** je **prvi niz** – z osnovnim polmerom neposredne okolice 5.550 m – **iz petega sklopa testnih nizov** (glej preglednico 2.1-12), torej niz generiran z uporabo ravninske podobnostne transformacije in utežmi, ki so kvocienti referenčnih (Veronojevih) površin in oddaljenosti ETRS-točk od virtualnih veznih točk; gre za uteži, ki so sorazmerne referenčnim površinam ETRS-točk in obratnosorazmerne oddaljenostim ETRS-točk od virtualnih veznih točk.

Prvi niz (za trikotniško mrežo s površino trikotnikov  $20 \text{ km}^2$ ) je od RAZLIČIC 1.0 in 2.0 boljši glede na vse kriterije, drugi niz (za trikotniško mrežo s površino trikotnikov  $40 \text{ km}^2$ ) pa je zelo primerljiv z RAZLIČICO 2.0 – nekoliko boljši je, če primerjamo največje odstopanje po transformaciji, nekoliko slabši pa, če primerjamo standardno odstopanje (položajni standardni odklon).

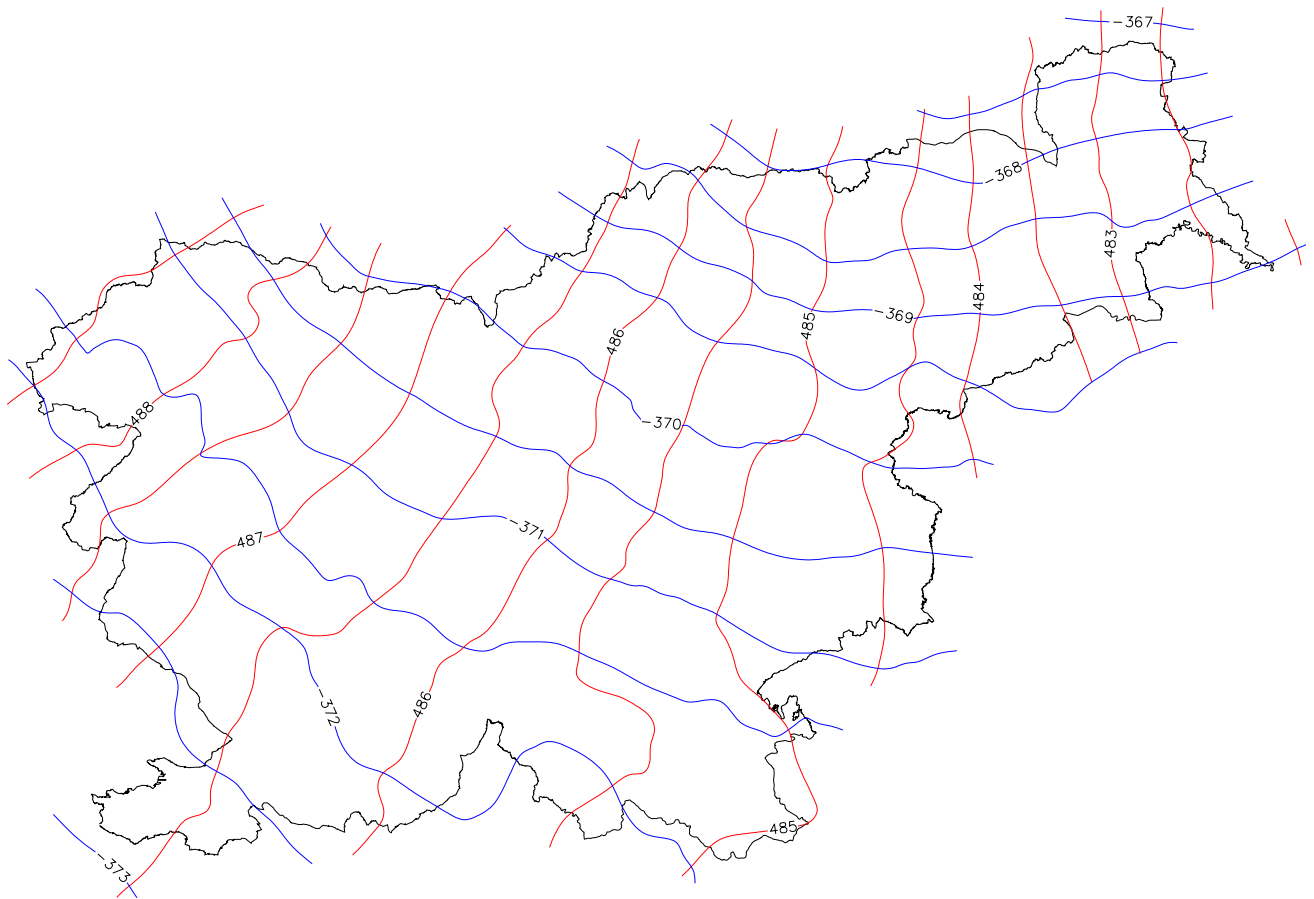
**Kot končni niz virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0 je vzet izbrani optimalni niz za trikotniško mrežo s površino trikotnikov  $20 \text{ km}^2$  (v preglednici 2.1-17 je označen krepko).**

Povzetek rezultatov analize odstopanj ETRS-točk po transformaciji s pomočjo končnega niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0 je, da tri ETRS-točke (411, 806 in 1801) odstopajo za več kot  $15,0 \text{ cm}$ , nadaljnjih 13 točk odstopa za več kot  $12,5 \text{ cm}$  in še nadaljnjih 45 točk za več kot  $10,0 \text{ cm}$ . Skupaj torej izmed 1958-ih ETRS-točk po transformaciji za več kot trikratnik standardnega položajnega odklona (tj. za več kot  $12,5 \text{ cm}$ ) odstopa 16 točk ( $0,82 \%$ ), za več kot  $10 \text{ cm}$  pa odstopa 61 točk ( $3,12 \%$ ); njihov razpored je prikazan na sliki 2.1-21.



*Slika 2.1-21: Odstopanja na ETRS-točkah po transformaciji s pomočjo niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0; označene so ETRS-točke, ki odstopajo za več kot  $10 \text{ cm}$ .*

Dobljena transformacija je glede na predhodni dve različici opazno »zglajena«. Anomalije na posameznih območjih zaradi slučajnih vplivov na določitev koordinat posameznih ETRS-točk so v veliki meri odstranjene s povprečenjem, torej z upoštevanjem večjega števila točk v neposredni okolici. Ploskvi pomikov iz starega v novi koordinatni sistem sta prikazani na sliki 2.1-22; primerjaj tudi s ploskvama pomikov za RAZLIČICO 1.0 (Razvoj DGS 2007, str. 183).



*Slika 2.1-22: Ploskvi pomikov iz D48/GK v D96/TM za trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo ob uporabi niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0; prikazane so črte enakih pomikov (istopomičnice oz. izošifte), in sicer po x-osi (v rdeči barvi) in po y-osi (v modri barvi).*

Izvedena je bila še analiza odstopanj nizov 598-ih veznih točk (brez obodnih) RAZLIČICE 1.0 ter 560-ih veznih točk (brez obodnih) RAZLIČICE 2.0 po transformaciji s končno izbrano transformacijo, torej RAZLIČICO 3.0.

Ujemanje nizov veznih točk različica 1.0 in različica 2.0 z različico 3.0

	Položajno odstopanje [cm]	
	standardno	največje
RAZLIČICA 1.0	5,4	31,1
RAZLIČICA 2.0	4,6	14,0

*Preglednica 2.1-18: Odstopanja na veznih točkah RAZLIČICA 1.0 in RAZLIČICA 2.0, transformiranih s končnim nizom virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0.*

Cenilke kakovosti transformacije za RAZLIČICO 3.0 so:

- srednji standardni odklon položaja po transformaciji = **4,2 cm**
- največje položajno odstopanje po transformaciji = **18,6 cm**
- največja površinska deformacija =  $\pm 0,085 \text{ ‰}$  ( $\pm 85 \text{ ppm}$ )<sup>7</sup>
- največja dolžinska deformacija =  $\pm 0,065 \text{ ‰}$  ( $\pm 65 \text{ ppm}$ )<sup>8</sup>
- največja kotna deformacija (striženje) = **15 ″** ( $\approx 0,000073 \text{ rad}$ )<sup>9</sup>

Glede na RAZLIČICO 2.0 so se zmanjšali tako standardni položajni odklon in največje položajno odstopanje po transformaciji kot tudi največja površinska deformacija, največja dolžinska deformacija in največje kotno striženje.

### Preverjanje reverzibilnosti trikotniške transformacije z nizom RAZLIČICA 3.0

Skupaj je bilo izbranih 899 virtualnih veznih točk. Določitev območij transformacije (trikotnikov) je za dani niz veznih točk avtomatična; takšna je definicija modela transformacije. Uporabi se Delaunayjeva triangulacija virtualnih veznih točk.

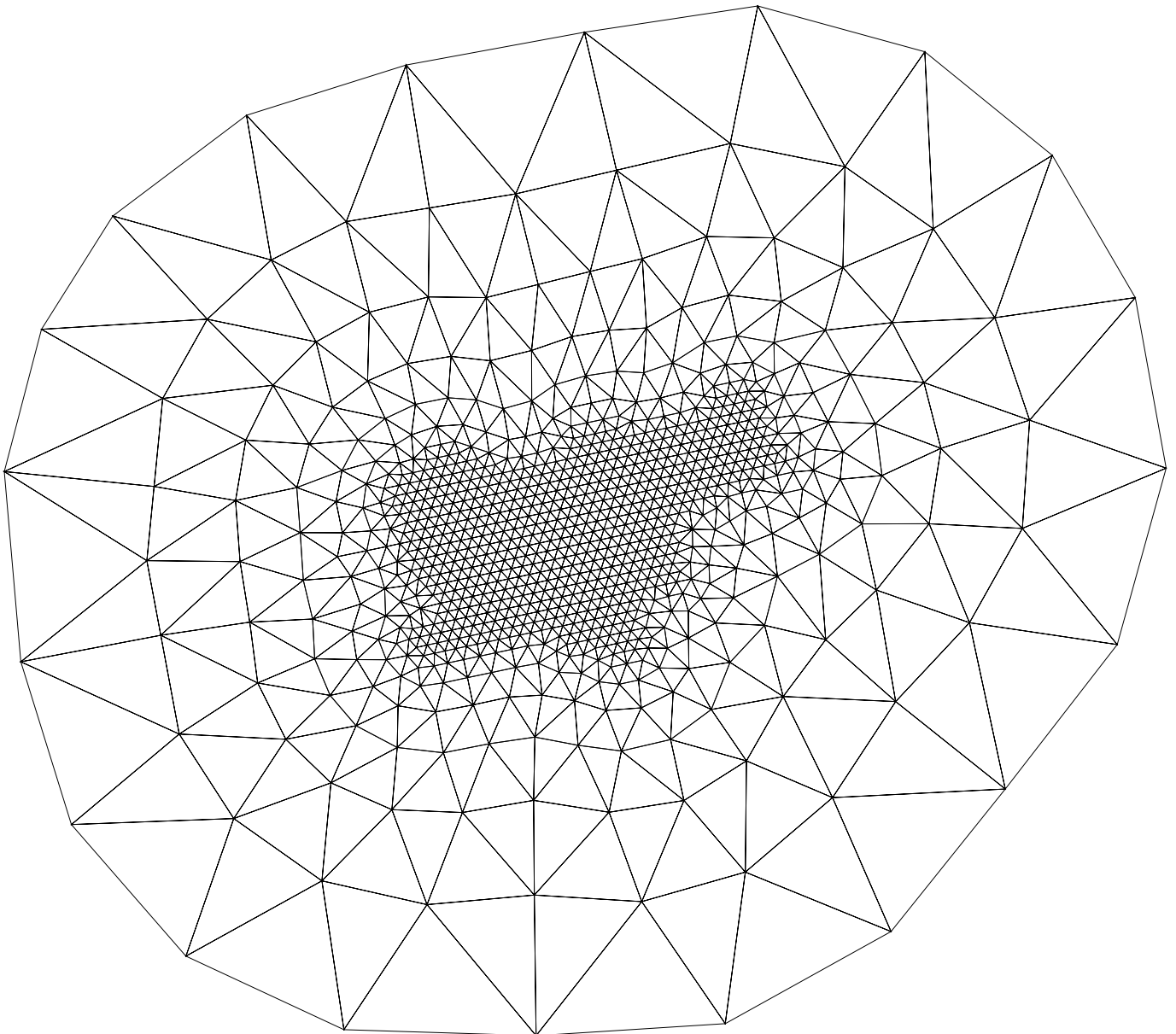
Za inverzno transformacijo želimo uporabiti identični niz veznih točk, vendar z zamenjanimi vlogami koordinat (zamenjava stolpcev). Da bo tako dobljeni niz veznih točk res predstavljal inverzno transformacijo, mora zanj veljati, da Delaunayjeva triangulacija veznih točk v starem koordinatnem sistemu 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 1776 Delaunayjevih trikotnikov. Isto število trikotnikov pa ni zadosten pogoj za identičnost obeh triangulacij. Preveriti je treba, da gre res za isti izbor trikotnikov; za niz veznih točk RAZLIČICA 3.0 tudi to drži, saj je geometrijska razporeditev točk praktično najugodnejša možna. Tvorba Delaunayjevih trikotnikov za transformacijo D48/GK–D96/TM kot tudi za transformacijo D96/TM–D48/GK je vidna na sliki 2.1-23.

<sup>7</sup> To pomeni, da se pri transformaciji lahko za  $1 \text{ m}^2$  spremeni le površina parcele, večje od  $11.764 \text{ m}^2$  (1,18 ha). Takšna parcela se mora v celoti nahajati v (glede površinskih deformacij) najugodnejšem trikotniku 419–420–445.

<sup>8</sup> To pomeni, da se pri transformaciji lahko za 1 cm spremeni le dolžina stranice, daljše od 153,8 m. Takšna stranica se mora v celoti nahajati v (glede dolžinskih deformacij) najugodnejšem trikotniku 386–387–412.

<sup>9</sup> To pomeni, da se pri transformaciji lahko za 1 cm (iz pravokotnosti) premakne le vogal kvadratne stavbe s stranico, večjo od 137,5 m. Takšna stavba se mora v celoti nahajati v (glede kotnih deformacij) najugodnejšem trikotniku 284–317–318, poleg tega pa mora biti tudi njena orientacija najugodnejša – celo v tem najugodnejšem trikotniku je namreč lahko vpliv kotnega striženja ob idealni orientaciji stavbe ničel!



*Slika 2.1-23: Delaunayjeva triangulacija virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0; 899 virtualnih veznih točk tvori 1776 trikotnih transformacijskih odsekov.*

Seznam virtualnih veznih točk RAZLIČICE 3.0 (tj. izračunanih vektorjev pomikov iz D48/GK v D96/TM) je v [prilogi 2.1-1](#).

Seznam v neposredne okolice virtualnih veznih točk uvrščenih ETRS-točk, njihovih uteži in izračunanih transformacijskih parametrov, s pomočjo katerih so bili določeni vektorji odstopanj, je za končno izbrano različico (glej sklop 7; površina osnovnega trikotnika =  $20 \text{ km}^2$ , osnovni polmer = 5.885 m) je v [prilogi 2.1-2](#).

### 2.1.6 Zaključek

Končni niz veznih točk RAZLIČICA 3.0 tvori 899 virtualnih veznih točk; 594 izmed njih tvori pravilno trikotniško mrežo s površino osnovnega trikotnika  $20 \text{ km}^2$ ; stranica osnovnega trikotnika mreže meri približno 6.796 m.

Pravilna trikotniška mreža pokriva skoraj celotno državno ozemlje. Zunanji obod pravilne trikotniške mreže je razširjen s pomožnimi virtualnimi veznimi točkami v sedmih pasovih, katerih širina se postopoma povečuje, gostota točk pa se temu ustrezno zmanjšuje. Za redčenje točk je uporabljeno razmerje 2 : 3, kar pomeni, da trikratna dolžina stranice trikotnika v predhodnem pasu ustreza dvakratni dolžini stranice trikotnika v naslednjem pasu. Zunanji obod območja transformacije je konveksen. Za razširitev definicijskega območja transformacije navzven je dodanih 305 pomožnih virtualnih veznih točk.

Površina celotnega transformacijskega območja je  $358.504,34 \text{ km}^2$  (v D96/TM) oziroma  $358.497,24 \text{ km}^2$  (v D48/GK), kar je približno 18-kratnik površine državnega ozemlja.

Delaunayjeva triangulacija vseh 899 virtualnih veznih točk tvori 1776 transformacijskih trikotnikov in je (topološko) identična v D48/GK in D96/TM, kar ob uporabi trikotniško zasnovane odsekoma afine transformacije zagotavlja popolno reverzibilnost transformacije (D48/GK  $\leftrightarrow$  D96/TM<sup>10</sup>).

Koordinate virtualnih veznih točk so določene v D96/TM in zaokrožene na cel meter. Ustrezni vektorji pomikov oziroma koordinate teh točk v D48/GK so določeni z optimalno ravninsko podobnostno transformacijo, in sicer na podlagi ETRS-točk v neposredni okolici vsake virtualne vezne točke posebej.

Velikosti neposrednih okolic so različne za virtualne vezne točke znotraj pravilne trikotniške mreže in za pomožne virtualne vezne točke v posameznih razširitvenih pasovih. Prve so določene empirično, druge pa so odvisne od prvih in se postopno večajo v enakem razmerju kot širine razširitvenih pasov. Na zunanjem obodu definicijskega območja transformacije neposredne okolice vseh virtualnih veznih točk vključujejo kar celotno državno ozemlje.

Velikost neposrednih okolic znotraj pravilne trikotniške mreže je določena s krogom s središčem v virtualni vezni točki in polmerom 5.885 m. Po potrebi so neposredne okolice povečane tako, da so znotraj njih vedno vsaj štiri ETRS-točke in da te »zastopajo« dovolj veliko območje – skupna površina Veronojevih območij ETRS-točk, izbranih v neposredno okolico virtualne vezne točke, dosega vsaj površino kroga s polmerom 5.885 m.

Polmer 5.885 m za izbrano pravilno trikotniško mrežo zagotavlja, da je vsaka ETRS-točka izbrana vsaj v eno neposredno okolico virtualne vezne točke, nobena ETRS-točka pa ni izbrana v več kot tri neposredne okolice virtualnih veznih točk – oboje seveda velja le za virtualne vezne točke znotraj pravilne trikotniške mreže, ne pa za pomožne virtualne vezne točke.

<sup>10</sup> Transformacija najprej iz D48/GK v D96/TM in nato iz D96/TM nazaj v D48/GK je enakovredna identični transformaciji; transformacija najprej iz D96/TM v D48/GK in nato iz D48/GK nazaj v D96/TM je prav tako enakovredna identični transformaciji. Pri večkratnih transformacijah med obema koordinatnima sistemoma ni »izgub«.

V povprečju je v neposrednih okolica virtualnih veznih točk znotraj pravilne trikotniške mreže po 11,7 ETRS-točke, za pomožne virtualne vezne točke pa povprečno število ETRS-točk v neposrednih okolica narašča takole: 13,2 (0. obod oz. zunanji rob pravilne trikotniške mreže), 23,5 (1. obod), 49,0 (2. obod), 97,0 (3. obod), 194,5 (4. obod), 396,9 (5. obod), 874,3 (6. obod) in 1.958 – torej vse ETRS-točke (7. oziroma zunanji obod območja transformacije). Naraščanje povprečnega števila ETRS-točk v neposrednih okolica pomožnih virtualnih veznih točk povzroči, da se pri ekstrapolaciji transformacije navzven le-ta iz povsem detajlne na robu državnega ozemlja postopoma preobraža v generalizirano državno transformacijo.

Pri določanju optimalnih transformacijskih parametrov za določitev vektorjev pomikov virtualnih veznih točk so za ETRS-točke v neposrednih okolica upoštevane uteži, ki so kvocienti Veronojevih površin in površin krogov s polmeri, enakimi oddaljenostim ETRS-točk od izbranih virtualnih veznih točk. Na ta način je poskrbljeno, da se vsi deli državnega ozemlja obravnavajo enakovredno, in sicer neglede na različne gostote ETRS-točk na različnih območjih države. Poleg tega imajo pri določitvi vektorja pomikov večjo vlogo ETRS-točke, ki se nahajajo v neposredni bližini virtualne vezne točke.

Standardni položajni odklon (ki se nanaša na celotno državno ozemlje), ocenjen na podlagi analize odstopanj vseh 1958 ETRS-točk po transformaciji s trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo (in uporabo niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0), je 4,2 cm. Največje zabeleženo odstopanje ETRS-točke je 18,6 cm. Za več kot trikratnik standardnega položajnega odklona (tj. za več kot 12,5 cm) odstopa 16 ETRS-točk, kar predstavlja 0,82 %.

Največja površinska deformacija – torej v (glede površinskih deformacij) najneugodnejšem trikotniku – znaša 0,085 ‰, kar pomeni, da se pri transformaciji lahko za 1 m<sup>2</sup> spremeni le površina parcele, večje od 11.764 m<sup>2</sup> (1,18 ha).

Največja dolžinska deformacija – torej v (glede dolžinskih deformacij) najneugodnejšem trikotniku – znaša 0,065 ‰, kar pomeni, da se pri transformaciji lahko za 1 cm spremeni le dolžina stranice, daljše od 153,8 m.

Največja kotna deformacija (kotno striženje) – torej v (glede kotnih deformacij) najneugodnejšem trikotniku – znaša 15 ″, kar pomeni, da se pri transformaciji lahko za 1 cm (iz pravokotnosti) premakne le vogal kvadratne stavbe s stranico, večjo od 137,5 m.

## **2.2 Transformacijski modeli za transformacijo geodetskih podatkov (NALOGA 1.2)**

*Testiranja in poročilo: Sandi Berk, GI*

*Terenska izmera in koordinacija izvedbe s strani naročnika: Žarko Komadina in Peter Hojan, oba GURS*

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

### **Povzetek**

Namen naloge je preizkus različnih pristopov in metod transformacije prostorskih podatkov iz starega v novi državni ravninski koordinatni sistem in obratno (D48/GK ↔ D96/TM). Gre predvsem za podatke najvišje natančnosti, za katere je zahtevana tudi najvišja kakovost transformacije. Predpostavka je tudi, da mora biti model transformacije takšen, da zagotavlja zveznost na celotnem transformacijskem območju.

Kot testno območje je bila izbrana vas Bočna. Območje vasi je bilo vključeno v novo izmero – katastrski podatki imajo status koordinatnega katastra. Območje se nahaja znotraj kroga s premerom okoli 2 kilometra. Območje vasi je bilo za potrebe testiranja ponovno premerjeno v novem državnem koordinatnem sistemu. Izmerjene so bile zemljiškokatastrske točke v približno enakomernem trikotniškem gridu s povprečno razdaljo med točkami grida med 50 in 100 metri. Točke so bile izmerjene z RTK-metodo. Meritve je izvedel naročnik.

Cilj preizkusa je bil na izbranem testnem območju določiti optimalen pristop k transformaciji najkakovostnejših (najnatančnejših) podatkovnih zbirk ali delov zbirk (npr. območij koordinatnega katastra znotraj zemljiškokatastrske evidence). Z namenom določitve optimalne zahtevane gostote točk (terenskih domeritev za določitev veznih točk transformacije) je bila izvedena primerjava rezultatov transformacije ob uporabi različnih gostot veznih točk. Ti rezultati so bili primerjani tudi z rezultati ob uporabi trikotniške transformacije za celo državo (RAZLIČICE 1.0, 2.0 in 3.0) ter podobnostne transformacije ob uporabi parametrov iz najdetajlnejše regionalizacije (na 24 transformacijskih območjih).



### 2.2.1 Testno območje

Vas Bočna se nahaja v Občini Gornji Grad. Območje koordinatnega katastra, ki je bilo izbrano kot testno območje za preizkus transformacij, je na pretežno ravninskem delu doline reke Drete; nadmorske višine zemljiškokatastrskih točk na izbranem testnem območju so med 397 in 450 metri, torej v razponu 53 metrov. Izbrano testno območje je prikazano na ortofotu, ki je v **prilogi 2.2-1**. Območje se nahaja znotraj kroga s premerom okoli 2 kilometra. Na izbranem testnem območju je nekaj manj kot 2800 zemljiškokatastrskih točk; okoli 1500 izmed njih je brez nadmorskih višin. Razporeditev zemljiškokatastrskih točk je prikazana v **prilogi 2.2-2**.

### 2.2.2 Izmera veznih točk za transformacijo

Izmera veznih točk za transformacijo je bila izvedena med 2. in 6. novembrom 2009. Za izmero so bile organizirane tri ekipe z GPS-sprejemniki (roverji) in ustreznim priborom. Točke so bile izmerjene z RTK-metodo (VRS), in sicer vsaka točka po dvakrat neodvisno (z vsaj polurnim časovnim razmikom). V novem državnem koordinatnem sistemu so bile določene zemljiškokatastrske točke v približno enakomernem trikotniškem gridu s povprečno razdaljo med točkami grida med 50 in 100 metri.

Porabljeno število delovnih ur, dnevnic in prevoženih kilometrov je v preglednicah spodaj in na naslednji strani:

URE SKUPAJ TERENSKO DELO	Peter Hojan	Majcen Dani	Turinek Lidija	Kogelnik Marjan	Ceklin Samo	Žulič Miran	Grilc Mojca		300
2.11.2009	7	6							13
4.11.2009	8			8	8				24
9.11.2009	7	6		8	8				29
10.11.2009	8	8		8	8				32
11.11.2009	10	10		9	9				38
12.11.2009	8	8				9	9		34
13.11.2009	7	6		7	7				27
17.11.2009	8	8							16
7.12.2009				6	6				12
	63	52	0	46	46	9	9	<b>225</b>	1,3 točke/ura
<b>URE SKUPAJ - PREVOZ - MALICA</b>									2,0 točki/ura

URE SKUPAJ PREVOZ + MALICA	Peter Hojan	Majcen Dani	Turinek Lidija	Kogelnik Marjan	Ceklin Samo	Žulič Miran	Grlic Mojca	
2.11.2009	2	2						4
4.11.2009	2			3	3			8
9.11.2009	2	2		3	3			10
10.11.2009	2	2		3	3			10
11.11.2009	2	2		3	3			10
12.11.2009	2	2				4	4	12
13.11.2009	2	2		3	3			10
17.11.2009	2	2						4
7.12.2009				3	3			6
	16	14	0	18	18	4	4	74

DNEVNICE SKUPAJ	Peter Hojan	Majcen Dani	Turinek Lidija	Kogelnik Marjan	Ceklin Samo	Žulič Miran	Grlic Mojca	
2.11.2009	0	0						0
4.11.2009	1			1	1			3
9.11.2009	0	0		1	1			2
10.11.2009	1	1		1	1			4
11.11.2009	1	1		1	1			4
12.11.2009	1	1				1	1	4
13.11.2009	0	0		0	0			0
17.11.2009	1	1						2
7.12.2009				0	0			0
	5	4	0	4	4	1	1	19

202,9 €

KM SKUPAJ	Peter Hojan	Majcen Dani	Turinek Lidija	Kogelnik Marjan	Ceklin Samo	Žulič Miran	Grlic Mojca	
2.11.2009	70	100						170
4.11.2009	70			110				180
9.11.2009	70	100		110				280
10.11.2009	70	100		110				280
11.11.2009	70	100		110				280
12.11.2009	70	100		110		140		420
13.11.2009	70	100		110				280
17.11.2009	70	100						170
7.12.2009				110				110
	560	700	0	770	0	140	0	2170

### 2.2.3 Testiranje različnih metod transformacije

Za testiranja so bile uporabljene in primerjane:

- različne metode transformacij in
- različni (pod)nizi veznih točk za transformacijo (različne gostote točk) oziroma
- različni nizi transformacijskih parametrov, ki so bili izračunani na podlagi teh točk.

Testirane so bile transformacije na ravnini, in sicer:

- pomična transformacija (2-parametrična),
- istomerna transformacija (3-parametrična),
- podobnostna transformacija (4-parametrična),
- afina transformacija (6-parametrična),
- projekтивna transformacija (8-parametrična) ter
- trikotniško zasnovana odsekoma afina transformacija (6×n-parametrična).

Poleg izmerjenih veznih točk so bili za testiranje uporabljeni še nizi:

- 22-ih veznih točk na območju št. 9 (regionalizacije na 24 transformacijskih območij) – Zgornjesavinjska regija z delom Koroške regije,
- 616-ih veznih točk RAZLIČICA 1.0 (glej Razvoj DGS 2007, str. 168),
- 578-ih veznih točk RAZLIČICA 2.0 (glej Razvoj DGS 2008, str. 30) in
- 899-ih virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0 (glej § 2.1).

Zadnji trije nizi pokrivajo celotno državno ozemlje in so bili uporabljeni za trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo, prvi niz pa je bil uporabljen za enostavno podobnostno transformacijo.

#### 2.2.3.1 Transformacija z uporabo izmerjenih veznih točk

Na izbranem testnem območju je bilo izmerjenih 117 z mejnimi znamenji označenih ZK-točk. ZK-točke so bile izmerjene z RTK-metodo (VRS). Praviloma so bile izmerjene po dvakrat neodvisno, torej s časovnim zamikom vsaj pol ure. Kot rezultat izmere ZK-točk so bile vzete aritmetične sredine obeh/vseh meritev, in sicer koordinate v D96/TM (e, n) in nadmorske višine (H), ki so bile izračunane na podlagi neposredno določenih elipsoidnih višin ( $h_{GRS80}$ ) ter upoštevaje absolutni geoid Slovenije.

Seznam neposredno določenih koordinat in višin ZK-točk iz posameznih RTK-meritev in aritmetičnih sredin le-teh ter srednjih odstopanj položajev in višin je v [Prilogi 2.2-3](#).

Povprečje položajnih odstopanj (od aritmetične sredine) na vseh 117-ih ZK-točkah je 1,2 cm, največje zabeleženo položajno odstopanje pa je 5,8 cm (ZK-točka 1307).

Povprečje višinskih odstopanj (od aritmetične sredine) na vseh 117-ih ZK-točkah je 1,7 cm, največje zabeleženo višinsko odstopanje pa je 6,7 cm (ZK-točka 1332).

Iz zbirke podatkov ZK so bile pridobljene še koordinate in višine ponovno izmerjenih ZK-točk, in sicer v D48/GK (y, x) in nadmorske višine (H). Tako smo dobili niz 117-ih veznih točk med obema (starim in novim) državnima koordinatnima sistemoma na izbranem testnem območju; niz veznih točk s pari koordinat (e, n, y, x) je v [Prilogi 2.2-4](#).

### 2.2.3.1.1 Pomična transformacija (samo oba pomika)

Kot optimalna dvoparametrična transformacija je bila določena transformacija z zgolj obema pomikoma (po obeh koordinatnih oseh). Vzeta sta povprečna pomika, določena iz pomikov za vseh 117 izmerjenih ZK-točk. Dobljena srednja pomika (D48/GK → D96/TM), kot tudi odstopanja od le-teh na posameznih ZK-točkah so v [Prilogi 2.2-5](#).

Enačbi transformacije:

$$X' = A + x$$

$$Y' = B + y$$

Parametri transformacije:

$$A = -3.69961 \times 10^2$$

$$B = 4.86154 \times 10^2$$

Geometrijski postopek transformacije:

- 1. translacija v smeri x-osi = -369.961 m
  - 2. translacija v smeri y-osi = 486.154 m
- (vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 117

Število potrebnih transformacijskih točk = 1

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 116

Povprečno absolutno odstopanje po e/y-osi je 2,1 cm, največje zabeleženo odstopanje pa je 11,4 cm. Povprečno absolutno odstopanje po n/x-osi je 2,4 cm, največje zabeleženo odstopanje pa je 10,8 cm. Povprečno položajno odstopanje je 3,6 cm, največje zabeleženo položajno odstopanje pa je 12,9 cm. Povprečno absolutno odstopanje nadmorskih višin je 9,1 cm, največje zabeleženo odstopanje pa je 26,9 cm.

### 2.2.3.1.2 Istomerna transformacija (oba pomika in zasuk)

Izometrična, istomerna ali evklidska transformacija je 3-parametrična transformacija (lahko izražena s štirimi parametri in dodatnim pogojem med njimi), ki uvaja oba pomika in zasuk. Ker ohranja razsežnosti jo imenujemo tudi togi premik.

Enačbi transformacije:

-----

$$X' = A + C \times x - D \times y$$

$$Y' = B + D \times x + C \times y$$

Dodatni pogoj:

$$C^2 + D^2 = 1$$

Parametri transformacije:

-----

$$A = -3.74905 \times 10^2$$

$$B = 5.05152 \times 10^2$$

$$C = 0.999999999245236$$

$$D = -0.000038852647419$$

Geometrijski postopek transformacije:

-----

1. protiurna rotacija (°) = 359.5951986067 (seksagezimalno)  
= 359.9977739074 (decimalno)
2. translacija v smeri x-osi = -374.905 m
3. translacija v smeri y-osi = 505.152 m  
(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 117

Število potrebnih transformacijskih točk = 1.5

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 115.5

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.028 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.029 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.028 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.040 m

Najslabša je transformacijska točka 1111.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 0.118 m, kar je 2.96-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov izometrične transformacije je v [Prilogi 2.2-6](#).

### 2.2.3.1.3 Podobnostna transformacija

Podobnostna transformacija je 4-parametrična transformacija, ki uvaja oba pomika, zasuk in spremembo merila. Ohranja podobnost – ohranjajo se koti – spremenita pa se položaj in orientacija.

Enačbi transformacije:

-----

$$X' = A + C \times x - D \times y$$

$$Y' = B + D \times x + C \times y$$

Parametri transformacije:

-----

$$A = -3.73507 \times 10^2$$

$$B = 5.05515 \times 10^2$$

$$C = 0.999997139083211$$

$$D = -0.000038852536294$$

Površinsko merilo = 0.99999428 (pov. deformacija -0.001 %)

Linijsko merilo = 0.99999714 (lin. deformacija -0.000 %)

Geometrijski postopek transformacije:

-----

1. pomanjšava: faktor merila = 0.9999971398

2. protiurna rotacija (°) = 359.5951986066 (seksagezimalno)  
= 359.9977739072 (decimalno)

3. translacija v smeri x-osi = -373.507 m

4. translacija v smeri y-osi = 505.515 m

(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 117

Število potrebnih transformacijskih točk = 2

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 115

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.028 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.029 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.028 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.040 m

Najslabša je transformacijska točka 1111.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 0.117 m, kar je 2.92-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov podobnostne transformacije je v [Prilogi 2.2-7](#).

### 2.2.3.1.4 Afina transformacija

Afina transformacija je 6-parametrična transformacija, ki uvaja zasuk, pomik in usmerjeni razteg (različni spremembi meril v smereh obeh koordinatnih osi), kar povzroči kotno striženje. Ohranja vzporednost linij in delilno razmerje.

Enačbi transformacije:

-----

$$X=A+B \times x+C \times y$$

$$Y=D+E \times x+F \times y$$

Parametri transformacije:

-----

$$A = -3.72972 \times 10^2$$

$$B = 0.999992756090730$$

$$C = 0.000051494176452$$

$$D = 5.03939 \times 10^2$$

$$E = -0.000036780807614$$

$$F = 1.000001563306138$$

Osno striženje (°)	=	0.00030348 (seksagezimalno)
	=	0.00084299 (decimalno)
Največja kotna deform. (°)	=	0.00035370 (seksagezimalno)
	=	0.00098250 (decimalno)
Površinsko merilo	=	0.99999432 (pov. deformacija -0.001 %)
Največje linijsko merilo	=	1.00000573 (lin. deformacija 0.001 %)
Najmanjše linijsko merilo	=	0.99998859 (lin. deformacija -0.001 %)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 117

Število potrebnih transformacijskih točk = 3

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 114

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.028 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.029 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.028 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.040 m

Najslabša je transformacijska točka 1057.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 0.117 m, kar je 2.92-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov afine transformacije je v [Prilogi 2.2-8](#).

### 2.2.3.1.5 Projektivna transformacija

Projektivna transformacija je 8-parametrična transformacija, ki omogoča simulacijo centralne projekcije iz ene ravnine na drugo. Ohranja ravnost linij in dvorazmerja.

Enačbi transformacije:

-----

$$X = \frac{A+Bx+Cy}{1+Gx+Hy}$$

$$Y = \frac{D+Ex+Fy}{1+Gx+Hy}$$

Parametri transformacije:

-----

A = -1.512845933002373×10<sup>4</sup>  
 B = 1.051961023405735  
 C = 0.321797796533894×10<sup>-1</sup>  
 D = -3.340441660249274×10<sup>3</sup>  
 E = 0.566995189813003×10<sup>-2</sup>  
 F = 1.038574977771877  
 G = 0.446208165905649×10<sup>-7</sup>  
 H = 0.656759443406614×10<sup>-7</sup>

Število uporabljenih transformacijskih točk = 117

Število potrebnih transformacijskih točk = 4

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 113

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.027 m

Standardni odklon y-koordinat točk = 0.029 m

Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.028 m

Srednji standardni odklon položajev točk = 0.039 m

Najslabša je transformacijska točka 1057.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 0.118 m, kar je 3.00-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Poročilo o izračunu optimalnih transformacijskih parametrov projektivne transformacije je v [Prilogi 2.2-9](#).



### 2.2.3.1.6 Trikotniška transformacija

Testirana je bila uporaba trikotniške transformacije na podlagi različnih (pod)nizov 117-ih izmerjenih ZK-točk. Izbrani nizi veznih točk se razlikujejo glede na izbrano povprečno razdaljo, gre torej za testiranje transformacije ob različnih gostotah točk. Testirane so bile naslednje različice:

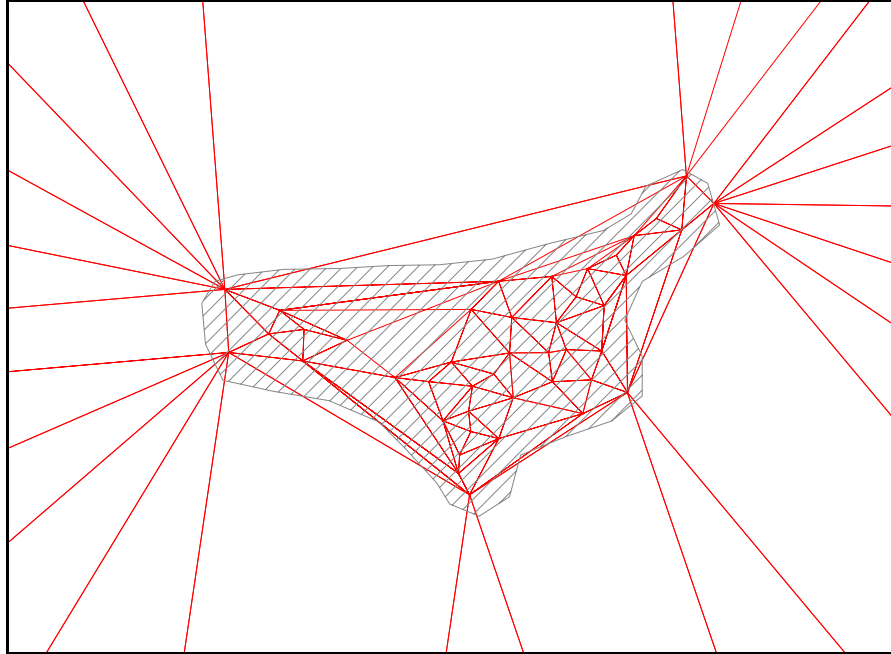
- reducirani niz izmerjenih ZK-točk s povprečno razdaljo 100 m (43 točk),
- reducirani niz izmerjenih ZK-točk s povprečno razdaljo 200 m (20 točk),
- reducirani niz izmerjenih ZK-točk s povprečno razdaljo 300 m (11 točk) in
- reducirani niz izmerjenih ZK-točk s povprečno razdaljo 500 m (7 točk).

Vsi reducirani oziroma razredčeni podnizi izmerjenih ZK-točk so dobljeni z ročnim izborom točk. Pri izboru točk je bil upoštevan zgolj geometrijski kriterij; kakovost oz. reprezentativnost posameznih točk (ujemanje s trendom v neposredni okolici – glej § 2.1) ni bila upoštevana.

Kakovost trikotniške transformacije z izbranimi nizi je bila preizkušena na 56-ih izmerjenih ZK-točkah, ki niso bile kot vezne točke izbrane v nobenega izmed navedenih štirih (pod)nizov vseh izmerjenih ZK-točk.

### 2.2.3.1.6.1 Trikotniška transformacija s 100-metrsko povprečno razdaljo veznih točk

Reducirani niz s povprečno razdaljo 100 m obsega 43 ZK-točk. Izbrane ZK-točke (skupaj s pomožnimi) tvorijo 101 trikotnik; skupaj s testnim območjem so prikazani na sliki 2.2-1.



Slika 2.2-1: Razporeditev trikotnikov za niz s povprečno razdaljo 100 m.

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
<b>3,9</b>	<b>12,4</b>

Preglednica 2.2-1: Položajna odstopanja na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 100 m.

Največje deformacije za niz s povprečno razdaljo 100 m so:

- največja površinska deformacija =  $\pm 0,233 \%$  ( $\pm 2330$  ppm)
- največja dolžinska deformacija =  $\pm 0,228 \%$  ( $\pm 2280$  ppm)
- največja kotna deformacija (striženje) =  $11'10''$  ( $\approx 0,003248$  rad)

Koordinatna in položajna odstopanja na posameznih izmerjenih ZK-točk po transformaciji so v preglednici 2.2-2:

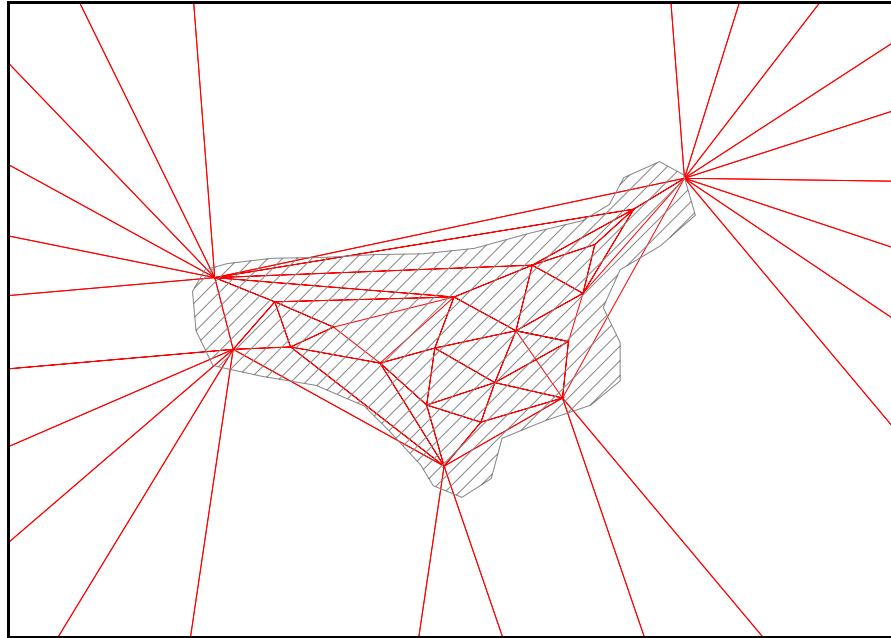
Točka	Odstopanja [cm]		
	$\delta y$	$\delta x$	$\delta d$
97	-0,020	0,040	0,045
136	-0,010	0,070	0,071
137	-0,070	0,000	0,070
254	-0,030	0,030	0,042
987	0,060	-0,060	0,085
1024	0,000	-0,010	0,010
1037	0,000	-0,020	0,020

1067	0,040	-0,030	0,050
1068	0,050	0,020	0,054
1079	0,010	0,020	0,022
1103	-0,020	-0,040	0,045
1106	-0,020	0,010	0,022
1110	0,020	-0,030	0,036
1111	-0,070	-0,070	0,099
1151	-0,060	0,030	0,067
1156	-0,060	0,020	0,063
1165	0,000	-0,020	0,020
1175	-0,010	-0,030	0,032
1267	0,020	0,030	0,036
1300	-0,020	0,010	0,022
1307	-0,050	-0,010	0,051
1315	-0,020	0,020	0,028
1317	-0,020	-0,010	0,022
1332	-0,010	0,050	0,051
1378	-0,030	-0,120	0,124
1384	-0,010	-0,010	0,014
1397	0,020	-0,040	0,045
1401	0,080	-0,020	0,082
1419	0,040	0,010	0,041
1420	0,010	-0,010	0,014
1438	0,010	0,030	0,032
1442	0,030	0,040	0,050
1531	-0,020	-0,050	0,054
1536	0,020	-0,010	0,022
1595	0,020	0,040	0,045
1599	-0,020	0,050	0,054
1610	-0,030	0,020	0,036
1675	-0,010	-0,010	0,014
1697	0,010	-0,020	0,022
1718	0,010	0,000	0,010
1772	0,020	0,020	0,028
1829	0,010	-0,050	0,051
1849	-0,020	0,020	0,028
1892	-0,030	0,020	0,036
1901	-0,020	-0,010	0,022
1914	-0,030	0,040	0,050
1989	0,010	-0,010	0,014
2005	-0,010	-0,010	0,014
2029	0,010	-0,020	0,022
2047	0,000	0,040	0,040
2090	0,010	-0,010	0,014
2091	0,020	-0,020	0,028
2097	-0,010	0,040	0,041
2100	0,030	-0,020	0,036
2122	-0,010	0,000	0,010
2128	-0,010	0,000	0,010

*Preglednica 2.2-2: Pregled položajnih odstopanj na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 100 m.*

### 2.2.3.1.6.2 Trikotniška transformacija z 200-metrsko povprečno razdaljo veznih točk

Reducirani niz s povprečno razdaljo 200 m obsega 20 ZK-točk. Izbrane ZK-točke (skupaj s pomožnimi) tvorijo 55 trikotnikov, in testno območje so prikazani na sliki 2.2-2.



Slika 2.2-2: Razporeditev trikotnikov za niz s povprečno razdaljo 200 m.

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
<b>4,4</b>	<b>13,2</b>

Preglednica 2.2-3: Položajna odstopanja na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 200 m.

Največje deformacije za niz s povprečno razdaljo 200 m so:

- največja površinska deformacija =  $\pm 0,150 \%$  ( $\pm 1500$  ppm)
- največja dolžinska deformacija =  $\pm 0,154 \%$  ( $\pm 1540$  ppm)
- največja kotna deformacija (striženje) =  $6'31''$  ( $\approx 0,0018948$  rad)

Koordinatna in položajna odstopanja na posameznih izmerjenih ZK-točk po transformaciji so v preglednici 2.2-4:

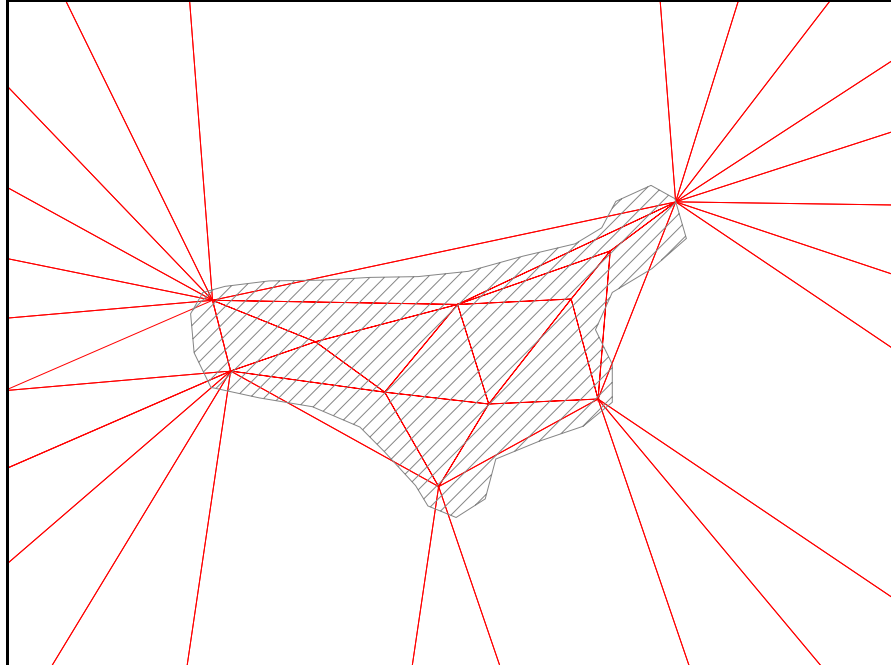
Točka	Odstopanja [cm]		
	$\delta y$	$\delta x$	$\delta d$
97	-0,020	0,030	0,036
136	-0,040	0,100	0,108
137	-0,100	0,040	0,108
254	-0,030	0,020	0,036
987	0,020	-0,030	0,036
1024	0,010	-0,020	0,022
1037	0,000	-0,020	0,020
1067	-0,010	0,020	0,022

1068	-0,010	0,080	0,081
1079	-0,040	0,070	0,081
1103	-0,020	-0,030	0,036
1106	-0,030	0,020	0,036
1110	-0,060	0,050	0,078
1111	-0,130	-0,020	0,132
1151	-0,060	0,020	0,063
1156	-0,060	0,000	0,060
1165	0,010	0,030	0,032
1175	-0,010	-0,030	0,032
1267	0,020	0,070	0,073
1300	-0,020	0,030	0,036
1307	-0,050	-0,020	0,054
1315	-0,020	0,020	0,028
1317	-0,010	0,000	0,010
1332	0,000	0,060	0,060
1378	-0,030	-0,110	0,114
1384	-0,010	0,000	0,010
1397	0,030	0,040	0,050
1401	0,090	0,020	0,092
1419	0,000	0,020	0,020
1420	0,010	-0,040	0,041
1438	0,030	0,010	0,032
1442	0,030	0,040	0,050
1531	0,020	-0,090	0,092
1536	0,030	-0,030	0,042
1595	0,020	0,030	0,036
1599	-0,010	0,030	0,032
1610	0,000	-0,010	0,010
1675	-0,010	-0,020	0,022
1697	-0,010	0,000	0,010
1718	-0,030	0,020	0,036
1772	0,030	-0,020	0,036
1829	0,000	0,000	0,000
1849	-0,030	0,050	0,058
1892	0,010	-0,030	0,032
1901	0,000	-0,030	0,030
1914	0,010	0,000	0,010
1989	0,020	-0,040	0,045
2005	-0,020	-0,040	0,045
2029	0,030	-0,030	0,042
2047	-0,010	0,020	0,022
2090	0,010	0,020	0,022
2091	0,010	0,010	0,014
2097	0,000	0,040	0,040
2100	0,030	0,000	0,030
2122	-0,020	0,030	0,036
2128	0,000	-0,020	0,020

*Preglednica 2.2-4: Pregled položajnih odstopanj na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 200 m.*

### 2.2.3.1.6.3 Trikotniška transformacija s 300-metrsko povprečno razdaljo veznih točk

Reducirani niz s povprečno razdaljo 300 m obsega 11 ZK-točk. Izbrane ZK-točke (skupaj s pomožnimi) tvorijo 40 trikotnikov, in testno območje so prikazani na sliki 2.2-3.



Slika 2.2-3: Razporeditev trikotnikov za niz s povprečno razdaljo 300 m.

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
<b>4,0</b>	<b>12,2</b>

Preglednica 2.2-5: Položajna odstopanja na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 300 m.

Največje deformacije za niz s povprečno razdaljo 300 m so:

- največja površinska deformacija =  $\pm 0,025 \%$  ( $\pm 250$  ppm)
- največja dolžinska deformacija =  $\pm 0,030 \%$  ( $\pm 300$  ppm)
- največja kotna deformacija (striženje) =  $1'11''$  ( $\approx 0,000343$  rad)

Koordinatna in položajna odstopanja na posameznih izmerjenih ZK-točk po transformaciji so v preglednici 2.2-6:

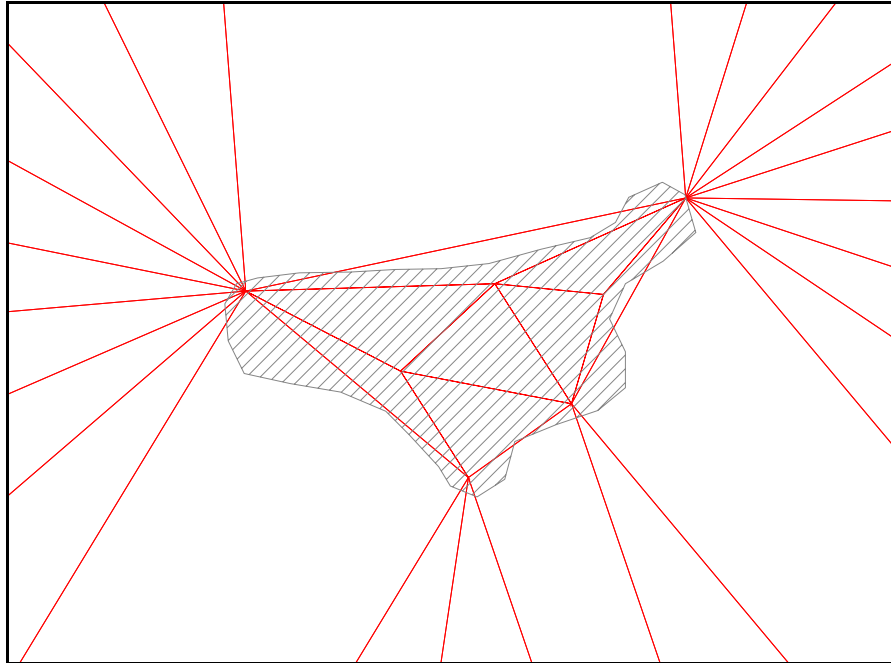
Točka	Odstopanja [cm]		
	$\delta y$	$\delta x$	$\delta d$
97	-0,020	-0,020	0,028
136	-0,010	0,080	0,081
137	-0,070	0,010	0,071
254	-0,030	0,010	0,032
987	0,020	0,000	0,020
1024	0,010	-0,020	0,022
1037	0,000	-0,020	0,020

1067	0,020	0,000	0,020
1068	0,020	0,050	0,054
1079	0,010	0,020	0,022
1103	-0,020	-0,020	0,028
1106	-0,020	0,030	0,036
1110	-0,030	0,020	0,036
1111	-0,120	-0,020	0,122
1151	-0,060	-0,040	0,072
1156	-0,070	-0,010	0,071
1165	0,010	-0,040	0,041
1175	-0,030	-0,060	0,067
1267	0,010	0,020	0,022
1300	-0,030	0,020	0,036
1307	-0,060	-0,020	0,063
1315	-0,030	0,020	0,036
1317	-0,020	0,000	0,020
1332	0,000	0,060	0,060
1378	-0,040	-0,110	0,117
1384	-0,030	-0,010	0,032
1397	0,030	0,000	0,030
1401	0,070	-0,010	0,071
1419	0,000	0,010	0,010
1420	-0,020	-0,010	0,022
1438	0,000	0,020	0,020
1442	0,020	0,030	0,036
1531	-0,020	-0,070	0,073
1536	0,000	-0,030	0,030
1595	0,020	0,020	0,028
1599	-0,040	0,030	0,050
1610	-0,040	-0,010	0,041
1675	-0,020	0,010	0,022
1697	-0,010	0,000	0,010
1718	-0,030	0,010	0,032
1772	-0,010	0,010	0,014
1829	0,000	-0,040	0,040
1849	-0,030	0,020	0,036
1892	-0,030	0,020	0,036
1901	-0,040	0,000	0,040
1914	-0,030	0,030	0,042
1989	-0,020	-0,040	0,045
2005	-0,030	-0,020	0,036
2029	0,010	-0,010	0,014
2047	-0,020	0,050	0,054
2090	0,010	0,020	0,022
2091	0,010	0,010	0,014
2097	-0,030	0,040	0,050
2100	0,030	0,000	0,030
2122	-0,020	0,030	0,036
2128	-0,010	0,010	0,014

*Preglednica 2.2-6: Pregled položajnih odstopanj na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 300 m.*

**2.2.3.1.6.4 Trikotniška transformacija s 500-metrsko povprečno razdaljo veznih točk**

Reducirani niz s povprečno razdaljo 500 m obsega 7 ZK-točk. Izbrane ZK-točke (skupaj s pomožnimi) tvorijo 31 trikotnikov, in testno območje so prikazani na sliki 2.2-4.



Slika 2.2-4: Razporeditev trikotnikov za niz s povprečno razdaljo 500 m.

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
<b>4,0</b>	<b>11,7</b>

Preglednica 2.2-7: Položajna odstopanja na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 500 m.

Največje deformacije za niz s povprečno razdaljo 500 m so:

- največja površinska deformacija = ± **0,036 %** (± 360 ppm)
- največja dolžinska deformacija = ± **0,045 %** (± 450 ppm)
- največja kotna deformacija (striženje) = **1'54"** (≈ 0,005518 rad)

Koordinatna in položajna odstopanja na posameznih izmerjenih ZK-točk po transformaciji so v preglednici 2.2-8:

Točka	Odstopanja [cm]		
	δy	δx	δd
97	-0,010	-0,020	0,022
136	-0,010	0,080	0,081
137	-0,070	0,010	0,071
254	-0,010	0,010	0,014
987	0,040	0,000	0,040
1024	0,030	-0,020	0,036
1037	0,010	-0,020	0,022



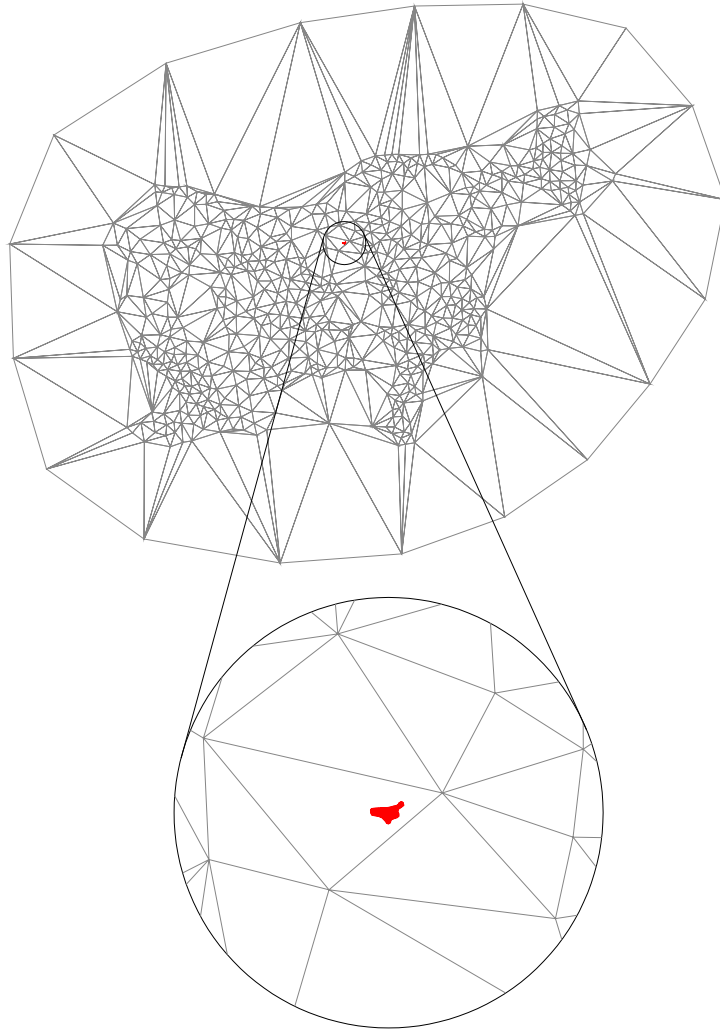
1067	0,020	0,000	0,020
1068	0,020	0,050	0,054
1079	0,010	0,020	0,022
1103	-0,030	-0,020	0,036
1106	-0,030	0,020	0,036
1110	-0,010	0,020	0,022
1111	-0,110	-0,020	0,112
1151	-0,050	-0,030	0,058
1156	-0,050	-0,020	0,054
1165	0,020	-0,030	0,036
1175	-0,030	-0,050	0,058
1267	0,010	0,030	0,032
1300	-0,040	0,020	0,045
1307	-0,070	-0,020	0,073
1315	-0,040	0,020	0,045
1317	-0,040	0,000	0,040
1332	-0,020	0,060	0,063
1378	-0,040	-0,110	0,117
1384	-0,030	-0,010	0,032
1397	0,040	0,000	0,040
1401	0,070	-0,010	0,071
1419	0,030	-0,010	0,032
1420	0,010	-0,030	0,032
1438	0,030	0,010	0,032
1442	0,050	0,020	0,054
1531	0,000	-0,080	0,080
1536	0,020	-0,040	0,045
1595	0,040	0,010	0,041
1599	-0,010	0,030	0,032
1610	-0,020	-0,020	0,028
1675	-0,010	-0,020	0,022
1697	0,000	-0,030	0,030
1718	-0,010	-0,020	0,022
1772	0,020	0,000	0,020
1829	0,020	-0,060	0,063
1849	-0,010	0,000	0,010
1892	0,000	0,000	0,000
1901	-0,020	-0,010	0,022
1914	0,000	0,010	0,010
1989	0,010	-0,050	0,051
2005	0,000	-0,030	0,030
2029	0,030	-0,030	0,042
2047	0,000	0,040	0,040
2090	0,010	0,020	0,022
2091	0,010	0,010	0,014
2097	-0,020	0,030	0,036
2100	0,030	0,000	0,030
2122	-0,020	0,030	0,036
2128	0,000	-0,020	0,020

*Preglednica 2.2-8: Pregled položajnih odstopanj na 56-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk s povprečno razdaljo 500 m.*

## 2.2.3.2 Trikotniška transformacija z uporabo državnih nizov veznih točk

### 2.2.3.2.1 Trikotniška transformacija RAZLIČICA 1.0

Niz veznih točk RAZLIČICA 1.0 za trikotniško transformacijo vsebuje 616 veznih točk, ki tvorijo 1212 trikotnikov. Razporeditev veznih točk in testno območje so prikazani na sliki 2.2-5.



Slika 2.2-5: Razporeditev trikotnikov za niz veznih točk RAZLIČICA 1.0.

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
11,7	21,2

Preglednica 2.2-9: Položajna odstopanja na 117-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk RAZLIČICA 1.0.

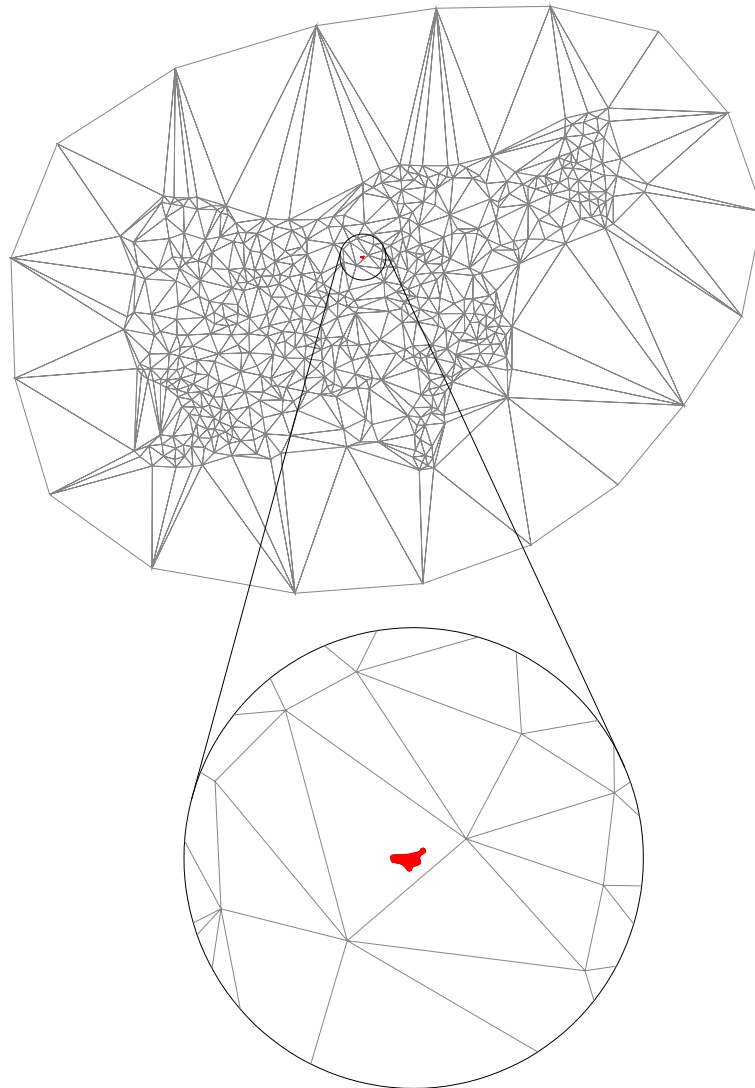
Največje deformacije za niz veznih točk RAZLIČICA 1.0:

- največja površinska deformacija =  $\pm 0,014 \%$  ( $\pm 140$  ppm)
- največja dolžinska deformacija =  $\pm 0,012 \%$  ( $\pm 120$  ppm)
- največja kotna deformacija (striženje) =  $3'02''$  ( $\approx 0,000147$  rad)

Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk RAZLIČICA 1.0 je v [Prilogi 2.2-10](#).

### 2.2.3.2.2 Trikotniška transformacija RAZLIČICA 2.0

Niz veznih točk RAZLIČICA 2.0 za trikotniško transformacijo vsebuje 578 veznih točk, ki tvorijo 1136 trikotnikov. Razporeditev veznih točk in testno območje so prikazani na sliki 2.2-6.



Slika 2.2-6: Razporeditev trikotnikov za niz veznih točk RAZLIČICA 2.0.

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
11,2	21,4

Preglednica 2.2-10: Položajna odstopanja na 117-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk RAZLIČICA 2.0.

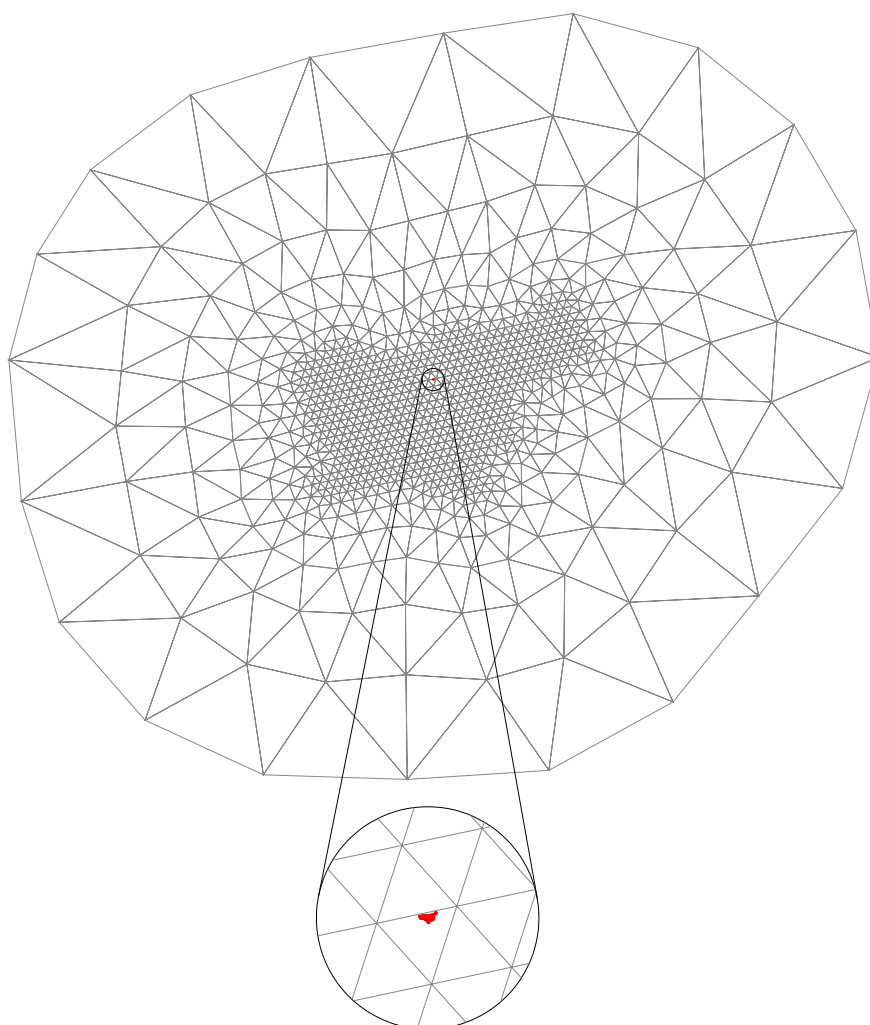
Največje deformacije za niz veznih točk RAZLIČICA 2.0:

- največja površinska deformacija =  $\pm 0,009 \%$  ( $\pm 90$  ppm)
- največja dolžinska deformacija =  $\pm 0,009 \%$  ( $\pm 90$  ppm)
- največja kotna deformacija (striženje) =  $19''$  ( $\approx 0,000091$  rad)

Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk RAZLIČICA 2.0 je v [Prilogi 2.2-11](#).

### 2.2.3.2.3 Trikotniška transformacija RAZLIČICA 3.0

Niz veznih točk RAZLIČICA 3.0 za trikotniško transformacijo vsebuje 899 virtualnih veznih točk, ki tvorijo 1776 trikotnikov. Razporeditev virtualnih veznih točk in testno območje so prikazani na sliki 2.2-7.



Slika 2.2-7: Razporeditev trikotnikov za niz virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0.

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
<b>10,2</b>	<b>20,1</b>

Preglednica 2.2-11: Položajna odstopanja na 117-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0.

Največje deformacije za niz virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0:

- največja površinska deformacija = ± **0,085 ‰** (± 85 ppm)
- največja dolžinska deformacija = ± **0,065 ‰** (± 65 ppm)
- največja kotna deformacija (striženje) = **15''** (≈ 0,000073 rad)

Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0 je v [Prilogi 2.2-12](#).

### 2.2.3.3 Podobnostna transformacija z uporabo regionalnih parametrov

Območje vasi bočna se nahaja znotraj območja št. 9 (regionalizacije na 24 transformacijskih območij) – Zgornjesavinjska regija z delom Koroške regije. Površina območja št. 9 je 765 km<sup>2</sup>. Za določitev transformacijskih parametrov je bilo na tem območju na voljo 22 veznih (ETRS-) točk. Gostota veznih točk na tem območju je torej precej skromna: 1 točka na 34,8 km<sup>2</sup>.

Izračunani transformacijski parametri za območje št. 9 (za ravninsko podobnostno transformacijo) so v [prilogi 2.2-13](#), ocena natančnosti transformacije in ostali metapodatki pa so v [prilogi 2.2-14](#).

Gre za identično transformacijo kot v § 2.2.3.1.3, le da so namesto izmerjenih ZK-točk vzete ETRS-točke iz območja 9.

Enačbi transformacije:

$$\begin{aligned} X' &= A + C \times x - D \times y \\ Y' &= B + D \times x + C \times y \end{aligned}$$

Parametri transformacije:

$$\begin{aligned} A &= -3.798826962348540 \times 10^2 \\ B &= 4.974650040656561 \times 10^2 \\ C &= 1.000013237531563 \\ D &= -0.000026680955060 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Površinsko merilo} &= 1.00002648 \quad (\text{pov. deformacija } 0.003 \%) \\ \text{Linijsko merilo} &= 1.00001324 \quad (\text{lin. deformacija } 0.001 \%) \end{aligned}$$

Geometrijski postopek transformacije:

1. povečava: faktor merila = 1.0000132379
2. protiurna rotacija (°) = 359.5954496731 (seksagezimalno)  
= 359.9984713141 (decimalno)
3. translacija v smeri x-osi = -379.883 m
4. translacija v smeri y-osi = 497.465 m  
(vse glede na izhodišče koordinatnega sistema)

Število uporabljenih transformacijskih točk = 22

Število potrebnih transformacijskih točk = 2

Število nadštevilnih transformacijskih točk = 20

Standardni odklon x-koordinat točk = 0.092 m  
 Standardni odklon y-koordinat točk = 0.097 m  
 Srednji standardni odklon koordinat točk = 0.095 m  
 Srednji standardni odklon položajev točk = 0.134 m

Najslabša je transformacijska točka 1186.

Po izvedeni transformaciji odstopa za 0.249 m, kar je 1.86-kratnik srednjega standardnega odklona položajev transformacijskih točk.

Rezultati analize izmerjenih ZK-točk po transformaciji so v preglednici 2.2-12:

Položajno odstopanje [cm]	
srednje	največje
8,4	18,8

*Preglednica 2.2-12: Položajna odstopanja na 117-ih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk za območje št. 9.*

Poročilo o analizi odstopanj na izmerjenih ZK-točkah po transformaciji s pomočjo niza veznih točk za območje št. 9 je v [Prilogi 2.2-15](#).

## 2.2.4 Zaključki primerjav različnih metod transformacij

Primerjava položajnih odstopanj po transformaciji 117-ih izmerjenih ZK-točk na testnem območju Bočna ub uporabi različno zasnovanih transformacij:

Vezne točke		Model transformacije	Število		Položajna odst. [cm]		
			param.	vez. točk	pov./std.	najv.	
izmerjene ZK-točke na testnem območju	- vse	pomična	2	117	<b>3,6</b>	<b>12,9</b>	
		istomerna	3	117	<b>4,0</b>	<b>11,8</b>	
		podobnostna	4	117	<b>4,0</b>	<b>11,7</b>	
		afina	6	117	<b>4,0</b>	<b>11,7</b>	
		projektivna	8	117	<b>3,9</b>	<b>11,8</b>	
	- izbor gostote:	100 m	trikotniška	6×n	43	<b>3,9</b>	<b>12,4</b>
		200 m	trikotniška	6×n	20	<b>4,4</b>	<b>13,2</b>
		300 m	trikotniška	6×n	11	<b>4,0</b>	<b>12,2</b>
		500 m	trikotniška	6×n	7	<b>4,0</b>	<b>11,7</b>
	RAZLIČICA 1.0		trikotniška	6×n	616 (3)	<b>11,7</b>	<b>21,2</b>
RAZLIČICA 2.0		trikotniška	6×n	578 (3)	<b>11,2</b>	<b>21,4</b>	
RAZLIČICA 3.0		trikotniška	6×n	899 (3)	<b>10,2</b>	<b>20,1</b>	
ETRS-točke – obm. 9		podobnostna	4	22	<b>8,4</b>	<b>18,8</b>	

Pojasnila k zgornji preglednici:

Merila za primerjavo kakovosti različnih transformacij so dobljena položajna odstopanja na vseh 117-ih izmerjenih ZK-točkah. Navedena so povprečna položajna odstopanja (leva poravnava) ali pa standardna položajna odstopanja (desna poravnava) – slednja so navedena v primerih, ko so transformacijski parametri določeni na podlagi vseh 117-ih izmerjenih ZK-točk, in gre torej za oceno iz izravnave (optimalni vklop). Dodatno merilo je največje zabeleženo položajno odstopanje med vsemi 117-imi transformiranimi ZK-točkami. V primerjavo je vključenih 13 poskusov transformacije ZK-točk na izbranem testnem območju. Razlike so v izboru veznih točk za transformacijo in uporabljenem modelu transformacije. Ključna podatka sta torej še število uporabljenih veznih točk in število transformacijskih parametrov.

Komentar k rezultatom testiranja:

Med 13-imi poskusi transformacije ZK-točk na izbranem testnem območju so:

- v 9-ih primerih za transformacijo uporabljene (v okviru testiranja) izmerjene ZK-točke na tem območju in
- v 4-ih primerih za transformacijo uporabljene t. i. ETRS-točke oziroma iz njih pridobljeni nizi veznih točk za vsedrjavno trikotniško zasnovano transformacijo.

Predvsem gre torej za primerjavo dosegljive natančnosti transformacije z dodatnimi terenskimi meritvami na danem območju in brez dodatnih meritev.

Testiranje dosegljive natančnosti transformacije ob uporabi izmerjenih ZK-točk na izbranem testnem območju vključuje optimalne vklope z najbolj osnovnimi metodami transformacije (pomična – samo oba pomika, istomerna ali izometrična – papirčkova metoda, podobnostna, afina in projektivna). Vse te metode ohranjajo ravnost linij in dvorazmerja. Poleg optimalnih vklopov je bil izveden še niz preizkusov s trikotniško

transformacijo, in sicer ob izborih veznih točk različne gostote. Gostota je bila definirana s povprečno razdaljo med sosednjimi veznimi točkami (100 m, 200 m, 300 m in 500 m).

Osnovne ugotovitve glede dosegljive natančnosti transformacije na danem testnem območju ob uporabi izmerjenih veznih točk so:

- metoda transformacije ne vpliva bistveno na doseženo natančnost transformacije;
- gostota veznih točk (za trikotniško transformacijo) ne vpliva bistveno na doseženo natančnost transformacije;
- v vsakem primeru je dosegljiva natančnost transformacije (standardni odklon položaja točke po transformaciji) približno v mejah predpisane natančnosti izmere v zemljiškem katastru (4 cm).

Nujne opombe k zgornjim ugotovitvam so:

- za izbrano testno območje velja, da gre za kakovostno izvedeno novo izmero novejšega datuma (po letu 2000);
- izbrano testno območje je za izmero relativno ugodno (malo razgiban relief);
- ne gre za celo katastrsko občino, ampak za manjše območje s polmerom okoli 1 km.

***Na osnovi zgornjih ugotovitev je za transformacijo primerljivih območij koordinatnega katastra (tako po velikosti kot po kakovosti izmere) predlagana uporaba optimalne ravninske podobnostne transformacije. Za določitev optimalnih parametrov transformacije zadošča okoli 10 izmerjenih ZK-točk. Točke morajo biti čimbolj enakomerno razporejene po celotnem območju in seveda nedvoumno identificirane. Za metodo izmere je predlagana RTK-metoda. Vsaka točka mora biti izmerjena dvakrat neodvisno, in sicer s časovnim zamikom vsaj pol ure.***

Testiranje dosegljive natančnosti transformacije ob uporabi t. i. ETRS-točk oziroma iz njih pridobljenh nizov veznih točk za vsedržavno trikotniško zasnovano transformacijo vključuje testiranje trikotniške transformacije z nizi veznih točk RAZLIČICE 1.0, 2.0 in 3.0 ter regionalne ravninske podobnostne transformacije (razdelitev države na 24 območij – testno območje št. 9).

Osnovne ugotovitve glede dosegljive natančnosti transformacij na danem testnem območju ob uporabi t. i. ETRS-točk oziroma iz njih pridobljenh nizov veznih točk so:

- natančnosti posameznih različic vsedržavne trikotniške transformacije (RAZLIČICE 1.0, 2.0 in 3.0) so na izbranem testnem območju zelo podobne;
- natančnost trikotniške transformacije oziroma regionalne ravninske podobnostne transformacije (razdelitev na 24 regij) je zelo primerljiva;
- v vsakem primeru je dosegljiva natančnost transformacije na izbranem testnem območju (povprečno odstopanje položaja točke po transformaciji) približno v mejah decimetrskosti natančnosti.



Nujne opombe k zadnjim ugotovitvam so:

- testno območje Bočna se nahaja na območju, kjer je gostota ETRS-točk sorazmerno majhna;
- testno območje Bočna se nahaja na območju, kjer so zaznana precejšnja lokalna nesoglasja med vektorji pomikov (glej npr. sliko 2.1-21).

***Izbrano testno območje Bočna, je torej na podlagi analiz kakovosti transformacije eno izmed najbolj neugodnih. Zato je dosežena natančnost transformacije – približno decimetrsko natančnost – v okviru pričakovanj.***

Na podlagi izvedenega testiranja lahko ugotovimo, da bi za območja:

- primerljivih razsežnosti (polmer do 1 kilometer),
- primerljive kakovosti nove izmere (tj. novejšega datuma, npr. po letu 1990),
- zmerno razgibanega reliefa in zmerne vegetacije (tj. primerno za izmero z GNSS-tehnologijo),

za kakovostno transformacijo v novi koordinatni sistem zadoščalo izmeriti 10 do 15 zanesljivo identificiranih ZK-točk. Pri tem je pogoj še enakomerna razporejenost. Med njimi bi 7 do 10 točk bi uporabili za določitev optimalnih transformacijskih parametrov (optimalni vklop po metodi najmanjših kvadratov), preostale točke pa bi služile za neodvisno kontrolo kakovosti transformacije.

Predlagana je ravninska podobnostna transformacija. Kriterij ustreznosti transformacije za primerljiva območja je:

- položajni standardni odklon točk po transformaciji < 5 cm,
- največje položajno odstopanje po transformaciji < 15 cm.

Na podlagi izvedenega terenskega testa in ocene stroškov terenske izmere je skupen obseg del za obravnavano testno območje (ob optimalnem obsegu terenskih meritev): en človek en dan terenske izmere in en človek en do dva dneva priprave in obdelave terenske izmere.

## **2.3 Protokol vzpostavitve lokalne geodetske mreže za klasično detajlno izmero (NALOGA 1.3)**

*Poročilo FGG: dr. Bojan Stopar, mag. Oskar Sterle, dr. Polona Pavlovčič Prešeren,  
dr. Tomaž Ambrožič, dr. Dušan Kogoj, dr. Simona Savšek  
Poročilo GI: dr. Mihaela Triglav Čekada in Sandi Berk*

### **Povzetek**

Rezultat naloge je delovno gradivo na temo vzpostavitve izmeritvenih mrež za klasično detajlno izmero.

Prvi osnutek poročila za to nalogo, je bil pripravljen na GI. Na delovnem sestanku (dne 03. 12. 2009) smo se na predlog FGG dogovorili za nekaj sprememb in dopolnitev, ki smo jih nato v pripravljeno besedilo vnesli na GI. Delno že usklajen osnutek osnutek je bil po dogovoru poslan v dokončanje FGG (dne 24. 12. 2009).

Zaradi nekaterih razlik v pogledih na obravnavano problematiko je bila na FGG naknadno sprejeta odločitev, da pripravijo še svoj dokument. Glede na zelo različna izhodišča in poglede na obravnavano problematiko tudi na seji Komisije za DGS na tej točki dnevnega reda (glej tudi § 5.1), smo se odločili, da v to poročilo vključimo oba dokumenta. Pripravljena sta namreč na osnovi nekoliko različnih izhodišč in kot takšna lahko predstavljata osnovo za nadaljnjo obravnavo te problematike.

### **2.3.1 Protokol vzpostavitve lokalne geodetske mreže za klasično detajlno izmero (gradivo FGG)**

*Pripravili: dr. Bojan Stopar, mag. Oskar Sterle, dr. Polona Pavlovčič Prešeren, dr. Tomaž Ambrožič, dr. Dušan Kogoj, dr. Simona Savšek, UL FGG*

#### **Povzetek FGG**

Protokol obravnava vzpostavitev geodetske mreže za potrebe izvedbe klasične, to je terestrične geodetske detajlne izmere. V naslovu je naveden termin »lokalna geodetska mreža«, vendar pri tem ne gre za vzpostavitev geodetske mreže v lokalnem koordinatnem sistemu, ampak za geodetsko mrežo, ki jo potrebujemo za izvedbo geodetske izmere na lokalnem (manjšem) območju oziroma delovišču. Termin »lokalna geodetska mreža« je v tem dokumentu zamenjan s pojmom »izmeritvena geodetska mreža«.

Izmeritveno geodetsko mrežo vzpostavimo za potrebe snemanja detajla, ker so točke:

- »stare« geodetske mreže, določene s klasično terestrično geodetsko izmero ali
- »stare« geodetske mreže, določene z izmero GPS,

preveč oddaljene ali uničene, da bi jih lahko uporabili kot izhodišče za snemanje detajla. Zato je potrebno vzpostaviti izmeritveno geodetsko mrežo.

Protokol obravnava vzpostavitev točk izmeritvene geodetske mreže:

- z metodami terestrične geodetske izmere,
- z metodami geodetske izmere GNSS.

### 2.3.1.1 Vrste izmeritvene mreže

Izmeritveno geodetsko mrežo lahko vzpostavimo kot:

- **Trigonometrično mrežo z uporabo metod triangulacije, trilateracije ter trigonometričnega višinerstva.** Pri tem upoštevamo pravila projektiranja trigonometrične mreže v horizontalnem in višinskem smislu, ki zagotavljajo ustrezno kakovost mreže. Glej poglavje A. »Navodil za izvajanje klasične izmere v novem državnem koordinatnem sistemu«. Točke mreže trajno stabiliziramo.
- **Poligonsko mrežo** v primerih, ko vzpostavitev trigonometrične mreže ni možna. Po pravilu je poligon priklepni, v izjemnih primerih zaključeni. Poligon se naveže na vsaj dve točki obstoječe »stare«, to je trigonometrične ali navezovalne mreže. Opazovanja v poligonu moramo izravnati – s strogo izravnavo po metodi najmanjših kvadratov, glej poglavje A. »Navodil za izvajanje klasične izmere v novem državnem koordinatnem sistemu«. Točke mreže trajno stabiliziramo.
- **Izmeritveno geodetsko mrežo z uporabo metod GNSS,** kar je v praksi najpogostejši primer. Glej 3. poglavje »Navodil za izvajanje izmere GNSS v državnem koordinatnem sistemu«, (primer vzpostavitve izmeritvene mreže). Točke mreže trajno stabiliziramo.

### 2.3.1.2 Oblika in dimenzije mreže

Za zagotovitev ustrezne kakovosti mreže, vzpostavljene s terestričnimi metodami izmere, priporočamo, da je izmeritvena mreža vzpostavljena ob izpolnitvi naslednjih zahtev:

- V izmeritveni mreži moramo opraviti ustrezno število opazovanj oziroma zagotoviti moramo dovolj veliko število povezav v mreži, kar zagotavlja dovolj veliko število nadštevilnih meritev. Vsaka točka v mreži naj **bo povezana z vsaj tremi točkami**, to pomeni, da so z vsake točke opazovane vsaj tri točke »stare«, to je trigonometrične ali navezovalne mreže.
- Največje razdalje med točkami izmeritvene mreže naj ne presegajo 1 km. Omejitev oddaljenosti je še posebej smiselna pri uporabi trigonometričnega višinerstva!
- Poligoni naj bodo čimbolj iztegnjeni. Poligonske stranice naj ne bodo daljše od 250 m in ne krajše od 50 m – razmerje med najdaljšo in najkrajšo stranico naj ne bo večje od 3:1. Število poligonskih točk naj bo tolikšno, da velika polos standardne elipse pogreškov nobene točke ne presega 2 cm.

Za zagotovitev ustrezne kakovosti izmeritvene mreže, vzpostavljene z metodami izmere GNSS naj bodo izpolnjene naslednje zahteve:

- Odsotnost fizičnih ovir v bližini točke (visoki objekti, drevesa, neugoden relief), posebej južno od nove točke izmeritvene mreže.
- Odsotnost motečih ravnih površin (npr. pločevinastih streh, pločevinastih fasadnih oblog, ograj...), ki povzročajo odboje signalov (multipath).
- Odsotnost motečih virov elektromagnetnega valovanja (npr. oddajniki, radijski pretvorniki, transformatorske postaje), ki lahko interferirajo s signali GNSS.
- Geometrija geodetske mreže, vzpostavljene na osnovi metod izmere GNSS ni tako pomembna kot v primeru geodetske mreže, vzpostavljene s terestričnimi metodami geodetske izmere. Zato položaje točk izmeritvene mreže izberemo tako, da bomo zagotovili optimalno pokritost območja izmere z izmeritvenimi točkami.

### 2.3.1.3 Geodetski datum izmeritvene mreže (navezava na dane točke)

Kot dane točke lahko pri vzpostavitvi izmeritvene mreže uporabimo:

- **Točke »stare« geodetske mreže, to je trigonometrične ali navezovalne mreže.** Izmeritvena mreža, vzpostavljena s klasično terestrično geodetsko izmero mora biti vklopljena mreža. Geodetski datum izmeritvene mreže bo določen z danimi točkami »stare« geodetske mreže. Pri izbiri točk »stare« geodetske mreže upoštevamo pravila projektiranja trigonometrične in poligonske mreže, ki bodo zagotovila zahtevano natančnost določitve koordinat točk izmeritvene mreže. Geodetski datum izmeritvene mreže je D–48.
- **Točke omrežja SIGNAL.** Izmeritvena mreža, določena z metodami GNSS, mora tudi biti vklopljena mreža. Geodetski datum mreže je tako določen z navezavo na dane točke (t.j. fizično vzpostavljene permanentne postaje) omrežja SIGNAL. Geodetski datum izmeritvene mreže je D–96.
- **Geodetske točke s koordinatami določenimi v ETRS89 (D–96/TM) koordinatnem sistemu.** Izmeritvena mreža, ki jo vzpostavljamo s klasično terestrično geodetsko izmero ali z metodami GNSS izmere, je lahko navezana tudi na t.i. ETRS točke ali na točke, katerih koordinate so bile predhodno določene v ETRS89 (D–96/TM) koordinatnem sistemu in so trajno stabilizirane. Te točke obravnavamo kot dane točke in izmeritvena mreža je zopet vklopljena mreža. Geodetski datum izmeritvene mreže je D–96.

### 2.3.1.4 Stabilizacija točk izmeritvene mreže

Točke izmeritvene mreže je potrebno trajno stabilizirati:

- Na neutrnjenem terenu uporabimo armiranobetonski kvader ali naravni kamen ali obdelan v kvader z lepo oblikovanim vrhom. Priporočamo stabilizacijo s podzemnim centrom, ki nam v primeru uničenja nadzemnega centra omogoča vzpostavitev točke na istem mestu.
- Na utrjenem terenu, asfaltu, betonu uporabimo čepe iz nerjavečega jekla, medenine. Priporočamo stabilizacijo s podzemnim centrom.

### 2.3.1.5 Način izmere izmeritvene geodetske mreže

Način izmere izmeritvene mreže je podrobno opisan v navodilih:

- Za terestrično izmero so postopki izmere določeni v »Navodilu za izvajanje klasične izmere v novem državnem koordinatnem sistemu«.
- Za izmero GNSS so postopki izmere določeni v »Navodilu za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu«, poglavje 3. Nekajcentimetrski nivo natančnosti (za primer izmeritvene mreže) in v »Navodilu za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu«, če točkam obravnavamo višine.

### 2.3.1.6 Izračun koordinat točk izmeritvene mreže

S klasično terestrično geodetsko izmero izmeritvene mreže z uporabo triangulacije, trilateracije ali kombinacije obeh, izračunamo koordinati  $y$  in  $x$  v D-48/GK koordinatnem sistemu ali koordinati  $E$  in  $N$  v D-96/TM koordinatnem sistemu. Koordinato (ortometrično višino)  $H$  določimo z metodo trigonometričnega višinomerstva, če imamo med točkami kratke razdalje (do 400 m). Če imamo daljše razdalje med točkami, moramo koordinato (ortometrično višino)  $H$  izračunati po delih s krajšanjem razdalje med točkami. V mestih priporočamo določitev koordinate (ortometrično višino)  $H$  z nivelmanom. S klasično izmero izmeritvene mreže oblike poligona, izračunamo koordinati  $y$  in  $x$  v D-48/GK koordinatnem sistemu ali koordinati  $E$  in  $N$  v D-96/TM koordinatnem sistemu. Zaradi krajših dolžin med točkami koordinato  $H$  izračunamo z metodo trigonometričnega višinomerstva. Z izmero izmeritvene mreže z uporabo metod GNSS izračunamo koordinati  $E$  in  $N$  v D-96/TM koordinatnem sistemu. Koordinato (ortometrično višino)  $H$  izračunamo z metodo trigonometričnega višinomerstva, če imamo kratke razdalje med točkami (do 400 m). Če imamo daljše razdalje med točkami, moramo koordinato (ortometrično višino)  $H$  izračunati po delih s krajšanjem razdalj med točkami. V mestih priporočamo izračun koordinate (ortometrične višine)  $H$  z nivelmanom.

Koordinate točk izmeritvene mreže morajo biti določene z izravnavo opazovanj po metodi najmanjših kvadratov. V poročilu o izračunu koordinat točk izmeritvene mreže mora biti razvidna kakovost opazovanj in osnovni parametri izravnave: število opazovanj  $n$ , število opazovanj potrebnih za enoločino rešitev problema  $n_0$ , število nadštevilnih opazovanj  $r$ , vrednost referenčne variance a-posteriori  $\hat{\sigma}_0$ , izid globalnega testa modela, natančnost določitve koordinat točk izmeritvene mreže, določenih z izravnavo, pregled opazovanj in opis postopka ugotavljanja prisotnosti in izločanja grobo pogrešenih opazovanj.

Elaborat z izračunom koordinat v koordinatnih sistemih D-48/GK in D-96/TM hrani pooblaščen institucija.

### 2.3.1.7 Detajlna izmera

Če izvajamo izmero detajla s klasičnimi terestričnimi metodami izmere, nam kot koordinatna osnova služijo točke izmeritvene mreže, ki imajo koordinate določene ali v D–48/GK ali v D–96/TM koordinatnem sistemu. Koordinate danih točk nam določajo geodetski datum detajlne izmere. Če torej želimo pridobiti koordinate točk detajla v D–48/GK, uporabimo koordinate izmeritvene mreže v tem sistemu, če pa želimo detajl pridobiti v D–96/TM koordinatnem sistemu uporabimo koordinate točk izmeritvene mreže v tem sistemu in z njimi izračunamo koordinate detajlnih točk. Glej poglavje B. »Navodila za izvajanje klasične izmere v novem državnem koordinatnem sistemu«. Pri tem je pomembno poznati vir in postopek s katerim so pridobljene koordinate v izbranem koordinatnem sistemu. Koordinate točk izmeritvene mreže morajo biti praviloma določene neposredno z izmero in z izravnavo opazovanj. Če ne gre drugače jih lahko pridobimo v izbranem koordinatnem sistemu tudi z uporabo transformacije. Točkam izmeritvene mreže je smiselno dodeliti atribut – ali so transformirane ali pridobljene direktno iz izmer.

Če izvajamo izmero detajla z metodami GNSS, koordinatno osnovo izmere predstavljajo točke omrežja SIGNAL ali koordinate točk izmeritvene mreže, ki imajo koordinate določene v D–96/TM koordinatnem sistemu. Z izmero tako pridobimo koordinate detajlnih točk direktno v D–96/TM, koordinate detajlnih točk v D–48/GK pa izračunamo s transformacijo.

### 2.3.1.8 Transformacije med koordinatnima sistemoma D48/GK in D96/TM

Koordinate točk izmeritvene mreže so določene v koordinatnem sistemu, v katerem imamo na razpolago koordinate danih točk. Kot smo omenili, lahko s klasično terestrično izmero neposredno določimo koordinate v D–48/GK ali D–96/TM koordinatnem sistemu, medtem ko z GNSS izmero lahko neposredno določimo koordinate točk samo v D–96/TM koordinatnem sistemu. Kadar imamo na razpolago koordinate danih točk v obeh koordinatnih sistemih, lahko izračunamo koordinate točk izmeritvene mreže v obeh koordinatnih sistemih. Pri tem moramo, seveda, ustrezno reducirati opazovanja v izbran koordinatni sistem. Če v obeh koordinatnih sistemih nimamo na razpolago koordinat danih točk, jih lahko določimo samo v enem koordinatnem sistemu, v D–48/GK ali D–96/TM. Če potrebujemo koordinate v drugem koordinatnem sistemu, jih lahko v ta sistem transformiramo. Za transformacijo uporabimo ravninsko (4-parametrično) ali prostorsko (7-parametrično) podobnostno Helmertovo transformacijo.

Če s klasično terestrično izmero določimo koordinate izmeritvene mreže v D–48/GK koordinatnem sistemu, potem:

- za izračun koordinat v D–96/TM uporabimo priporočilo, zapisano v poglavju 1.5 v »Navodilu za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu«.

Če s klasično terestrično izmero določimo koordinate izmeritvene mreže v D–96/TM koordinatnem sistemu, potem:

- za izračun koordinat v D–48/GK uporabimo priporočilo, zapisano v poglavju 1.5 v »Navodilu za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu«.

Če uporabimo izmero GNSS izmeritvene mreže pridobimo koordinate točk izmeritvene mreže v D–96/TM koordinatnem sistemu, potem:

- za izračun koordinat v D48/GK uporabimo transformacijo (poglavje 2.4 v »Navodilu za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu«);

Glede na »Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu« za transformacijo elipsoidnih višin v nadmorske višine uporabimo 7–parametrično podobnostno Helmertovo transformacijo. Uporaba absolutnega modela geoida je dovoljena le, ko se na osnovi meritev prepričamo, da je kakovosti modela geoida na izbranem območju ustrezna.

Na enak način kot transformacijo koordinat in višin točk izmeritvene mreže, izvedemo tudi transformacijo koordinat detajlnih točk.

Vse postopke transformacije dokumentiramo.

Koordinate točk izmeritvene mreže in vso dokumentacijo izračuna koordinat točk hranimo v dogovorjeni obliki v arhivu in v bazah geodetskih točk, ki jih vodi in vzdržuje pooblaščen inštitucija.

## PROTOKOL VZPOSTAVITVE IZMERITVENE MREŽE

VRSTA IZMERITVENE MREŽE	TERESTRIČNA IZMERA		IZMERA GNSS
	Trigonometrična mreža	Poligonska mreža	Mreža z uporabo GNSS
VZPOSTAVITEV MREŽE	Glej A. poglavje – Navodila za izvajanje klasične izmere v novem koordinatnem sistemu.		Glej 3. poglavje – Navodila za izvajanje izmere GNSS v državnem koordinatnem sistemu.
OBLIKA IN DIMENZIJA MREŽE	Navezava na vsaj 3 točke trigonometrične mreže. Stranice do 1 km.	Iztegnjeni poligoni. Stranice od 50 do 250 m v razmerju 3:1.	Vidnih vsaj 5 satelitov. Odsotnost fizičnih ovir, ravnih površin in virov EMV. Ovire severno od točke.
STATUS MREŽE IN GEODETSKI DATUM	Vključena mreža. Geodetski datum je določen s koordinatami »danih« točk.		Vključena mreža. Geodetski datum je določen s koordinatami »danih« točk.
STABILIZACIJA TOČK	<b>Točke so trajno stabilizirane.</b> Priporočamo stabilizacijo s podzemnim centrom. Armiranobetonski kvader (neutrjen teren); čepi iz nerjavečega jekla ali medenine (utrjen teren).		
MERSKA OPREMA, PRIBOR	Kalibracija instrumenta (pooblaščen servis). Določitev adicijskih konstant reflektorjev.		Geodetski sprejemniki GNSS. Geodetske antene.
INSTRUMENT	Elektronski tahimeter. $\sigma_a$ in $\sigma_s \leq 3''$ (ISO 17123-3) $\sigma_s : \leq 5$ mm; 3 ppm (ISO 17123-4)		Geodetski dvofrekvenčni (vektorji nad 5 km) ali enofrekvenčni (vektorji pod 5 km) sprejemniki. Geodetske antene.
DODATNA OPREMA	Reflektorji; termometer; barometer; žepni trak.		
CENTRIRANJE	Centriranje instrumenta, reflektorja ali antene z optičnim ali laserskim grezilom.		
METODA IZMERE	Triangulacija Trilateracija Trigonometrično višinomerstvo	Poligon	Statična, hitra statična Kinematična RTK
ŠTEVILO PONOVI TEV	Najmanj dve ponovitvi v dveh krožnih legah. Obojestranske meritve, kjer je mogoče.		Trajanje izmere 3 ure za statično metodo in 10 min+1 min/km za hitro statično metodo. Vsaj 5 krat ponovljena izmera s kinematičnimi metodami.



<i>VKLOP MERITEV V KOORDINATNI SISTEM</i>	<p>Navezava na geodetsko mrežo v D–48/GK koordinatnem sistemu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Koordinate izračunamo v D–48/GK;</li> <li>2. Transformacijo koordinat v D–96/TM izvedemo s podobnostno transformacijo.</li> </ol> <p>Navezava na geodetsko mrežo v D–96/TM koordinatnem sistemu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Koordinate izračunamo v D–96/GK;</li> <li>4. Transformacijo koordinat v D–48/TM izvedemo s podobnostno transformacijo.</li> </ol> <p><b>Transformacijo dokumentiramo.</b> <b>Transformacijo izvede pooblaščen inštitucija!</b></p>	<p>Navezava na geodetsko mrežo v D–96/TM koordinatnem sistemu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Koordinate izračunamo v D–96/TM;</li> <li>2. Izračun koordinat v D–48/GK izvedemo s podobnostno transformacijo.</li> </ol>
<i>IZRAČUN KOORDINAT</i>	Ločeno izračunamo horizontalne koordinate ( $y, x$ ) in višine ( $H$ ).	Izračunamo prostorske koordinate ( $E, N, h$ ), višine s trig. višinom. ( $H$ )
<i>IZRAVNAVA</i>	Stroga izravnava po metodi najmanjših kvadratov.	
<i>VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO</i>	Reducirane sredine horizontalnih smeri in zenitnih razdalj; Reducirane dolžine; A priori natančnosti: $\sigma_w, \sigma_z$ in $\sigma_s$ ocenimo iz opazovanj.	Fazna opazovanja na obeh frekvencah, izjemoma za kratke vektorje uporaba ene frekvence. . Za daljše vektorje uporaba preciznih efemerid.
<i>GROBI POGREŠKI</i>	Računske kontrole (zapiranje likov idr.) ali Danska metoda.	Kontrola zapiranja likov pred izravnavo. Popeova metoda, Danska metoda po izravnavi.
<i>PROGRAMSKA OPREMA</i>	LisCad, WinRam, Gem4, Trim, Leica Geo Office in druga komercialna programska oprema, ki omogoča strogo izravnavo.	Trimble Total Control, Leica Geo Office, Topcon TopSurv...
<i>REF. STANDARDNI ODKLON /VARIANCA</i>	$0.6 \leq \hat{\sigma}_0 \leq 1.5$	Referenčna varianca posameznega obdelanega vektorja manjša od 3.0 in razmerje med drugo in prvo najboljšo rešitvijo posameznega obdelanega vektorja (ratio) nad 3.
<i>REZULTATI IZRAVNAVE</i>	Koordinate točk izmeritvene mreže z oceno natančnosti meritev in koordinat. Globalni test modela, odkrivanje grobo pogrešenih opazovanj	
<i>ARHIVIRANJE REZULTATOV IZRAVNAVE</i>	<b>Koordinate izmeritvene mreže se vodijo v centralnem registru v obeh koordinatnih sistemih (D–48/GK in D–96/TM).</b>	
<i>NATANČNOST OLOČITVE KOORDINAT</i>	$\sigma_p \leq 20$ mm (natančnost položaja); $\sigma_H \leq 20$ mm (natančnost višine). Obvezno podati elemente standardnih ali 95% elips pogreškov.	
<i>POVEZAVA TERESTRIČNE IN GNSS MREŽE</i>	Podobnostna transformacija v ravnini ali prostoru; uporaba lokalnih transformacijskih parametrov. Za transformacijo višin uporabimo absolutni model geoida, ko je ustrezne kakovosti, sicer določitev višin točk izvedba nivelmanske izmere.	
<i>DOKUMENTIRANJE IZMERE, IZRAČUNOV</i>	Elaborat terestrične izmere in izračuna. Elaborat izmere GNSS, RINEX datoteke z opazovanji, terenski zapisniki, elaborat izračuna mreže. <b>Posebna geodetska služba vodi in vzdržuje izmeritveno mrežo!</b>	

### 2.3.2 Protokol vzpostavitve lokalne geodetske mreže za klasično detajlno izmero (gradivo GI)

*Pripravila: dr. Mihaela Triglav Čekada in Sandi Berk, GI*

#### **Povzetek GI**

Predmet obravnave naloge so klasične geodetske mreže za potrebe izmere detajla – v nadaljevanju **izmeritvene mreže**. Poudarek je bil na problematiki izmere detajla s klasično izmero v spremenjenih razmerah (postopen prehod na nov koordinatni sistem), ko Geodetska uprava Republike Slovenije postopoma opušča vzdrževanje večine obstoječih (horizontalnih) geodetskih točk; njihovo vlogo nadomešča omrežje stalnih GNSS-postaj – omrežje SIGNAL.

Klasične geodetske točke (npr. navezovalne mreže) sicer tudi ko so še na voljo, ne rešijo težave, posebej ko imajo koordinate določene samo v starem koordinatnem sistemu (D48/GK). Nova izmera se namreč (od 1. 1. 2008 v zemljiškem katastru) izvaja v novem koordinatnem sistemu (D96/TM). Za že določene koordinate točk obstoječih geodetskih mrež tudi v novem koordinatnem sistemu (včasih imenovane tudi ETRS-točke) pa je vprašljiva kakovost določitve le-teh; obravnavamo namreč predvsem zemljiškokatastrsko izmero, kjer je zahtevana natančnost določitve koordinat točke detajla 4 cm (gre za veliko polos standardne elipse zaupanja).

Naloga se v skladu z obravnavo te problematike na 4. seji Komisije za DGS (glej § 5.1) osredotoča predvsem na strokovni nivo problematike, torej na obravnavo izhodišč za planiranje mrež, obeležje točk, izmero in obdelavo (izračun in izravnavo, ocena kakovosti) mrež. Problematika obveznosti in pristojnosti Geodetske uprave, Matične sekcije geodetov pri Inženirski zbornici Slovenije in geodetskih podjetij, torej izvajalcev geodetske izmere, pri morebitni vzpostavitvi pasivnih GNSS-mrež za potrebe detajlne izmere (npr. mestnih GNSS-mrež), zbirke točk GNSS-mrež, njihovo vzdrževanje, vodenje, izdajanje, izvajanje nadzora kakovosti izmere in podobno ni predmet obravnave te naloge.

Obravnavane so predvsem izmeritvene mreže za izdelavo geodetskih načrtov velikih meril 1:1000, 1:500 in večjih ter za izmero točk zemljiškokatastrske izmere.

Protokol obravnava dve metodi izmere mrež:

- statična GNSS-izmera (za določitev datuma mreže) in
- klasična geodetska izmera (kombinirana triangulacijska in poligonska izmera).

### 2.3.2.1 Načrtovanje izmeritvene mreže in obeležba točk

Izvedbo izmeritvene mreže pred samo izmero podrobno načrtujemo, saj s tem zoptimiziramo in pospešimo postopke izmere in obdelave; z načrtovanjem lahko izvedemo izmero bolj ekonomično.

Izmeritvena mreža mora glede na Navodila za izvajanje klasične geodetske izmere v novem koordinatnem sistemu (2006) biti vklopljena mreža. Ta navodila moramo upoštevati predvsem pri katastrski izmeri, saj je v Zemljiškem katastru nov koordinatni sistem v veljavi že od 1. 1. 2008.

Osnovne sestavine načrtovanja izmeritvene mreže so:

- izbira datumskih točk (točke izmerjene v novem koordinatnem sistemu s statično GNSS-izmero),
- izbira točk izmeritvene mreže glede na obseg izmere (gostota, razporeditev) in izbira načina izmere,
- obeležba točk izmeritvene mreže,
- metode izmere, merska oprema, število ponovitev (npr. število girusov na stojščih), trajanje in interval meritev (dolžina serije opazovanj in interval registracije pri GNSS-izmeri),
- način obdelave meritev (izračun, izravnava, ocena kakovosti rezultatov, iskanje in izločanje grobih napak),
- dokumentiranje izmere (zapisniki, topografije, poročilo).

#### Osnovno načrtovanje

Pred samim načrtovanjem terenske izmere moramo najprej opredeliti namen izmeritvene mreže; od tega je odvisno:

- število in razporeditev točk,
- dosegljiva natančnost detajlne izmere (zahteve so odvisne od tega, ali gre za geodetski načrt določenega merila, katastrsko izmero ipd.).

Zelo priporočljivo je tudi, da poznamo teren, na katerem bodo meritve izvedene, saj le tako lahko predvidimo morebitne omejitve pri izmeri:

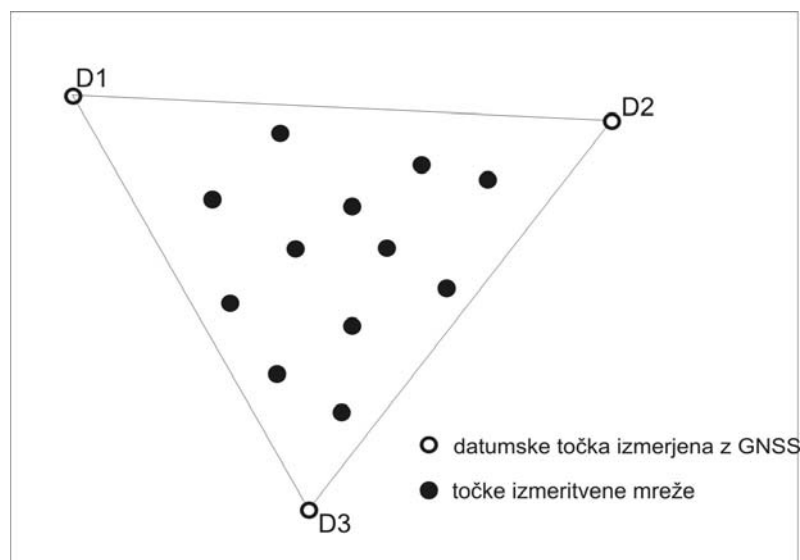
- naravne in antropogene prepreke, ki bodo otežile izmero,
  - slab signal pri GNSS-izmeri zaradi visokih objektov v središčih mest in v gozdu,
  - slaba medsebojna vidnost točk, ki bo otežila tahimetrično izmero,
- omejitve pri času izmere (v središčih mest se izogibamo meritev v prometnih konicah),
- omejitve v obsegu in načinu izmere, ki lahko oteži komunikacijo med različnimi deli delovišča,
- omejitve zaradi dela na nevarnem terenu, kjer potrebujemo dodatno zaščitno opremo ter dodatna dovoljenja (delo na gradbišču avtoceste, v rudniku, zapuščeni industrijski objekti ali območja).

### Izbira datumskih točk

Datumske točke morajo biti najmanj 3. Vse datumske točke v skladu z Navodilom za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu (2006) določimo s statično GNSS-izmero. Zato morajo biti te točke na odprtem (širok horizont) ter medsebojno videne, da omogočimo tudi kakovostno navezavo ostalih – kalsično določenih točk izmeritvene mreže – na datumske točke.

Datumske točke se morajo oklepati območje preostalih točk izmeritvene mreže, zaželeno pa je – posebej za večje mreže –, da so razporejene tudi v notranjosti območja. Med datumskimi in preostalimi točkami mreže mora biti vzpostavljena dobra geometrija za optimalno izravnavo klasične izmeritvene mreže.

Glede na velikost delovišča in natančnost končnega izdelka moramo imeti vsaj tri datumske točke na razdalji večji od 200 metrov (?).



*Skica: Primer pravilne postavitve minimalnega števila datumskih točk okoli točk izmeritvene mreže.*

### Število, gostota, razporeditev točk izmeritvene mreže

Število točk izberemo glede na obseg izmeritvene mreže in detajl, ki ga želimo izmeriti. Za izvajanje klasičnih geodetskih meritev (triangulacija, trilateracija, poligonometrija) je priporočljivo izbrati točke z največjo medsebojno oddaljenostjo 1 km (Navodilo za izvajanje klasične geodetske ..., 2006; Shofield, 2001, str. 259). Pri uporabi večjih razdalj se poveča vpliv napak centriranja teodolita in tarče na samo točko. S tem pa tudi poslabša sama natančnost končnega izračuna izmeritvene mreže. Pri triangulacijski izmeri moramo upoštevati, da so točke razporejene tako, da med njimi izmerimo čim večje kote  $60^\circ - 120^\circ$  (US Army Corps of Engineers, 2007).

Datumske točke vključujemo v klasično geodetsko izmero ob pričetku meritev izmeritvene mreže in za kontrolo še po zaključku izmere. Za izvajanje GNSS-izmere točk izmeritvene mreže medsebojna razdalja med točkami ni pomembna. Število točk določimo glede na potrebe pri načrtovanju izmeritvene mreže (geometrija ter dostopnost, vidnost in bližina detajla).

### Obeležba točk izmeritvene mreže

S stalnim izmeritvenim znamenjem morajo biti označne datumske točke, vendar zanje ni treba uporabljati še zavarovalnih znamenj.

Ostale točke izmeritvene mreže obeležimo s stalnim ali začasnimi izmeritvenimi znamenji, lahko pa njihovo vlogo prevzamejo tudi že stabilizirani mejniki v zemljiškem katastru (Pravilnik o urejanju mej ..., 2007). Izmeritvena znamenja naj bodo:

- kvadratne oblike velikosti 10 cm × 10 cm (npr. kamnit ali betonski mejnik),
- okrogle oblike s premerom najmanj 2 cm in največ 10 cm (npr. kovinski klin),
- križ velikosti 5 cm × 5 cm, vklesan v naravni kamen ali grajen objekt,
- druga nazorna označba, ki nedvoumno označuje položaj točke na terenu,
- vbetoniran čep z luknjico, ki omogoča optično centriranje,
- vijaki ali žebliji z luknjico, ki omogočajo optično centriranje.

Vijake ali žeblije z luknjico se privije ali zabije v obstojen material (cestišče, pločnik, zidovi) in ne v tla pokrita samo z rušo.

Pri načrtovanju del na izmeritveni mreži moramo opredeliti koliko in kakšna izmeritvena znamenja potrebujemo. Tip izmeritvenih znamenj opredelimo glede na značilnosti mikrolokacije, kjer bomo točke postavljali in vrsto meritev, tip in stabilnost terena in podobno.

#### **2.3.2.2 Izmera izmeritvene mreže**

Izmera izmeritvene mreže vključuje:

- izmero datumskih točk in
- izmero ostalih točk izmeritvene mreže.

Datumske točke izmeritvene mreže morajo biti določene z GNSS-meritvami. Ostale točke izmeritvene mreže pa so lahko izmerjene s klasičnimi metodami geodetske izmere, torej glede na geometrijo mreže v okviru:

- triangulacijskih mrež oziroma
- poligonometrijskih mrež,

glede na prevladujoči tip opazovanj pa v okviru:

- trigonometričnih mrež,
- trilateracijskih mrež oziroma
- triangulateracijskih mrež.

Neglede na tip mreže je treba zagotoviti zadostno število nadštevilnih opazovanj, ki bodo omogočile izravnavo mreže in zanesljivo oceno natančnosti izmere. Med naštetimi tipi mrež se je zato priporočljivo izogniti klasičnim poligonometrijskim oziroma poligonskim mrežam; tudi če je osnovna oblika mreže še najbližja klasičnemu poligonu, naj bo v izmero vključenih tudi čimveč »navzkrižnih meritev«, ki tvorijo trikotnike za učvrstitev mreže.

## Zapisnik o izmeri

Vodenje zapisnika izmere se začne že v pisarni z osnovnimi podatki o projektu. Obvezen element zapisnika je tudi skica izmere, ki se jo izdelava na terenu.

V zapisniku izmere so obvezni še naslednji elementi (US Army Corps of Engineers, 2007; Navodila za izvajanje izmere z uporabo GNSS v državnem koordinatnem sistemu):

- tip in identifikacijska številka inštrumenta (model, serijska številka) in osnovni podatki o uporabljeni metodi izmere,
- ime operaterja,
- delovišče, datum izmere, čas pričetka izmere,
- opis vremenskih razmer (splošni vremenski pogoji, temperatura, zračni tlak, vlažnost, veter, pogoji vidljivosti ipd.),
- podatki o datumskih točkah:
  - ime oz. številka točke, št. topografije, kjer se nahaja osnovni opis točke,
  - skica točke z zavarovanji,
  - opis določitve točke (GNSS-metoda izmere, dolžina meritve, opis ponovitev meritve),
- opis obeležbe novih točk,
- skica izmere z označenimi stranicami mreže in izvedenimi opazovanji (merjene dolžine in smeri – notranje/zunanje, orientacijske).

Skica izmeritvene mreže se izdelava na obstoječem topografskem načrtu, ortofotu merila 1 : 5.000 ali 1 : 1.000. Pri detajlni izmeri za potrebe zemljiškega katastra se izdelava skica v merilu 1 : 100.

### **2.3.2.3 GNSS-izmera**

Meritve izvajamo v skladu z Navodilom za izvajanje izmere z uporabo GNSS v državnem koordinatnem sistemu (2006) – poglavje nekajcentimetrski nivo natančnosti.

Uporabimo statično metodo izmere.

### **2.3.2.4 Klasična izmera**

Klasično geodetsko izmero navežemo na vsaj tri datumske točke izmerjene z GNSS-izmero. Datumske točke morajo biti na novo izmerjene z GNSS-izmero v okviru projekta izmeritvene mreže. Za datumske točke ne smemo uporabljati točk, ki so izmerjene s klasično geodetsko izmero v starem koordinatnem sistemu D48/GK in transformirane v nov koordinatni sistem D96/TM. Prav tako ni (razen njihovih obeležij) za datumske točke dovoljeno uporabljati t. i. ETRS-točk, saj so bile slednje določane v okviru različnih izmer in navezav na izračune različnih kampanj, torej ne nujno na kombinirani izračun iz leta 2003, ki predstavlja slovensko realizacijo ETRS89 in novi slovenski geodetski datum.

Za vklop klasične geodetske izmere med datumske točke, se na le-te navežemo ob začetku izvajanja klasične geodetske izmere in tudi po zaključku izmere izmeritvene mreže.

Za zagotovitev ustrezne kakovosti izmeritvene mreže priporočamo (Navodilo za izvajanje klasične geodetske izmere ..., 2006):

- ustrezno število povezav v mreži za zadostno število nadštevilnih meritev; vsaka točka v mreži naj bo povezana z vsaj tremi točkami (z vsake točke so opazovane vsaj tri točke izmeritvene mreže);
- maksimalne dolžine stranic trilatacijske ali triangulacijske mreže naj ne presežajo 1 km; triangulacijske točke naj bodo razporejene tako, da so merjeni kot med  $60^\circ$  in  $120^\circ$  (US Army Corps of Engineers, 2007);
- poligoni naj bodo čim bolj iztegnjeni; poligonske stranice naj ne bodo daljše od 250 m in ne krajše od 50 m; poligon naj bo navezan na vsaj dve dani točki.

### **2.3.2.5 Obdelava opazovanj izmeritvene mreže**

Glede na tip meritev (klasična geodetska izmera ali GNSS-izmera) načrtujemo število nadštevilnih in kontrolnih meritev, da bomo zadostili potrebi po zahtevani natančnosti projekta. Obdelava tako GNSS-kot tudi klasične geodetske mreže mora temeljiti na izravnavi opazovanj.

### **2.3.2.6 Obdelava GNSS-opazovanj**

Obdelava GNSS-opazovanj na točkah izmeritvene mreže vključuje:

- čiščenje opazovanj, odstranitev grobih odklonov (večpotje, slabo določene tirnice satelitov ipd.),
- izračun izmerjenih vektorjev mreže,
- izravnavo vektorjev v mreži,
- iskanje grobih napak po izravnavi (data snooping, data screening) in po potrebi ponovitev postopka,
- ocena kakovosti koordinat točk v mreži.

Kot dane točke za vklop GNSS-točk je priporočljivo vzeti tri najbližje stalne postaje omrežja SIGNAL. Izravnavamo vektorje, ki so medsebojno neodvisni, kar pomeni, da nikoli ne tvorijo zaključene zanke.

### **2.3.2.7 Obdelava klasičnih opazovanj**

Obdelava klasičnih opazovanj v izmeritveni mreži vključuje:

- obdelava girusnih opazovanj – predhodna izravnavo opazovanj znotraj skupin opazovanj na posameznih stojiščih,
- fizikalne redukcije zenitnih razdalj in poševno merjenih razdalj ter izračun višinskih razlik točk,
- določitev uteži izračunanih višinskih razlik (oz. a priori ocena natančnosti opazovanj), izravnavo višinske mreže (višinskih razlik) in izračun dokončnih višin točk,
- geometrijske redukcije horizontalnih smeri in poševno merjenih razdalj in izračun približnih koordinat točk,

- določitev uteži kotnih in dolžinskih opazovanj (oz. a priori ocena natančnosti opazovanj), izravnava horizontalne mreže (horizontalnih smeri in razdalj) in izračun dokončnih koordinat novih točk,
- iskanje grobih napak po izravnavi (data snooping, data screening) in po potrebi ponovitev postopka,
- ocena kakovosti koordinat točk v mreži.

Za dosego najvišje možne natančnosti, je priporočljivo višinske razlike točk mreže namesto s trigonometričnim višinomerstvom določiti z geometričnim nivelmanom.

### **2.3.2.8 Viri o izmeritvenih mrežah**

- FGG, GI, 2006. Navodilo za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu (različica 1.1, 20. 11. 2006)
- Pravilnik o urejanju mej ter spreminjanju in evidentiranju podatkov v zemljiškem katastru, Ur. list RS, 8/2007, str. 719–725
- GURS, GI, FGG, 2006. Navodilo za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu (različica 2.0, 20. 11. 2006)
- US Army Corps of Engineers, 2007. Engineering and design, Control and Topographic Surveying, Engineer manual, EM1110-1-1005
- Inter-governmental committee on surveying and mapping 2007. Standards and practices for control surveys (SP1), Version 1.7, September 2007
- Schofield, W., 2001. Engineering surveying: theory and examination, 5th edition, Oxford



## 2.4 Preračun omrežja SIGNAL zaradi vključitve novih stalnih postaj na območju sosednjih držav (NALOGA 1.4)

*Poročilo in izračun: Katja Bajec in Nika Mesner, GI, ter Ingrid Arh  
Povzetek: Sandi Berk, GI*

### Povzetek

Predmet naloge je izračun koordinat točk v omrežju SIGNAL in točk, ki so ali bodo v omrežje vključene na podlagi izmenjave podatkov za omrežja sosednjih držav. Uradne koordinate točk omrežja, ki so trenutno v rabi, so bile določene v okviru izračuna t. i. »Mini EUREF GPS-kampanje 2007« (glej Razvoj DGS 2007, str. 39–42; Mesner idr. 2007; Sterle in Stopar, 2007). V ta izračun je bilo vključenih vseh 15 stalnih postaj omrežja SIGNAL ter 5 stalnih postaj omrežja APOS (Bleiburg/Pliberk, Deutschlandsberg, Feldbach, Klagenfurt/Celovec in Landskron/Vajškra), ki so v omrežje vključene na podlagi sporazuma o izmenjavi z Avstrijo. Vse ostale stalne postaje, ki so ali še bodo v omrežje SIGNAL vključene z obmejnih območij Hrvaške (Čakovec, Delnice, Karlovac/Karlovec, Poreč, Rijeka/Reka, Zabok in Zagreb), Italije (Gorizia/Gorica, Moggio Udinese, Tarvisio/Trbiž, Udine/Videm in Trieste/Trst) ter Madžarske (Zalaegerszeg), so imele doslej le začasno določene koordinate.

Namen ponovnega izračuna omrežja SIGNAL je bil torej določitev kakovostnih koordinat 13-im novovključenim stalnim postajam na območjih Hrvaške, Italije in Madžarske. Že določene koordinate za 20 stalnih postaj (15 stalnih postaj omrežja SIGNAL in 5 stalnih postaj omrežja APOS) so bile ponovno določene le kot kontrolne točke; uradne koordinate teh točk zaradi novega izračuna niso bile spremenjene. Skupaj je bilo torej v izračun vključenih 33 stalnih postaj.

Uporabljena je bila enaka strategija izračuna kot za Mini EUREF GPS-kampanjo 2007. Izračun je bil izveden v ITRF05. Koordinate točk so bile nato transformirane v ITRF96 (brez spremembe epohe). Sledila je transformacija v epoho 1995.554 ob uporabi modela hitrosti NNR-NUVEL-1A. Na koncu je bila izvedena še transformacija iz ITRF96 v ETRS89.

Poročilo o izračunu koordinat točk omrežja signal in vanj vključenih točk omrežij vseh štirih sosednjih držav je v (ločeno vezani) prilogi:

- **Izračun koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL in vanj vključenih stalnih postaj omrežij sosednjih držav.** Tehnično poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, oktober 2009

## 2.5 Zasnova geokinematičnega modela Slovenije (NALOGA 1.5)

*Poročilo: mag. Oskar Sterle, dr. Polona Pavlovčič Prešeren, dr. Miran Kuhar,  
dr. Bojan Stopar, vsi FGG*

*Ureditev arhiva omrežja SIGNAL: Niko Fabiani, GI*

*Poročilo o ureditvi arhiva: Sandi Berk, GI, mag. Oskar Sterle, FGG*

*Povzetek: mag. Oskar Sterle, dr. Polona Pavlovčič Prešeren, dr. Miran Kuhar,  
dr. Bojan Stopar, vsi FGG,  
Sandi Berk, GI*

### **Povzetek**

Obravnavana so načela definicije, realizacije in vzdrževanja koordinatnih sistemov. S pojavom satelitskih metod določanja položaja se je pojavila potreba po enotnem globalnem koordinatnem sistemu, definiranem na osnovi CTRS. Najbolj kakovostna realizacija CTRS je koordinatni sestav ITRF. Na osnovi ITRF so se vzpostavili določeni regionalni koordinatni sistemi (ETRS89, NAD83, GDA94 ...) za potrebe držav ali celin. Prednost regionalnih koordinatnih sistemov je predvsem v tem, da so koordinate točk v regionalnem koordinatnem sistemu manj obremenjene (ali pa sploh niso) z globalno geodinamiko. Bistven pomen pri vzdrževanju koordinatnih sistemov imajo danes omrežja permanentnih postaj, ki zagotavljajo kontinuirana opazovanja GNSS. Le-ta zagotavljajo neprekinjeno določene koordinate omrežja permanentnih postaj, ki so osnova za oceno kakovosti in stabilnosti koordinatnega sistema. Podani so napotki za izgradnjo državnega koordinatnega sistema najvišje kakovosti in stabilnosti.

V to nalogo sodi tudi ureditev celotnega arhiva opazovanj v omrežju SIGNAL, in sicer od začetkov poskusnega delovanja (od vključno leta 2002) dalje. Arhiv je bil doslej voden na različne načine tako v smislu organiziranja datotek in map ter sistemov njihovega poimenja kot tudi glede medijev hranjenja (CD, DVD, notranji in zunanji/prenosni diski, trakovi). Urejeni arhiv ima enoten sistem shranjevanja surovih opazovanj (RINEX-datotek), in sicer tako glede organiziranja datotek in map, poimenovanja datotek in map ter vsebine datotek (enotno določene časovne periode in intervali registracije). Končna odločitev je bila, da se vzporedno vodi arhiv v dveh »nivojih podrobnosti«, in sicer za dnevne 1-sekundne datoteke in dnevne 30-sekundne datoteke. Novoizbrani sistem poimenovanj datotek je takšen, da noben par datotek arhiva (npr. iz dveh različnih let za isti julijanski dan in isto stalno postajo) nima identičnih imen – imena datotek so hkrati njihovi enolični identifikatorji.

### 2.5.1 Definicija, realizacija in vzdrževanje sodobnih koordinatnih sistemov

V sodobnem času sistemi GNSS (angl. Global Navigation Satellite Systems) predstavljajo ključni element pri zagotavljanju referenčne geodetske osnove (geodetskega datuma). Omrežja permanentnih postaj GNSS območij (ali držav) predstavljajo osnovno infrastrukturo geodeziji in drugim geoznanostim. Pogoj je uporaba visokotatančnih faznih opazovanj in navezava na omrežja permanentnih postaj (EUREF 2009, Rizos 2006).

Uporaba sistema za absolutno določitev položaja GPS (angl. Global Positioning System) nam zagotavlja nekaj metrsko natančnost ocenjenih koordinat. Ta položaj je določen globalno v koordinatnem sistemu WGS84 (angl. World Geodetic System 1984), a je za geodetske naloge določen s prenizko natančnostjo. Z navezavo na permanentne postaje in uporabo faznih opazovanj, dobimo položaj z geodetsko natančnostjo, a v koordinatnem sistemu ITRS (angl. International Terrestrial Reference System). Od leta 2002 je razlika med obema koordinatnima sistemoma (WGS84 in ITRS) na nivoju nekaj cm in praktično zanemarljiva (Lilje in Sarib 2007, Rizos 2006).

Položaj, določen v koordinatnem sistemu ITRS je obremenjen z globalno geodinamiko. Na Evrazijski tektonski plošči (na kateri leži tudi Slovenija) znaša premik na našem območju letno okoli 2.5 cm v smeri SV (Höggerl in Imrek 2007). V splošnem so vse točke na celotni Zemlji obremenjene z geotektoniko, zato vsaka država teži k geodetskemu datumu (koordinatnem sistemu), ki bi bil čim bolj stabilen v času. Cilj so koordinate, neodvisne od časa. Tako so bili vzpostavljeni številni koordinatni sistemi, ki imajo za osnovo koordinatni sistem ITRS, a so koordinate točk časovno neodvisne (oz. so premiki točk v teh koordinatnih sistemih zanemarljivi). Tak primer je koordinatni sistem ETRS89 (angl. European Terrestrial Reference System 1989) na območju Evrope, GDA94 (Geocentric Datum of Australia 1994) na območju Avstralije, NAD83 (angl. North American Datum of 1983) na območju Severne Amerike (ZDA in Kanada) ali SIRGAS (špan. Sistema de Referencia Geocentrico para as AmericaS) na območju Južne Amerike (SIRGAS 2009). Vsi temeljijo na realizaciji sistema ITRS, kjer se poskuša odpraviti vpliv geotektonike (APOS 2009, AUSLIG 2001, Craymer 2006, Höggerl in Imrek 2007, Rizos 2006, Stone 2006). Vzdrževanje koordinatnih sistemov temelji na uporabi aktivnih omrežij GNSS, kjer se opazovanja GNSS obdeluje in pridobiva koordinate permanentnih postaj vsakodnevno.

Statičen (časovno neodvisen) koordinatni sistem je pomemben pri številnih prostorskih podatkih (nepremičninske evidence, geodetske mreže,...), ki niso vezani na osnovni geodetski sistem. Koordinate le-teh naj bi bile skozi (daljši) čas nespremenjene. Pasivno omrežje točk GNSS predstavlja fizično stabilizirane točke, katerim koordinate določamo kampanjsko. Tako določene koordinate so »veljavne« le za datum izmere oz. za obdobje kampanjske izmere. V primeru, da imamo statičen državni koordinatni sistem (časovno neodvisen), se koordinate točkam ne spreminjajo skozi čas in lahko te točke določajo geodetski datum pri nalogah geodetske stroke (APOS 2009, Blewitt in sod. 2005, Craymer 2006, Jival 2003).

### 2.5.1.1 Sodobni koordinatni sistemi

Vsi globalni koordinatni sistemi temeljijo na definiciji CTRS (angl. Conventional Terrestrial Reference Frame). Realizacije CTRS so različne, med katerimi so najpomembnejše tri. Le-te so WGS84 (GPS), PZ90 (rus. Parametri Zemli 1990), ki ga uporablja satelitski sistem GLONASS (rus. Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema), in ITRF (Cross in sod. 2000). Od leta 1990 različne realizacije sestavov ITRF predstavljajo najnatančnejšo in najstabilnejšo globalno koordinatno osnovo (Craymer 2006, ITRF 2009). Koordinatni sistem (angl. system) predstavljajo teoretične definicije, medtem ko koordinatni sestav (angl.: frame) predstavlja praktična realizacija koordinatnega sistema. Koordinatni sestav je predstavljen z nizom fizično stabiliziranih točk, ki imajo podane koordinate v dotičnem koordinatnem sistemu (Gubler in Schneider 1994).

Najpomembnejši globalni koordinatni sistem je ITRS in je produkt službe IERS (angl. International Earth Rotation Service). Realizacijo ITRS predstavlja aktualni koordinatni sestav ITRF, ki predstavlja kombinacijo posameznih realizacij sistema na osnovi različnih satelitskih merskih tehnik. Te merske tehnike so VLBI (angl. Very Long Baseline Interferometry), SLR (angl. Satellite Laser Ranging), GPS in DORIS (angl. Doppler Orbitography Radiopositioning Integrated by Satellite). Za povezovanje realizacij referenčnega sistema so ključne referenčne postaje, opremljene z mersko opremo različnih merskih tehnik locirane na točkah, ki se nahajajo v neposredni bližini (angl. colocation points). Te točke morajo biti med seboj povezane s klasičnimi geodetskimi postopki. Kombiniranje različnih merskih tehnik pri vzpostavitvi in vzdrževanju koordinatnega sistema ima pomen pri odpravljanju slabosti določene merske tehnika z drugo mersko tehniko (Altamimi in sod. 2007).

ITRF je rezultat obdelave časovnih vrst koordinat točk različnih merskih tehnik za celotno obdobje delovanja teh točk. Do sedaj je bilo objavljenih 11 realizacij ITRF (ITRF88, -89, -90, -91, -92, -93, -94, -96, -97, -00, -05), kjer je bila vsaka nova realizacija kakovostnejša od prejšnje. Trenutno aktualen je ITRF2005, kjer ima vsaka geodetska točka podan referenčni položaj za trenutek (epoho) 2000.00 s pripadajočim vektorjem hitrosti, ki je časovno neodvisen. Na osnovi realizacije ITRF se izvede tudi nova realizacija ETRF sestava, ki je kakovostnejša od prejšnje (ETRS 2009, ITRS 2009).

Na osnovi koordinatnega sistema ITRS so vzpostavljeni regionalni koordinatni sistemi, ki so določeni za različne kontinente, kot ETRS89 za Evropo (EUREF 2009), GDA94 za Avstralijo (AUSLIG, 2001), NDA83 za ZDA in Kanado (Craymer 2006, Stone 2006), SNARF (angl. Stable North American Reference Frame) za Severno Ameriko (Blewitt in sod. 2005, SNARF 2009), SIRGAS za Južno Ameriko (SIRGAS 2009), AFREF (angl. AFrican REference Frame) za Afriko (Wonnacott 2005) in podobno.

V preteklosti je večina držav (državne) koordinatne sisteme vzpostavljala ločeno in vsa geodetska dela so se nanašala na te koordinatne sisteme. Koordinate točk so se računale na referenčnih elipsoidih, kjer so bile uporabljene merske tehnike astronomska in terestrična opazovanja (Craymer 2006). S pojavom satelitskih tehnik, pa se je pojavila težnja po enotnem globalnem koordinatnem sistemu. Pri definiranju modernega koordinatnega sistema, moramo podati in upoštevati določene kriterije (Gubler in Schneider 1994):

- koordinate točk določene v koordinatnem sistemu naj se ne bi spreminjale bolj kot je neizogibno v časovnem razponu vsaj enega desetletja;
- realizacija koordinatnega sistema (koordinatni sestav) naj ima daljšo življensko dobo, da se zagotovi prvi kriterij;
- v primeru deformacij površja obravnavanega območja, je potrebno v koordinatnem sistemu ustrezno kinematično modelirati premike točk;
- državni koordinatni sistem naj ne bi bistveno odstopal od kontinentalnega ali globalnega koordinatnega sistema;
- definirana mora biti transformacija med državnim koordinatnim sistemom in ETRS ali ITRS;
- določeno število točk mora imeti koordinate podane tako za star kot nov koordinatni sistem (kadar vzpostavitev novega koordinatnega sistema pomeni zamenjavo starejšega manj natančnega).

Nekateri kriteriji so nastavljeni tako, da so v nasprotju z ostalimi. Primer je prvi kriterij, ki onemogoča izboljšave koordinatnega sestava (zaradi možnih novih tehnik in večjega števila opazovanj). Glavna ovira pri definiranju koordinatnega sistema je nepoznavanje obnašanja Zemljine skorje na obravnavanem območju. Tako imamo dve možnosti (Gubler in Schneider 1994):

- premiki točk so zanemarljivi glede na koordinatni sistem (kar pomeni manj kot 0.5 do 1 cm na desetletje);
- premiki so večji in nehomogeni glede na koordinatni sistem.

### **2.5.1.2 EUREF in ETRS89**

EUREF (angl. EUropean REference Frame) predstavlja podkomisijo komisije Referenčni sistemi mednarodne zveze za geodezijo IAG (angl. International Association of Geodesy). Ustanovljena je bila leta 1987 na glavni skupščini združenja IUGG (angl. International Union of Geodesy and Geophysics) v Vancouveru v Kanadi. Naloga EUREF je definicija, realizacija in vzdrževanje ESRS (European Spatial Reference System). ESRS skupaj predstavljata ETRS in EVRS (angl. European Vertical Reference System), ki predstavljata geodetsko osnovo za celotno Evropo. ETRS predstavlja horizontalno komponento, medtem ko EVRS predstavlja višinsko komponento sistema (EUREF 2009).

Prva velika odločitev podkomisije EUREF je bila sprejeta na sestanku v Firencah leta 1990, kjer je bil z resolucijo številka 1 sprejet ETRS89 koordinatni sistem kot horizontalna koordinatna osnova območja Evrope (Boucher in Altamimi 1992). ETRS89 predstavlja definicijo regionalnega koordinatnega sistema, za katerega velja (ETRS 2009, Gubler in sod. 1992):

- definiran na osnovi ITRS,
- pričvrščen na stabilno Evrazijo (glede na ITRS rotira skupaj z Evrazijo),
- identičen z ITRS89 za epoho 1989.00,
- identičen z WGS84 na nivoju 1 metra.

Uradne koordinate točk pri realizaciji ETRS89 naj se ne bi spreminjale. Poleg tega se z različnimi realizacijami tudi merilo in premik koordinatnega sestava ne bi spreminjala (Gubler in sod. 1992). Za referenčni elipsoid koordinatnega sistema je bil določen GRS80 (angl. Geodetic Reference System 1980) elipsoid (Poder 1992).

### 2.5.1.2.1 Realizacija ETRS89

Realizacija koordinatnega sistema ETRS89 je bila izvedena s prvo kampanjsko izmero EUREF GPS leta 1989. V tej izmeri je bilo vključenih 93 točk na območju cele zahodne Evrope. Izmera je potekala v dveh fazah (A in B) z 62 sprejemniki GPS. V vsaki fazi je izmera trajala 6 dni, po 5 ur na dan. 25 točk je bilo izmerjenih v obeh fazah, kjer je bilo:

- 15 točk takih, kjer je bila postavljena tudi stalna SLR postaja ali mobilna VLBI postaja,
- 2 točki, kjer sta bili postavljeni tudi mobilni SLR postaji, in
- 8 dodatnih točk za povezavo obeh faz v eno rešitev.

Obdelava opazovanj je potekala na osnovi razdelitve celotne mreže na 5 delov. Vsaka del mreže se je nato obdelal posebej. Končni rezultat je bila kombinacija rezultatov vseh 5-ih delov mreže. Obdelava je potekala na osnovi danih SLR/VLBI točk, katere so že imele koordinate ETRF89 (pridobljene iz koordinatnega sestava ITRF) (Gurtner in sod. 1992). Kasneje je sledilo več kampanjskih izmer na območju Evrope z namenom zgostitve geodetske mreže s poznanimi koordinatami ETRF89. Tako so bile v letih 1994, 1995 in 1996 izvedene izmere tudi na območju Slovenije (Berk in sod. 2003).

### 2.5.1.2.2 Vzdrževanje ETRS89

Ponovitev kampanjskih izmer na točkah EUREF so povzročile nove realizacije koordinatnega sistema ETRS89. Zaradi višje natančnosti kasnejših izmer (leta 1990 in 1991) je bila posledično tudi nova realizacija natančnejša, kar je pomenilo nove (boljše) uradne koordinate točk EUREF. Poleg same natančnejše realizacije koordinatnega sistema, so se koordinate točk na območju Evrope spremenile zaradi geodinamike Evrazijske tektonske plošče (Boucher 1993). Tako koordinate točk, dobljene na osnovi kampanjskih izmer GPS, veljajo le za trenutek izmere. Povezovanje novo izvedenih opazovanj GPS na (novih) točkah s povezavo na predhodno določene dane točke, ki so se premaknile zaradi geodinamike, je lahko problematično. Novo določene koordinate točk v koordinatnem sestavu ETRF89 tako niso skladne s predhodno določenimi (danimi) koordinatami točkami (Boucher 1994). Leta 1994 je bil na simpoziju EUREF podan predlog o uporabi permanentnih postaj GPS za vzdrževanje koordinatnega sistema ETRS89 (Gurtner 1994).

V sedanjem času ima ključno vlogo pri vzdrževanju koordinatnega sistema ETRS89 omrežje permanentnih postaj na območju Evrope imenovano EPN (angl. European Permanent Network). Točke omrežja EPN so opremljene z visoko natančnimi sprejemniki GPS/GLONASS, po možnosti v bližini postaj SLR, DORIS ali VLBI (EUREF 2009). Ob nastanku omrežja permanentnih postaj je le-to vsebovalo okoli 50 postaj (Bruyninx in sod. 1996), medtem ko je trenutno (2009) operativnih približno 220 permanentnih postaj (EUREF 2009). Namen omrežja je neprestano spremljanje GPS in GLONASS satelitskega signala. Rezultat obdelave opazovanj GPS/GLONASS so ocenjene koordinate točk na tedenski osnovi (na osnovi dnevnih rešitev), ocenjene koordinate točk za referenčno epoho 1989.0 s pripadajočimi vektorji hitrosti, časovne vrste koordinat in vrednosti zenitne troposferske refrakcije (EPN 2009). Koordinate točk v referenčni epohi 1989.0 predstavljajo realizacijo ETRF89 za trenutek refe-

renčne epohe. Povezavo med položajem točke v poljubni epohi in referenčni epohi v ETRF89 predstavljajo vektorji hitrosti. Časovne vrste koordinat točk omogočajo oceno kakovosti koordinat in vektorjev hitrosti točk in s tem posledično kakovost realizacije koordinatnega sistema.

### **2.5.1.2.3 Stanje ETRS89 po državah EU**

Koordinatni sistem ETRS predstavlja koordinatno ogrodje Evrope kot kontinenta in ne koordinatno ogrodje evropskih držav. Za vzpostavitev in vzdrževanje državnih koordinatnih sistemov morajo posamezne države poskrbeti same. Omrežje EPN lahko predstavlja geodetski datum za navezavo državnih aktivnih in pasivnih omrežij z ETRF89. Cilj vzpostavitve koordinatnega sistema ETRS89 je poenotenje vseh prostorskih podatkov na območju Evrope, zato je tudi smiselno, da vse države vzpostavijo svoje koordinatne sisteme na osnovi (ali tako, da je le-ta enak) ETRS89.

Realizacije koordinatnega sistema pa so od države do države različne. Poglavitne razlike po državah se pojavijo pri realizaciji geodetskega datuma. Razlike se pojavljajo tudi zaradi uporabe različne programske opreme za obdelavo opazovanj, različnih referenčnih epoh, različno opremljenih permanentnih postaj (in spremembah opreme) ... Splošne lastnosti realizacij pa ostajajo enake. Tako države Avstrija, Belgija, Švica, Nemčija, Španija, Finska, Francija, Madžarska, Italija, Nizozemska, Poljska, Portugalska, Slovaška in Švedska, obdelujejo opazovanja GNSS svojih omrežij permanentnih postaj na osnovi dnevniških preračunov v aktualnem koordinatnem sestavu ITRF (Brockmann 2009). Prehod iz ITRF v ETRF89 pa poteka po priporočilih, ki so podana v dokumentu Boucher in Altamimi 2008.

Primerjava različnih realizacij ETRF89 po državah (za potrebe vzpostavitve državnega koordinatnega sistema) je pokazala, da so kljub nekaterim razlikam realizacij, homogene in kakovostne (Brockmann 2009). Uradne državne koordinate točk po različnih državah (Avstrija, Belgija, Švica, Nemčija, Španija, Finska, Francija, Madžarska, Italija, Nizozemska, Poljska, Portugalska, Slovaška in Švedska) so bile primerjane z uradnimi EPN koordinatami. V povprečju so bile razlike na nivoju -4mm v smeri VZ, 6mm v smeri SJ in -1mm v višinski komponenti. Tako visok nivo skladnosti državnih koordinatnih sistemov z ETRF89 bila osnova za pobudo za objavo uradnih koordinat točk različnih držav na spletni strani EUREF (Brockmann 2009).

### **2.5.1.3 Regionalni koordinatni sistemi po drugih celinah (državah)**

Enako, kot v Evropi je bila prisotna težnja po definiranju in realizaciji regionalnih koordinatnih sistemov tudi po drugih celinah. Spodaj so predstavljeni nekateri primeri vzpostavitve in vzdrževanja regionalnih koordinatnih sistemov. Na kratko je opisan koordinatni sistem, omrežje permanentnih postaj za vzdrževanje koordinatnega sistema in povezava med pasivnim in aktivnim omrežjem regije. Opisana je tudi situacija v Avstriji, ki je bolj primerljiva s Slovenijo kot so Avstralija, Kanada ali Združene države Amerike.

### 2.5.1.3.1 Avstralija

Koordinatni sistem Avstralije se imenuje GDA94. Osnovno omrežje permanentnih postaj se imenuje AFN (angl. Australian Fiducial Network) in ga sestavlja 10 postaj. Sekundarno omrežje permanentnih postaj je ANN (angl. Australian National Network), ki ga sestavlja 77 postaj in so med seboj oddaljene približno 500 km. Koordinate točk obeh omrežij so določene preko dnevniških rešitev (obdelava vseh podatkov opazovanj vsak dan) v aktualnem koordinatnem sestavu ITRF. Koordinatni sistem GDA94 je realiziran s položaji točk omrežja AFN v ITRF94 za epoho 1994.0. Te koordinate se skozi čas ne spreminjajo. Povezava med različnimi realizacijami ITRF in GDA94 je podana preko 7 transformacijskih parametrov med obema koordinatnima sestavoma (AUSLIG 2001).

### 2.5.1.3.2 Združene države Amerike

Podobno kot v primeru Avstralije, imajo povezavo izvedeno tudi v Severni Ameriki. Omrežje permanentnih postaj se imenuje CORS (angl. Continuously Operating Reference Stations), v katerega je vključenih več kot 900 permanentnih postaj. Koordinate postaj so določene na osnovi preračunov opazovanj GNSS za celotno obdobje delovanja postaj za vsak dan posebej, v aktualnem sestavu ITRF in koordinatnem sestavu NAD83.

Koordinate točk so uporabnikom na voljo tako v koordinatnem sestavu ITRF kot NAD83. Pri podajanju koordinat ITRF je nujno podajanje tudi vektorjev hitrosti. V primeru NAD83 se uradno poleg koordinat podajajo tudi vektorji hitrosti, a so le-ti po vrednosti majhni, tako da se za večino geodetskih nalog predpostavi, da so točke časovno stabilne (neodvisne od časa).

Vsako leto se na novo preračuna koordinate (v referenčni epohi) in hitrosti točk na osnovi koordinat vsakega tretjega dne iz celotne zgodovine časovnih vrst vseh točk. Če tak položaj bistveno odstopa od uradno objavljenega, se tej točki spremenijo uradne koordinate. Bistveno odstopanje je določeno kot:

- 1 cm v Hz legi ali 2cm po višini v ITRF ali
- 2 cm v Hz legi ali 4cm po višini v NAD83.

Tak način je optimalen kompromis med natančnostjo in točnostjo koordinat točk (Blewitt in sod. 2005, Stone 2006).

Na področju Severne Amerike se pod okriljem mednarodnega konzorcija UNAVCO (angl. University of NAVSTAR Consortium) razvija nov referenčni koordinatni sistem imenovan SNARF. Referenčni sistem SNARF nastaja kot stranski produkt projekta opisa deformacij površja Severne Amerike. Zaradi velikosti kontinenta in kompleksne geodinamike, je bila predlagana definicija in realizacija koordinatnega sistema, v katerem bi bil opis deformacij enostavnejši in preglednejši. SNARF je definiran tako, da sovпада z ITRF2000 in privzame premikanje Severne Amerike v ITRF2000 sistemu. Realizacija in vzdrževanje potekata na osnovi več kot 1000 permanentnih postaj po celotnem kontinentu (UNAVCO 2009).



### 2.5.1.3.3 Kanada

Permanentno omrežje GNSS točk v Kanadi se imenuje CACS (angl. Canadian Active Control System), ki je sestavljeno iz približno 50-tih permanentnih postaj GNSS. Te postaje so osnova mrežam GNSS nižjega nivoja. Vsem permanentnim postajam GNSS se določa položaj v aktualnem koordinatnem sestavu ITRF in NAD83. Določeni so tudi transformacijski parametri med obema sestavoma. Postajam se koordinate spreminjajo z spremembami koordinatnega sestava ITRF.

Za povezavo starejših geodetskih točk na območju Kanade, je bila vzpostavljena mreža pasivnih točk GNSS, imenovana CBN (angl. Canadian Base Network). CBN je sestavljena iz približno 160 točk in so do sedaj bile opazovane v 3 kampanjskih izmerah. Točkam nižjih redov se koordinate spreminjajo z novimi izmerami in preračuni (Craymer 2006).

### 2.5.1.3.4 Primer realizacije in vzdrževanja ETRS89 na primeru Avstrije

Realizacija koordinatnega sistema ETRS89 na območju Avstrije je bila izvedena že s prvo izmero EUREF leta 1989. V sedanjem času pa je vzdrževanje izvedeno na osnovi omrežja permanentnih postaj APOS (angl. Austrian POsitioning Service). APOS predstavlja omrežje okoli 70 postaj na območju Avstrije in sosednjih držav (Švica, Nemčija, Slovenija, Češka, Slovaška, Madžarska in Italija). Dve postaji omrežja sta tudi postaji mednarodne službe IGS, štiri pa so del omrežja EPN. Postaje omrežja spadajo pod t.i. razred A, ki zagotavlja natančnost horizontalnega položaja v referenčni epohi boljšo od 1cm (Höggerl in sod. 2007b). Točke omrežja APOS imajo določene tudi vektorje hitrosti.

Preračun opazovanj na dnevni osnovi se izvede po priporočilih obdelave omrežja EPN in se izvaja na observatoriju Lustbuehel Graz (Höggerl in sod. 2007a). Obdelava poteka s programskim paketom Bernese GPS Software, Version 5.0, kjer geodetski datum določajo točke GRAZ, HFLK, PENC, PFAN, STPO, WTZR in ZIMM. Podatki omrežja se obdelajo enkrat na teden za vse dni v tednu v aktualnem koordinatnem sestavu ITRF. Podrobnosti obdelave se nahajajo na <http://gps.iwf.oeaw.ac.at/>. Rezultati obdelave so ocenjene koordinate postaj za vsak dan, na osnovi katerih se ocenijo koordinate vsake postaje v referenčni epohi s pripadajočimi vektorji hitrosti. Dodatno se ocenjuje tudi parametre troposfere.

Pasivno omrežje predstavljata dve omrežji, in sicer; AGREF (Angl. Austrian Geodynamic Reference Frame) in AREF (Angl. Austrian Reference Frame). V omrežju AGREF je približno 100 točk, medtem ko vsebuje omrežje AREF približno 300 točk na območju Avstrije. Na točkah AGREF so bila izvedena GPS/GLONASS opazovanja v dveh ali treh kampanjskih izmerah v trajanju po 48 – 72 ur in so označene z oznako razreda B, kar pomeni centimetrsko natančnost koordinat v referenčni epohi. Točkam so določeni tudi vektorji hitrosti. Točke AREF so bile določene v eni kampanjski izmeri v trajanju po 24 ur. Koordinate so določene z natančnostjo okoli 1.5 cm v epohi izmere. Vektorji hitrosti za točke AREF niso določeni. Ugotovljena natančnost na okoli 300 točkah pasivnega omrežja (primerjava uradnih koordinat z RTK pridobljenimi koordinatami) je bila 1.1 cm v smeri VZ, 1.4 cm v smeri SJ in 3.7 cm v višinski komponenti (Höggerl in sod. 2007b).

### 2.5.1.4 ETRS89 v Sloveniji

Z Zakonom o evidentiranju nepremičnin (ZEN) je s 1. januarjem 2008 ETRS89 postal ogrodje državnega koordinatnega sistema Slovenije. Vzpostavitev ETRS89 je bila izvedena na podlagi izmer EUREF v letih 1994, 1995 in 1996, kjer se je 49-tim točkam določilo koordinate v koordinatnem sestavu ETRF89 (Berk in sod. 2003). Za vzdrževanje koordinatnega sistema je bilo vzpostavljeno tudi omrežje permanentnih postaj na območju Slovenije SIGNAL (Slovenlja Geodezija NAVigacija Lokacija), ki vsebuje 15 permanentnih postaj v Sloveniji. V realnem času se dodatno pridobivajo podatki tudi s 5-ih permanentnih postaj GNSS v Avstriji. Omrežje je popolnoma operativno od leta 2006 (Stopar 2007). Določitev koordinat točkam omrežja SIGNAL v ETRS89 je bila izvedena s t.i. mini EUREF izmero leta 2007 (Sterle in Stopar 2007, Poročilo OGS za 2008 GI in FGG). V to izmero je bilo vključenih 5 točk EUREF in 15 točk omrežja SIGNAL. Točke pasivnega omrežja (točke EUREF) in aktivnega omrežja (SIGNAL) imajo tako določene koordinate na osnovi približno enotedenskega niza opazovanj (ali v letih 1994, 1995 in 1996 ali leta 2007) in predstavljajo koordinatno osnovo za vsa geodetska dela v Sloveniji. Vse izhodiščne točke (EUREF in SIGNAL) imajo določene koordinate samo za trenutek 1995.55 ali 2007.26. Vektorjev hitrosti koordinat in časovnih vrst koordinat točk še nismo določili.

#### 2.5.1.4.1 Cilji in problemi rrealizacije in vzdrževanja ETRS89 v Sloveniji

Državni koordinatni sistem predstavlja koordinatno osnovo za večino vseh aktivnosti v prostoru in praktično vseh geodetskih nalog. Cilj vsake geodetske naloge je:

- določitev koordinat točke in zagotoviti ponovljivost določitve položaja detaljne točke (skozi daljši časovni interval) na nivoju deklarirane natančnosti položaja točke, npr.: v primeru zemljiškega katastra (ZK) 4 cm in
- določitev koordinat detaljne točk neodvisno od metode izmere, oziroma od izbire geodetskega datuma (točke aktivnega omrežja – uporaba opazovanj GNSS ali točke pasivnega omrežja – uporaba GNSS ali terestričnih opazovanj).

Prvi pogoj je določen zakonsko z ZEN (ZEN 2007). Drugi pogoj omogoča določanje položaja poljubne točke s poljubno metodo izmere, oziroma z navezavo na poljubno dano točko. Dana točka je lahko torej točka EUREF ali točka omrežja SIGNAL. Poleg poljubne dane točke lahko geodet uporabi tudi poljubno metodo izmere. Na ta način geodet ni vezan samo na merske postopke satelitske geodezije.

Predpostavlja se, da imajo trenutno (2009) vse referenčne datumske točke (SIGNAL in točke EUREF) določen položaj, ki zagotavlja izpolnitev obeh ciljev. Problemi, kot so:

#### 1. Neznana geodinamika slovenskega ozemlja

Poznavanje geodinamike je možno le preko obdelave podatkov permanentnih postaj za vsak dan in za celotno obdobje delovanja vseh postaj. Omrežje SIGNAL je popolnoma operativno že od leta 2006, nekatere postaje so še starejše (GSR1, BOVE, MARI, KOPE). Obdelava vseh podatkov na dnevni osnovi bi zagotovila vpogled v geodinamiko ozemlja Slovenije, v kakovost, stabilnost in zanesljivost omrežja. Skupaj z opazovanji permanentnih postaj bi se morala obdelati tudi opazovanja kampanjskih izmer, da se zagotovi kakovostna povezava med omrežjem SIGNAL in vsemi kakovostnimi točkami pasivnega omrežja. Objavljeni študiji geodinamike na širšem območju Slovenije (Grenerczy in sod. 2005, Weber in sod.

2009) prikazujeta relativne spremembe koordinat točk znotraj koordinatnega sestava ETRF89 tudi okoli 4 do 5 mm/leto. V času 10-tih let tako lahko med določenimi točkami dobimo spremembo relativnega položaja tudi do 10 cm. Neupoštevanje geodinamike se najbolj pozna pri neskladnosti pasivnega in aktivnega omrežja. Posledično se ta neskladnost prenaša v koordinate vseh novo določenih točk.

2. Nepoznan premik območja Slovenije glede na stabilno Evrazijsko tektonsko ploščo oz. ETRS89

Gibanje stabilna Evrazija glede na ITRF ni gibanje togega telesa, ampak se posamezni deli Evrazije različno premikajo. Razlike nastajajo tako v smeri kot tudi v velikosti. Za območje Slovenije je izrazito togo gibanje v smeri SV z velikostjo 1 do 2 mm/leto. Nepoznavanje togega gibanja Slovenije v primerjavi z ETRS89 pomeni razhajanje koordinatnega sistema ETRS89 in ozemlja Slovenije. Glede na težnjo evropskih držav po enotnem koordinatnem sistemu in dejstvu, da številne države Evrope dejansko vzdržujejo svoje koordinatne sisteme skladne z ETRS89 (Brockmann 2009), bi to pomenilo, da slovenski koordinatni sistem ni več skladen z ETRS89.

3. Dane koordinate postaj omrežja SIGNAL so podane v časovno neodvisnem koordinatnem sestavu ETRF89

Položaji satelitov so določeni ali v WGS84 (s satelita oddane efemeride) ali v ITRF (precizne efemeride). Na ta način pri določanju koordinat nove točke z metodo GNSS kombiniramo dva različna koordinatna sistema, WGS84 ali ITRF pri položajih satelitov in ETRF89 pri koordinatah danih točk (postaje omrežja SIGNAL). Za kratke bazne vektorje se po teoriji pogrešek položaja satelit v večini odpravi (pri sestavi faznih razlik), medtem ko se pri dolgih vektorjih v faznih razlikah ta pogrešek ohrani. Obdelava opazovanj GNSS pri določanju položaja nove točke bi bila tako korektna le v primeru podanih položajev danih točk (omrežje SIGNAL ali EUREF točke) v koordinatnem sestavu ITRF za epoho izmere. Tu pa seveda potrebujemo časovne vrste koordinat referenčnih postaj, na osnovi katerih ocenimo vrednosti vektorjev hitrosti sprememb koordinat točk omrežja.

4. Težave na uporabnikovi strani, ki izhajajo iz povezanosti geodinamičnega dogajanja in časovno neodvisnih koordinatnih sistemov, in sicer:

a. na nivoju omrežja:

Nepoznan je vpliv sprememb koordinat postaj omrežja (zaradi geodinamike ali spremembe koordinatnega sistema), ki so obravnavane kot dane, na določitev baznih vektorjev med postajami. Za upešno rešitev neznanega števila celih valov v začetku izvajanja opazovanj, je potrebno imeti položaj dane točke z natančnostjo (relativno glede na druge dane točke) višjo od četrte valovne dolžine nosilnega valovanja signala GPS, kar predstavlja kvečjemu 5 cm. Slabo določeni položaji danih točk in vektorji med njimi, vplivajo na vektorje, ki jih potrebujemo za določitev koordinat nove točke.

b. na nivoju detajla:

Po teoriji pomeni napaka v položaju dane točke neposredno tudi napako položaja nove točke. Nepoznana geodinamika, sprememba koordinatnega sistema ali kaka druga situacija, ki povzroči spremembo koordinat danih točk, se neposredno prenese na novo določene točke.

### 2.5.1.4.2 Priporočila korektnemu vzdrževanju ETRS89 v Sloveniji

Podajanje koordinat točk omrežja SIGNAL samo v koordinatnem sestavu ETRF89 za eno samo epoho nam teh problemov ne odpravi ali pojasni. Poleg tega, tudi samo občasni preračuni koordinat točk ne zagotovijo rešitve zgoraj nakazanih problemov. Aktivnosti Službe GPS, ki bi zastavljene cilje izpolnili, so:

1. Dnevni preračuni opazovanj v koordinatnem sestavu ITRF  
Dnevni preračun mora biti izveden s kakovostnim programskim orodjem, kot so Bernese GPS Software, GAMIT ali GIPSY-OASIS (citat?). Geodetski datum izračuna določajo kakovostne koordinate danih točk, ki so vključene v službo IGS (angl. International GNSS Service) in so locirane v širši okolici Slovenije. Rezultat so koordinate točk pridobljene za vsak dan in so osnova vrednotenja kakovosti in stabilnosti točk. Na ta način bi pridobili koordinate točk v referenčni epohi in po stopoma vektorje hitrosti ter posledično poznavanje geodinamike slovenskega ozemlja. Rezultat aktivnosti bo analiza časovnih vrst koordinat točk in posledično izdelava geokinematičnega modela ozemlja Slovenije. Le tako bomo imeli vpogled v pravo geodinamiko ozemlja Slovenije in le tako bomo geodinamiko lahko tudi modelirali. Analiza časovnih vrst bo tudi osnova za vrednotenje kakovosti omrežja ter vseh v omrežju novodoločenih koordinat točk.
2. Povezava aktivnega omrežja (SIGNAL) s pasivnim omrežjem (EUREF točk)  
Da bomo lahko vzpostavili korektno in kakovostno povezavo med aktivnim in pasivnim omrežjem oz. dvema realizacijama koordinatnega sistema, je potrebno izvajati nove izmere na točkah pasivnega omrežja vsakih pet let (t.j. v obdobju petih let naj bi se izvedle izmere na vseh točkah EUREF). Na ta način bi dosegli cilj, tj. uporabniku bi z večjo verjetnostjo omogočili doseči cilj določitve koordinat točk ustrezne kakovosti neodvisno od metode izmere.
3. Izbira koordinatnega sestava točk omrežja SIGNAL zaradi boljše določitve koordinat točk detajla  
Problem se nanaša tako na kinematične izmere (RTK, VRS), kjer dobimo koordinate novih točk že med samo izmero, kot tudi na statično izmero. Obdelava opazovanj GNSS mora potekati v enotnem koordinatnem sistemu. Če imamo koordinate podane v koordinatnem sestavu ITRF, morajo biti tudi dane koordinate postaj omrežja SIGNAL podani v ITRF. Položaji satelitov so določeni z efemeridami, medtem ko bi morali biti dani položaji postaj podani preko koordinat v neki referenčni epohi s pripadajočimi vektorji hitrosti. Teoretično korektna obdelava bi morala tako temeljiti na koordinatah točk omrežja SIGNAL v ITRF koordinatnem sestavu tako za statično kot tudi za kinematično izmero in obdelavo podatkov za trenutek izmere. Pri statični obdelavi je izbira koordinat danih točk odvisna od uporabnika, medtem ko je pri kinematični obdelavi le-ta odvisna od aktivnosti in storitev Službe za GPS, ki skrbi omrežje SIGNAL.

V skladu s tem je treba poiskati odgovore na vprašanja in jih utemeljiti:

- V katerem koordinatnem sistemu in na kakšen način naj se podaja koordinate točk omrežja SIGNAL?
- Izračuni omrežja SIGNAL z morebitnimi navezavami na pasivno omrežje se morajo nujno izvesti v koordinatnem sestavu ITRF. Vprašanje se nanaša na koordinatni sistem podajanja koordinat uporabnikom. Tu imamo dve možnosti, ali ITRS ali ETRS89. Za zanesljiv odgovor je potrebno poznati geodinamiko območja Slovenije in togo gibanje Slovenije kot celote glede na Evrazijo.
- Kakšen je pomen povezave omrežja SIGNAL s pasivnim omrežjem?

- Določitev koordinat nove točke mora biti neodvisna od metode izmere, programske opreme ali danih točk. Cilj je pridobiti statistično enake koordinate z navezavo na SIGNAL (RTK ali VRS) ali z navezavo na točke EUREF (terestrična izmera, statična izmera GNSS, RTK). Statistično enake koordinate točk obeh omrežij (pasivnega in aktivnega) je mogoče pridobiti le s povezavo obeh omrežij. Opazovanja omrežja SIGNAL je potrebno obdelati za vsak dan posebej, medtem ko je pri obdelavi opazovanj v okviru kampanjskih izmer pasivnega omrežja le-ta opazovanja potrebno obdelati skupaj z opazovanji omrežja SIGNAL. Skupna obdelava opazovanj pasivnega in aktivnega omrežja nam zagotovi statistično enakost koordinat točk obeh omrežij.
- Kako izvesti povezavo obeh omrežij v Sloveniji z omrežjem EPN?
- Točka GSR1 (permanentna GNSS postaja Ljubljana) je edina točka v Sloveniji, ki je vključena v omrežje EPN. Tako se podatki te postaje obdelajo na dnevni osnovi v analiznih centrih podkomisije EUREF. Za GSR1 imamo tako podane s strani EUREF kakovostne koordinate, ocenjeno hitrost njihove spremembe in časovno vrsto. Pri obdelavi podatkov omrežja SIGNAL se je potrebno odločiti, ali ima točka GSR1 v Sloveniji status dane točke, ali status nove točke. Torej, ali privzamemo rezultate obdelave omrežja EPN ali vzamemo te rezultate zgolj za kontrolo kakovosti koordinat. Glede na dejstvo, da ena točka ne more definirati geodetskega datuma, bi bilo smiselno premisliti, ali bi v EPN vključili dodatne točke omrežja SIGNAL. Na ta način, bi zagotovili kakovostno, predvsem pa bolj čvrsto povezavo omrežja SIGNAL z ETRF89.
- Problem s pridobitvijo opazovanj s sosednjih držav t.j. datoteke RINEX postaj, ki so vključene v omrežje SIGNAL (Avstrija, Hrvaška, Madžarska, Italija).
- Podatki avstrijskih postaj so dostopni v realnem času, ne pa tudi za potrebe naknadne obdelave. Željeno bi bilo pridobiti podatke vseh obmejnih točk v vseh sosednjih državah tako za potrebe kinematične določitve položaja v realnem času, kot tudi za potrebe naknadne obdelave.

### 2.5.1.5 Zaključek

Glavna naloga geodetske stroke je določanje položajev točk v prostoru. Matematični opis položajev točk je najlažje izvesti v nekem koordinatnem sistemu, kjer vsem točkam določimo koordinate v tem koordinatnem sistemu. Koordinatni sistem kot tak, sam po sebi ni dan, ampak ga je potrebno definirati, vzpostaviti in nato vzdrževati. S stališča države je osnovni koordinatni sistem, v katerem določimo koordinate vseh objektov v državi, državni koordinatni sistem. Kakovost vzpostavitve državnega koordinatnega sistema je večinoma odvisna od stopnje kakovosti merskih tehnik uporabljenih pri realizaciji koordinatnega sistema. V preteklosti, ko je bilo možno opazovati samo smeri in dolžine med točkami na površju Zemlje ter smeri do nebesnih teles, so se vzpostavljali regionalni ali državni koordinatni sistemi, ki so lahko bili in so tudi dejansko bili časovno neodvisni. S pojavom satelitskih tehnik se je pojavila potreba po vzpostavitvi enotnega globalnega koordinatnega sistema. Državni koordinatni sistemi so se začeli vzpostavljati (ali prenavljati) na osnovi satelitskih metod določanja položaja, predvsem GNSS. Operativno delovanje GNSS je neposredno vezano na globalne koordinatne sisteme. Kakovost določitev položaja, določenega v okviru GNSS je visoka in omogoča zaznavanje spremembe koordinat kot posledice geodinamike zemlejskega površja. To je tudi vzrok, da moramo koordinatne sisteme spremljati in spreminjati v časovnem smislu.

Najpomembnejši in nabolj kakovosten globalni koordinatni sistem je ITRS. Zaradi globalne geodinamike Evrazijske tektonske plošče se je pojavila težnja po evrop-

skem regionalnem koordinatnem sistemu, kjer bi se koordinate točk skozi čas minimalno spreminjali. Tako je na predlog podkomisije EUREF nastal ETRS. Ključno vlogo pri realizaciji in vzdrževanju ETRS je omrežje permanentnih postaj GNSS v Evropi EPN, ki zagotavlja časovne vrste teh točk. Te časovne vrste so osnova za realizacijo koordinatnega sistema, za oceno kakovosti koordinatnega sistema in modeliranje geodinamike na območju Evrope.

V Sloveniji se vzpostavlja nov državni koordinatni sistem, ki temelji na ETRS. Vzpostavitev koordinatnega sistema se je začela z izmerami EUREF v letih 1994-1996 in v letu 2007. Z izmerami EUREF so bile določene koordinate pasivnega omrežja točk v koordinatnem sistemu ETRS. Pri obdelavi podatkov izmere EUREF iz leta 2007 so bile ocenjene tudi koordinate točk aktivnega omrežja SIGNAL. Pasivno in aktivno omrežje tako v Sloveniji predstavlja začetek realizacije koordinatnega sistema ETRS. Predpostavljamo, da so koordinate točk v ETRS dovolj kakovostne, da zagotovijo koordinate nove točke v ETRS z natančnostjo boljšo od 4 cm v horizontalnem smislu, kar naj bi omogočalo rešitev vseh praktičnih nalog v povezavi z evidentiranjem nepremičnin. Vendar pa ocena koordinat točk v ETRS na osnovi ene same izmere ne zagotovijo dveh bistvenih količin, kateri bi moral podati kakovosten koordinatni sistem. Prva količina so časovne vrste koordinat točk omrežja, ki podajajo kakovost in stabilnost točk omrežja in tako posledično tudi pogled v kakovost vzpostavljenega oz. realiziranega koordinatnega sistema. Druga količina so vektorji hitrosti koordinat točk v ETRS, ki predstavljajo osnovo za modeliranje geodinamike na območju Slovenije. Osnova kakovostnemu koordinatnemu sistemu so tako dnevna izračunavanja koordinat točk omrežja na osnovi vseh podatkov opazovanj GNSS v omrežju SIGNAL.

## 2.5.2 Ureditev arhiva omrežja SIGNAL

Ureditev arhiva omrežja SIGNAL je bilo osredotočena predvsem na opazovanja na stalnih postajah, ki se od začetka poskusnega delovanja prve stalne postaje omrežja naprej zapisujejo na RINEX-datoteke. Celoten arhiv (od vključno leta 2002) je dragocen vir podatkov za potrebe dnevnih izračunov koordinat posameznih postaj omrežja. Pomen izračunov (tudi ponovnih<sup>11</sup>) in analiz časovnih vrst poudarja tudi resolucija št. 4 z zadnjega EUREF-simpozija v Firencah (glej tudi § 5.4).

### Prva faza ureditve

Prva faza ureditve arhiva je predstavljala kopiranje datotek arhiva iz različnih medijev na prenosni disk. Deli arhiva so bili namreč hranjeni na različnih medijih – od CD-jev in DVD-jev, notranjih in zunanjih/prenosnih diskov pa do trakov. Posebej kopiranje arhiva iz trakov je bilo zaradi počasnosti prepisovanja precej zamudno opravilo.

### Druga faza ureditve

Druga faza ureditve je predstavljala poenotenje organizacije podatkov in sistema poimenovanj datotek in map. Arhiv je (v končni fazi) urejen po mapah, katerih imena so kar leta, za katera so hranjeni podatki, torej:

...\2002\

...\2003\

• • •

...\2009\

Znotraj vsake mape so imena RINEX-datotek z vsemi opazovanji za dotično leto, torej za vse dni v letu, ko je omrežje delovalo, in za vse delujoče stalne postaje.

Prvotno so bila opazovanja shranjena v urnih datotekah ali v dnevnih datotekah (včasih oboje), in sicer z 1-sekundnim intervalom registracije. Poimenovanja datotek so se z leti spreminjala, vendar so bila imena večinoma tipa

NNNDDD\*.\*,

kjer so prva štiri mesta (NNNN) rezervirana za štiriznakovna koda stalne postaje (praviloma štiričrkovna krajšava imena), naslednja tri mesta (DDD) pa za julijanski dan oz. zaporedno številko dneva v letu.

Sledijo običajno mesta za označitev periode znotraj dneva (za urne datoteke), in sicer v obliki »\_NN«, kjer sta dve mesti za podčrtajem rezervirani za uro, ki se nanaša na začetno epoho v datoteki. Kasneje (z letom 2005) se ta način poimenovanja nadomesti z obliko, kjer je znak, ki sledi julijanskemu dnevju ena izmed črk angleške abecede med A in W. Zaporedna številka črke v abecedi označuje uro, ki se nanaša na začetno epoho v datoteki, in sicer: »A« = »\_00«, »B« = »\_01« ... »W« = »\_23«.

<sup>11</sup> Ponovni izračuni dnevnih rešitev, torej ponovna obdelava starih GNSS- opazovanj in izračuni časovnih vrst, so priporočljivi zaradi uporabe različnih realizacij referenčnih sistemov, orbit satelitov, parametrov orientacije Zamlje ter standardov in strategij obdelav, ki so bili uporabljeni v preteklosti, in iz navedenih razlogov ne dajejo primerljivih in skladnih rezultatov.

Vse datoteke so bile preimenovane v nazadnje uveljavljeno obliko<sup>12</sup>.

Končna oblika dnevni datotek po izvedbi preimenovanj je torej:

NNNNDDDH.\*,

kjer so:

NNNN ... štiriznakovna koda stalne postaje,  
 DDD ... zaporedna številka dneva v letu in  
 H ... črka, ki označuje urno periodo (glej zgoraj).

Za dnevne datoteke je namesto zadnjega znaka kar »0«.

Preimenovanja **iz starega v dogovorjeni način** poimenovanj so bila za **urne datoteke** izvedena za vsako uro posebej, vendar hkrati za vse postaje in za vse dni v letu:

```
ren ???????_00*.* ???????A.*
ren ???????_01*.* ???????B.*
...
ren ???????_23*.* ???????W.*
```

<sup>12</sup> Gre za upoštevanje priporočil IGS-službe:

```
The recommend naming convention for RINEX files:
    ssssdfff.yyt      ssss:  4-character station name designator
                      ddd:   day of the year of first record
                      f:     file sequence number within day
                      0:    file contains all the existing
                           data of the current day
    yy:              year
    t:               file type:
                    O: Observation file
                    N: Navigation file
                    M: Meteorological data file
                    G: GLONASS Navigation file
                    H: Geostationary GPS payload nav mess file
                    B: Geostationary GPS payload broadcast data
                    C: Clock files (see separate documentation)
```

When data transmission times or storage volumes are critical we recommend compressing the files prior to storage or transmission using the UNIX "compress" und "uncompress" programs. Compatible routines are available on VAX/VMS and PC/DOS systems, as well.

Proposed naming conventions for the compressed files:

File Types	UNIX	VMS	DOS
Obs Files	sssdfff.yy0.Z	sssdfff.yy0_Z	sssdfff.yyY
Obs Files (Hatanaka compr)	sssdfff.yyD.Z	sssdfff.yyD_Z	sssdfff.yyE
GPS Nav Files	sssdfff.yyN.Z	sssdfff.yyN_Z	sssdfff.yyX
GLONASS Nav File	sssdfff.yyG.Z	sssdfff.yyG_Z	sssdfff.yyV
GEO Nav Files	sssdfff.yyH.Z	sssdfff.yyH_Z	sssdfff.yyU
GEO Broadcast Files	sssdfff.yyB.Z	sssdfff.yyB_Z	
Met Data Files	sssdfff.yyM.Z	sssdfff.yyM_Z	sssdfff.yyW
Clock Files (see sep.doc.)	sssdfff.yyC.Z	sssdfff.yyC_Z	



Na koncu druge faze urejanja so bile v vsaki mapi (za vsako leto):

- ali urne 1-sekundne datoteke za vse stalne postaje za vse dni v letu
- ali dnevne 1-sekundne datoteke za vse stalne postaje za vse dni v letu.

### Tretja faza ureditve

Za tako urejen arhiv sta bila pripravljena samodejno izvajajoča se kvaziprogramčka (batch-proceduri), in sicer:

- za tvorbo dnevnih 1-sekundnih datotek (kjer so na voljo samo urne datoteke) in
- za tvorbo dnevnih 30-sekundnih datotek (za vse dnevne datoteke).

Obo programčka sta bila zaganjana znotraj posameznih map (po letih).

Osnovni program za obe zgornji proceduri je program `teqc`.

Primer uporabe (klic programa z DOS-konzole) za tvorbo dnevne datoteke iz (24-ih) urnih datotek:

```
teqc RADO001A.08o RADO001B.08o ... RADO001W.08o > RADO001.08o
teqc RADO001A.08n RADO001B.08n ... RADO001W.08n > RADO001.08n
```

Primer uporabe (klic programa z DOS-konzole) za tvorbo 30-sekundne dnevne datoteke iz 1-sekundne dnevne datoteke:

```
teqc +0.dec 30 RADO001.08o > RADO001_30.08o
```

Dobljene 30-sekundne dnevne datoteke torej dobijo v imenu še dodatek »\_30«.

Na koncu tretje faze urejanja so v vsaki mapi (za vsako leto):

- dnevne 1-sekundne datoteke za vse stalne postaje za vse dni v letu in
- dnevne 30-sekundne datoteke za vse stalne postaje za vse dni v letu.

Na koncu osnovnega imena se dnevnim datotekam pripiše še znak »0«:

```
ren ???????.* ???????0.*
```

Končna oblika arhiva GNSS-opazovanj omrežja SIGNAL

Datoteke GNSS-opazovanj (RINEX-datoteke) so razvrščene v mape, poimenovane z letnicmi, torej po letih, na katera se opazovanja nanašajo.

Imena RINEX-datotek so njihovi enolični identifikatorji. Imena dnevni datotek z 1-sekundnimi opazovanji so oblike:

NNNNDDDD.\*,

kjer so:

NNNN ... štiriznakovna koda stalne postaje,  
DDD ... zaporedna številka dneva v letu.

Imena dnevni datotek s 30-sekundnimi opazovanji so oblike:

NNNNDDD\_30.\*,

kjer so:

NNNN ... štiriznakovna koda stalne postaje,  
DDD ... zaporedna številka dneva v letu.

Na dan, ko je bila na neki stalni postaji izvršena kakršnakoli sprememba, ki vpliva na položaj referenčne točke le-te, npr. zamenjava antene<sup>13</sup>, se namesto ene dnevne datoteke pojavita dve (tista, ki vsebuje opazovanja za del dneva pred dogodkom in tista, ki vsebuje opazovanja za del dneva po dogodku). Prva datoteka ima na koncu osnovnega imena (pred pripono in pred oznako za 30-sekundne datoteke) dodatek »A«, druga pa dodatek »B«, torej za dnevne 1-sekundne datoteke namesto

NNNNDDDD.\*

pari datotek

NNNNDDDA.\* in  
NNNNDDDB.\*

ter za dnevne 30-sekundne datoteke namesto

NNNNDDD\_30.\*

pari datotek

NNNNDDDA\_30.\* in  
NNNNDDDB\_30.\*

Kronološki seznam vseh izrednih dogodkov v omrežju je v preglednici 2.5.2-1:

<sup>13</sup> Vsi takšni dogodki so zabeleženi v t. i. log-datotekah za posamezne stalne postaje.

Stalne postaje, za katere je treba paziti, ker so že (vsaj enkrat) zamenjale antene, so Črnomelj, Maribor, Bovec, Nova Gorica in Velika Polana. Na stalni postaji Maribor je bila antena doslej zamenjana kar trikrat.

Postaja	Datum	Vrsta spremembe
CRNO	13.9.2007	Zamenjan sprejemnik Leica RS500 s Trimble NetR5
<b>CRNO</b>	<b>13.9.2007</b>	<b>Zamenjana antena Leica AT504 z anteno TRM55971</b>
MARI	13.9.2007	Zamenjan sprejemnik Leica RS500 s Trimble NetR5
<b>MARI</b>	<b>13.9.2007</b>	<b>Zamenjana antena Leica AT504 z anteno TRM55971</b>
MARI	3.10.2007	Zamenjan sprejemnik Trimble NetR5 z Leica RS500
<b>MARI</b>	<b>29.11.2007</b>	<b>Zamenjana antena TRM55971 z anteno Leica AT504</b>
BOVE	10.1.2008	Zamenjan sprejemnik Leica RS500 s Trimble NetR5
<b>BOVE</b>	<b>10.1.2008</b>	<b>Zamenjana antena Leica AT504 z anteno TRM55971</b>
<b>NOVG</b>	<b>16.7.2008</b>	<b>Zamenjana antena Leica AX1202 z anteno Leica AT504</b>
<b>VELP</b>	<b>31.7.2008</b>	<b>Zamenjana antena Leica AX1202 z anteno Leica AT504</b>
<b>MARI</b>	<b>7.10.2008</b>	<b>Zamenjana antena Leica AT504 z anteno Leica AT504GG</b>
BODO	29.1.2009	Zamenjan sprejemnik Trimble NetRS z Leica 1200, začasno
MARI	29.4.2009	Zamenjan sprejemnik Leica RS500 z Leica GRX1200GG Pro
BODO	3.6.2009	Zamenjan sprejemnik Leica 1200 s Trimble NetRS-om

*Preglednica 2.5.2-1: Kronološki seznam izrednih dogodkov v omrežju SIGNAL; kritični dogodki (ki vplivajo na položaj referenčne točke) so označeni krepko.*

### **3 Naloge na višinskem sistemu**

#### **3.1 Plan vzpostavitve nove nivelmanske mreže in navezave stalnih postaj omrežja SIGNAL na nivelmansko in gravimetrično mrežo (NALOGA 2.1)**

*Poročilo: dr. Božo Koler, FGG*

*Povzetek: dr. Božo Koler, FGG, in Sandi Berk, GI*

##### **Povzetek**

Predmet naloge je popravljeni plan vzpostavitve nove nivelmanske mreže in navezave stalnih postaj omrežja SIGNAL na nivelmansko in gravimetrično mrežo. Kot izhodišče za popravljeni plan je bila vzeta zadnja različica plana (Razvoj DGS 2008, § 3.1.1, str. 77–80).

Popravljeni plan upošteva spremenjene razmere glede na dejansko izmerjene nivelmanske poligone v letu 2009, ki jih je bilo 2,5-krat več kot leta 2008 (upoštevana je dolžina poligonov). Novemu stanju (preseženemu planu) je prilagojen novi plan, ki predpostavlja v naslednjih letih izmero okoli 140 km nivelmanskih poligonov na leto, pragmatično strategijo zapiranja nivelmanskih zank (s prevzemanjem podatkov starih izmer, če so odstopanja v zanki znotraj dopustnih) in s tem zapiranje nivelmanskih zank v čim krajšem časovnem obdobju.

### 3.1.1 Izmere nivelmanskih poligonov od leta 2006 do leta 2009

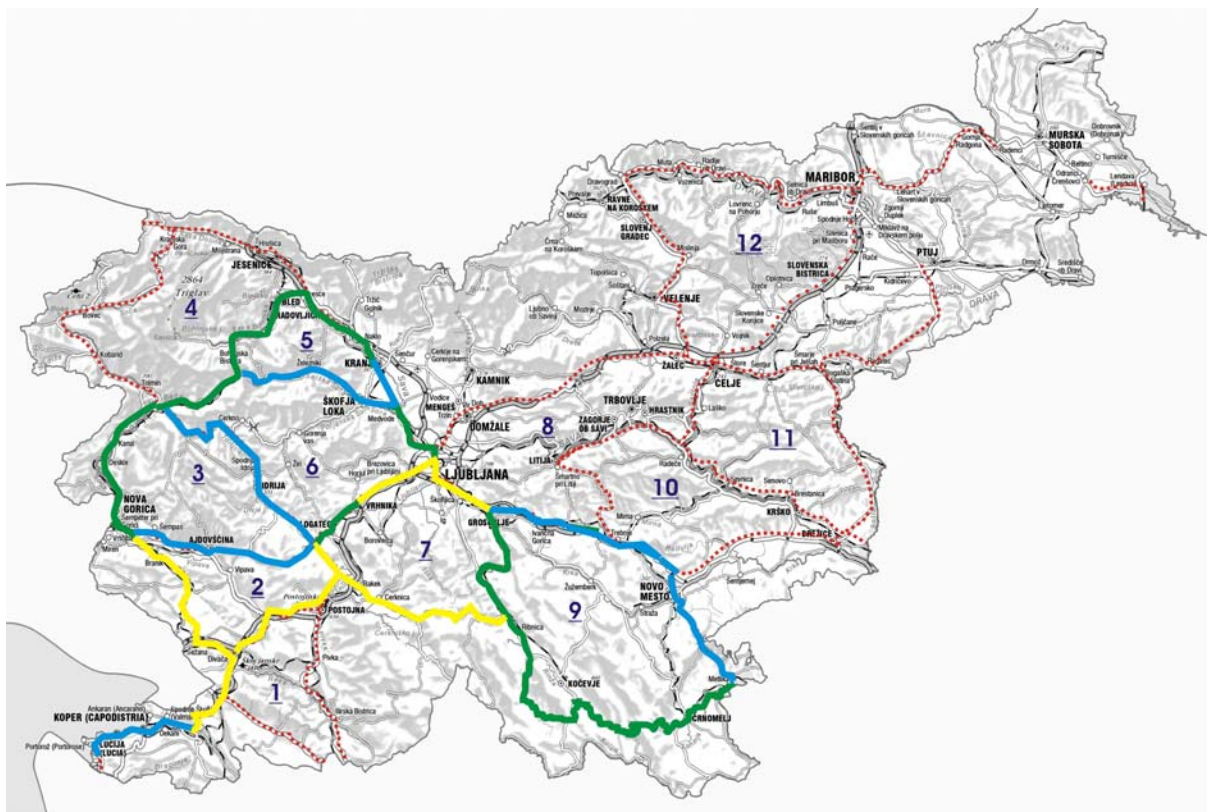
Izmere nivelmanskih poligonov so izvajali Geodetska uprava Republike Slovenije, Geodetski zavod Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Leta 2009 je bilo izmerjenih skoraj 2,5-krat več nivelmanskih poligonov kot leta 2008. Tako je bil tudi presežen letni plan izmer, ki je bil narejen leta 2006 in je predvideval izmero 120 km nivelmanskih poligonov na leto (Razvoj OGS 2006, Prehod na nov koordinatni sistem, Končno poročilo). Podatki o opravljenih izmerah so zbrani v preglednici 3.1.1-1 in prikazani na sliki 3.1.1-1.

Leto	Od–do	Nivelmanski poligon	Dolžina	Izvajalec
2007	Nova Gorica–Most na Soči	Del NVN 3	38 km	GZS
	Medvode–Črnuče	Del NVN 5	19 km	GZS
	Dolenja vas (Ribnica)–Črnomelj	Del 1-53	73 km	GURS
Skupaj:			130 km	
2008	Grosuplje–Dolenja vas		41 km	GURS
	Kranj–Bled–Podbrdo–Most na Soči	Del NVN 3 in NVN 5	72 km	GURS
	Logatec–Vrhnika	Del 1-22	20 km	GURS
	Šempeter–Nova Gorica	Del NVN 3	4 km	UL FGG
Skupaj:			96 km	
2009	Črni Kal–Divača	Del NVN 3	19 km	GURS
	Črnuče–Kalce	Del I-22	40 km	GURS
	Divača–Kalce I	Del I-22	35 km	GURS
	Divača–Kalce II	Del I-22	15 km	GURS
	Divača–Nova Gorica	Del NVN 3	47 km	GURS
	Žlebič–Planina	2/2	51 km	GURS
	Grosuplje–Ljubljana	Del I-26	24 km	UL FGG
Skupaj:			231 km	

Preglednica 3.1.1-1: Izmerjeni nivelmanski poligoni v letih 2007 in 2008.

Če prevzamemo dele nivelmanskega poligona iz starih izmer, potem lahko iz slike 3.1.1-1 vidimo, da sta zanki 5, 6, 7 in 9 zaprti. Z izmero dela nivelmanskega poligona I-26 od Velikega Mlačevega do Ljubljane Vič in dela nivelmanskega poligona NVN 5 od Medvod do Črnuč, lahko omenjene nivelmanske zanke izravnamo z navezavo na fundamentalni reper FR 1014, ki je stabiliziran v Črnučah. Poleg tega predlagamo, da zapremo zanko 2 in preverimo ali je odstopanje manjše od dovoljenega odstopanja. Ker je odstopanje pri zapiranju nivelmanske zanke 3 bilo preveliko (-40,24 mm; dovoljeno 33,06 mm (Razvoj OGS 2007, Prehod na nov koordinatni sistem, Končno poročilo), predvidevamo, da bo tudi v zanki 2 odstopanje večje od dovoljenega. V tem primeru predlagamo, da zapremo skupaj zanki 2 in 3.

Iz slike 3.1.1-1 tudi vidimo, da je možno povezati opazovanja na mareografu s fundamentalnim reperjem FR1014 in določiti nacionalni vertikalni datum. Poleg tega bomo lahko določili razliko glede na vertikalni datum Trst in vertikalni datum evropske nivelmanske mreže EUVN.



Slika 3.1.1-1: Izmere nivelmanske mreže Slovenije (2007–2009).

Glede na dejstvo, da je bil leta 2009 letni plan izmere nivelmanskih poligonov prešežen, je nov plan pripravljen na sledečih predpostavkah:

- izmera okoli 140 km nivelmanskih poligonov na leto;
- posamezne nivelmanske zanke zapiramo s prevzetimi podatki iz starih izmer, če je odstopanje v nivelmanski zanki, v mejah dovoljenega odstopanja;
- zapiranje nivelmanskih zank v čim krajšem časovnem obdobju.

Popravljeni plan izmere nove nivelmanske mreže Slovenije je v preglednici 3.1.1-2.

2010	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
	Izravnavna zanke 4			144
2011	Od–do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Kranjska Gora–Rateče	2753–C907	Del NVN4	5
	Bogenšperk–Bič			10
	Celje–Zidani Most	CP265–MLXXVIII	Del NVN6	26
	Celje–Mestinje	CP265–5244e	Del 2/8	27
	Mestinje–Brežice	5244e–MIV	Del 2/8	81
	Izravnavna zanke 10 <sup>14</sup> , 11 in navezava z Italijo (Škofije, Vrtojba/N. Gorica, Rateče)			149

<sup>14</sup> Preznamemo del nivelmanskega poligona 1/26 (Bič–Novo mesto–Brežice) in pridobimo podatke o nivelmanskih izmerah za potrebe izgradnje HE na srednji Savi (Litija–Vrhovo) in spodnji Savi (Vrhovo–Brežice).

2012	Od–do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Ptuj–Mestinje	139–5244e	2/9 + del 1/12	38
	Maribor–Hrastovec	3694–FR1050	Del NVN11	21
	Hrastovec–Lendava	FR1050–FR3052	Del NVN11	81
	Izravnava zank 13 <sup>15</sup> , 14 in navezava Hrvaška (Rogatec)			140
2013	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 12, navezava Avstrije (Vič)			129
2014	Od–do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Maribor–Celje	3694–CP265	1/25	58
	Draga–Novo mesto	5364–MN3	Del 1/26	40
	Lendava–Petišovci	FR 3052–7043	Del NVN12	7
	Murska Sobota–Hodoš			37
	Ponovna izravnava zanke 12,13, navezava Hrvaška (Mursko središče, Ormož ali Središče ob Dravi) in Madžarska (Hodoš, Dolga vas, Pince)			142
2015	Od–do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Draga–Grosuplje	5364–5358	Del 1/26	16
	Brežice–Novo mesto	MIV–MN3	Del 1/26	46
	Postojna–Jelšane	MLVII–54	1/5	45
	Jekšane–Rupa (CRO)	54–? <sup>16</sup>	Na Hrvaškem	3
	Rupa (CRO)–Starod	? <sup>3</sup> –? <sup>17</sup>	Na Hrvaškem	8
	Starod–Kozina	? <sup>4</sup> –2839	Nov	27
	Izravnava zanke 1 in ponovna izravnava zank 9, 10, navezava s Hrvaško (Starod, Jelšane)			145
Stari nivelmanski vlaki 1992–2000				
2016	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
	Ptuj–Hrastovec	139–FR1050	Del 1/46	23
	Ponovna izravnava zank 3 in 6			134
2017	Od–do	Vozliščni reperji	Niv. poligon	Dol. (km)
	Ljubljana–Arja vas	FR1014–2753	Del NVN5	66
	Lendava–Murska Sobota–Ptuj	FR3052–139	Del 1/46	70
	Ponovna izravnava zanke 8 in 14			136

Preglednica 3.1.1-2: Popravljeni plan izmere nove nivelmanske mreže Slovenije.

<sup>15</sup> Preznamemo nivelmanski poligon 1/25 (Celje–Maribor) in del NVN 11 (Maribor–Hrastovec).

<sup>16</sup> Reper se nahaja na območju Hrvaške.

<sup>17</sup> Reper je treba še stabilizirati.

### **3.2 Zasnova prehoda z normalnih ortometričnih na normalne višine (NALOGA 2.2)**

*Poročilo: dr. Božo Koler, FGG*

*Terenska izmera in koordinacija izvedbe s strani naročnika: mag. Klemen Medved, GURS*

*Povzetek: dr. Božo Koler, FGG*

#### **Povzetek**

Strategija vzpostavitve novega višinskega sistema Slovenije predvideva uvedbo normalnih višin. Kot vse višine, ki temeljijo na težnosti, so normalne višine definirane kot količnik geopotencialne kote in srednje vrednosti normalnega težnega pospeška vzdolž normale (normalne težiščnice). Srednjo vrednost normalnega težnega pospeška računamo na odseku normale med elipsoidom in teluroidom. Torej moramo poznati vrednost normalne višine v točki. Ker to šele računamo, jo lahko za praktične potrebe zamenjamo z nadmorsko višino.

Nov višinski sistem lahko uvedemo na osnovi:

1. Nove izmere nivelmanske mreže višjega reda Slovenije
2. Gravimetrične izmere na reperjih nivelmanske mreže Slovenije

Na teh dveh izhodiščih temelji predlagani način prehoda s sedanjih normalnih ortometričnih višin na bodoči višinski sistem, torej na normalne višine.



### 3.2.1 Obstoječi višinski sistem v Sloveniji

Temeljna geodetska višinska mreža Republike Slovenije je podana z višinami reperjev v normalnem ortometričnem sistemu višin, ki je zastarel in se je uveljavil v 19. stoletju, ko so se na območju Evrope izvajale prve obsežne izmere nivelmanskih mrež (npr. avstroogrška izmera). Višine točk niso določene na osnovi nivelmanske in gravimetrične izmere, ki predstavljata osnovo za vzpostavitev sodobnega višinskega sistema.

Poleg tega v sistemu normalnih ortometričnih višin ne obstaja geometrijska izhodiščna ploskev kot v primeru ortometričnih višin (geoid) in normalnih višin (kvazigeoid). Glede na razvoj in prodor metode GNSS izmere v prakso, tako ni možno določiti geoidne/kvazigeoidne višine, ki nam omogoča preračunavanje elipsoidnih višin v različne višinske sisteme in obratno. 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 in normalno ortometrično višino.

Za analizo razlik med normalnimi ortometričnimi višinami in normalnimi višinami v nivelmanski zanki 5, smo izračunali tudi normalni ortometrični popravek, ki je izračunan po sledeči enačbi:

$$NOP = -0,000025707 \cdot H_{sred} \cdot \Delta\phi,$$

kjer sta:

$H_{sred}$  . . . srednja nadmorska višina med reperjema in

$\Delta\phi$  . . . razlika geografskih širin med reperjema.

Preglednica izračunanih višinskih razlik v sistemu normalnih ortometričnih višin in normalnih višin je v [priloqi 3.2-1](#).

### 3.2.2 Geopotencialne kote

Osnovo vsem fizikalnim višinskim sistemom, razen povsem geometrično definiranim elipsoidnim višinam, predstavljajo geopotencialne kote, ki jih lahko določimo na osnovi merjenih višinskih razlik in podatkov o merjenem težnostnem pospešku.

Razlike potencialov posameznih točk, glede na ničelno nivojsko ploskev – geoid, je francoski geodet P. Tardi imenoval geopotencialne kote – (C). Tako velja za točko P:

$$C_p = W_0 - W_P = - \int_{P_0}^P g' \delta h' = \int_{P_0}^P g \delta h \approx \sum_{i=1}^n g_{mi} \Delta h_i \quad (2.1)$$

kjer so:

- $W_0$  . . . potencial ničelne nivojske ploskve – geoida,
- $W_P$  . . . potencial nivojske ploskve skozi točko P,
- $g_{mi}$  . . . srednja vrednost težnostnega pospeška med izmeniščema i in i – 1,
- $\delta h$  . . . višinska razlika na i-tem stojišču instrumenta in
- $\Delta h_i$  . . . nivelirana višinska razlika.

Če določimo, da je višina ničelne nivojske ploskve oziroma geoida enaka 0, potem nam razlika potencialov predstavlja naravno mero za višine točk na zemeljski površini. Enota za geopotencialne kote imenujemo geopotencialno število ali GPU (ang. geopotential unit), kjer je  $1 \text{ GPU} = 1 \text{ kgal m} = 10 \text{ Nm/kg} = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ . Geopotencialne kote so neodvisne od poti niveliranja in določene brez dodatnih hipotez o zgradbi notranjosti Zemlje.

### 3.2.3 Izračun geopotencialnih razlik in normalnih višinskih razlik

#### Primer nivelmanske zanke 5

Na osnovi opravljene nivelmanske in gravimetrične izmere, smo izračunali geopotencialne razlike (priloga 3.2-1) in višinske razlike v sistemu normalnih višin. Geopotencialne razlike dobimo, če merjeno višinsko razliko med dvema reperjema pomnožimo s srednjim izmerjenim težnostnim pospeškom med reperjema. Enota za geopotencialne razlike je kGalm. Tako je geopotencialna kota ali geopotencialna razlika približno enaka merjeni višinski razliki. Normalni popravek si izračunamo po sledeči enačbi (Hofmann-Wellenhof in Moritz, 2005):

$$NP_A^B = \sum_A^B \frac{g_{sred} - \gamma_{46}}{\gamma_{46}} \cdot \Delta h_A^B + \frac{\bar{\gamma}_A - \gamma_{46}}{\gamma_{46}} \cdot H_A^{nor} - \frac{\bar{\gamma}_B - \gamma_{46}}{\gamma_{46}} \cdot H_B^{nor},$$

kjer so:

- $g_{sred}$  . . . srednja vrednost merjenega težnostnega pospeška med reperjema,
- $\Delta h_A^B$  . . . popravljena merjena višinska razlika med točkama A in B (upoštevan temperaturni popravek, popravek metra para nivelmanskih lat in razlika pet nivelmanskih lat),
- $\bar{\gamma}$  . . . srednja vrednost normalnega težnostnega pospeška na reperjih ter
- $H_A^{nor}, H_B^{nor}$  . . . normalni nadmorski višini točk A in B.

Normalni težnosti pospešek si izračunamo po enačbi:

$$\bar{\gamma} = \gamma_0^{\phi} - \frac{0,30877 \cdot H}{2} + \frac{0,072 \cdot 10^{-6} \cdot H^2}{2} \text{ ali } \bar{\gamma} = \frac{\gamma_0^{\phi} + \gamma_H}{2}$$

V zgornjih enačbah so:

$H$  . . . višina reperja,

$\gamma_0^{\phi}$  . . . normalni težnostni pospešek na geografski širini reperja, ki ga izračunamo po enačbi:

$$\gamma_0^{\phi} = 9.7803267715 \cdot \left(1 + 5,2790414 \cdot 10^{-3} \cdot \sin^2 \phi + 2,32718 \cdot 10^{-5} \cdot \sin^4 \phi + 1,262 \cdot 10^{-7} \cdot \sin^6 \phi + 7 \cdot 10^{-10} \cdot \sin^8 \phi\right)$$

$\gamma_H$  . . . normalna težnost na nadmorski višini  $H$ , ki si jo izračunamo po enačbi:

$$\gamma_H = \gamma_0^{\phi} - 3,0877 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - 0,00139 \cdot \sin^2 \phi\right) \cdot H + 0,72 \cdot 10^{-12} \cdot H^2$$

V prilogi 3.2-1 so zbrani podatki, ki smo jih potrebovali za izračun normalnega ortometričnega popravka (NOP), normalnega popravka (NP) in izračunane normalne ortometrične in normalne višinske razlike. V [prilogi 3.2-2](#) so izračunane tudi razlike med popravkoma v različnih višinskih sistemih.

### 3.2.4 Izravnava in ocena natančnosti

#### Primer nivelmanske zanke 5

Podatke o merjenih višinskih razlikah, ki so popravljene za meter para lat in temperaturni popravek, smo pridobili na Geodetski upravi republike Slovenije. Nivelmanska zanka 5 je navezana na fundamentalni reper FR1014 in izravnana v višinskem sistemu normalnih in normalnih ortometričnih višin. Nivelmansko zanko smo izravnali s programom VIMWIN. Rezultati izravnave so zbrani v [prilogi 3.2-3](#).

Podatki o odstopanju pri zapiranju nivelmanske zanke in ocena natančnosti po izravnavi v različnih višinskih sistemih, so zbrani v preglednici 3.2-1:

	Višinski sistem		
	Merjena	Normalni ortometrični	Normalni
$\Delta_Z^{18}$	0,86 mm	-0,56 mm	2,18 mm
$\sigma_0$	/	0,054 mm/km	0,194 mm
$\sigma_H$	/	0,01–0,37 mm	0,04–1,31 mm

*Preglednica 3.2-1: Podatki o odstopanjih nivelmanske zanke in oceni natančnosti.*

Dovoljeno odstopanje za nivelmansko zanko 5 si izračunamo po sledeči enačbi:

$$f_{dov} = \pm 1 \sqrt{s + 0,04s^2} = 26,91 \text{ mm.}$$

Dolžina nivelmanske zanke 5 znaša 122,63 km.

<sup>18</sup> Odstopanje v nivelmanski zanki.

Iz preglednice 3.2-1 lahko vidimo, da so odstopanja pri zapiranju nivelmanske zanke 5 majhna. Na osnovi tega je ocena natančnost niveliranja višinskih razlik po izravnavi odlična. Prav tako je odlična tudi dosežena natančnost določitve nadmorske višine reperjev. Podatki o izravnanih višinskih razlikah in oceni natančnosti določitve nadmorske višine točke v različnih višinskih sistemih, so zbrani v [prilogi 3.2-4](#).

Iz primerjave nadmorskih višin točk v različnih višinskih sistemih (priloga 3.2-4) lahko vidimo, da se normalne višine od normalnih ortometričnih višin razlikujejo do  $-3$  mm. Poleg tega lahko vidimo, da se normalne višine, ki so določene iz izravnanih geopotencialnih kot in normalne višine, ki so bile določene z izravnavo normalnih višinskih razlik, na enem območju razlikujejo med reperji 101B–7287 do 0,33 mm. Z dodatnimi analizami, bo potrebno poiskati razloge za tako veliko odstopanje, saj se ostale višine razlikujejo le par stotink mm (glej prilogo 3.2-4).

Geopotencialne kote so bile izravnane z navezavo na fundamentalni reper FR1014, katerega geopotencialna kota je bila določena z izmero II. NVN. Po izračunu normalnih višin iz geopotencialnih kot, so le te določene v vertikalnem datumu Maglaj. Da dobimo primerljive normalne višine v vertikalnem datumu Trst, smo izračunane normalne višine iz geopotencialnih kot znižali za 79,74 mm. To je razlika med vertikalnim datumom Trst in Maglaj na fundamentalnem reperju FR1014.

### 3.2.5 Preračun nivelmanskih poligonov nižjih redov

Ker je natančnost določitve nadmorske višine reperjev nižjih redov nižja, kot višjih redov in ker večina nivelmanskih poligonov ni bila ponovno nivelirana, predlagamo, da že pripravljene datoteke za izravnavo ponovno izravnamo z navezavo na novo določene reperje višjih redov. V tem primeru se lahko srečamo s sledečimi problemi:

- Navezni reperji niso več ohranjeni. V tem primeru je potrebno na terenu ponovno navezati nivelmanski poligon na ohranjene reperje.
- Odstopanje lahko preseže dovoljeno odstopanje (vprašljiva kvaliteta višine točke).

Če pri preračunu posameznih nivelmanskih poligonov nižjih redov, odstopanje pri preračunu preseže dovoljeno odstopanja » $\Delta_{\text{dov}}$ «, predlagamo, da se dovoljeno odstopanje določi tako, kot je bilo določeno pri preračunu nivelmanske mreže Slovenije, ki je bil izveden leta 2000 oziroma končno odločitev o »dobrih« ali »slabih« reperjih sprejmemo na osnovi dejanskega stanja in kvaliteto reperja izrazimo z ustreznim zaokroževanjem.

### 3.3 Idejni projekt za kombinirano geodetsko mrežo 0. reda (NALOGA 2.3)

*Poročilo: Dominik Fajdiga, GI*

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

#### **Povzetek**

Predmet naloge je idejni projekt za kombinirano geodetsko mrežo 0. reda. Dolgoročni cilj, da bi vse tri ključne sestavine sodobnega geodetskega referenčnega sistema, torej

- terestrični/horizontalni koordinatni sistem,
- višinski sistem in
- gravimetrični sistem

povezali v okviru kombinirane geodetske mreže, sledi resoluciji št. 5 z EUREF-simpozija v Firencah 2009 (glej tudi § 5.4). Govorimo o združitvi »treh stebrov geodezije«. Resolucija poudarja pomen združevanja različnih tipov geodetskih meritev in njihove hkratne obdelave (v okviru kombiniranega omrežja), predvsem za izboljšanje višinskih sistemov, torej nacionalnih realizacij EVRS07.

Izhodiščna ocena je bila, da bi za območje Slovenije zadoščalo okoli pet točk, pri čemer naj bi ena izmed njih – verjetno središčna točka mreže – v prihodnosti prevzela tudi vlogo državnega geodetskega observatorija; takšne observatorije premore večina evropskih držav. Prav tako naj bi ena izmed točk prevzela vlogo izhodiščne točke (normalnega reperja) za bodoči višinski sistem. Vseh pet točk bi sčasoma tudi nadomestilo bližnje stalne postaje omrežja SIGNAL, ki bi s tem dobilo bistveno večji pomen za znanstvene raziskave – tudi izven ožje geodezije.

V okviru naloge so bili tako obravnavani različni vidiki vzpostavitve kombinirane geodetske mreže. Prvi je gotovo iskanje primernih lokacij, saj so kriteriji izbora za različne sestavine sistema običajno povsem različni, lahko pa si celo nasprotujejo. Tako bo treba pri že pri izboru lokacij izdelati celovite interdisciplinarne študije, tako z vidika primernosti po geodetskih kriterijih, kot tudi z vidika uporabnosti teh lokacij za različna področja znanstvenih raziskav (aplikativni vidiki). Upoštevani so bili predvsem standardi za vključevanje točk v ECGN, in sicer za gravimetrične meritve, povezavo z nivelmansko mrežo in mareografske meritve, za GNSS-meritve pa so bili upoštevani standardi, ki veljajo za vključevanje točk v EPN. Pomemben kriterij pri izboru lokacij je tudi zagotovitev ustrezne komunikacijske infrastrukture. Prav tako mora biti že v fazi načrtovanja primerno poskrbljeno za pravno-lastniški vidik teh lokacij. Gre za osnovno državno infrastrukturo, za katero je potrebno zagotoviti državno lastništvo (odkup zemljišč), ustrezno pravno zaščito in zavarovanja.

Drugi pomemben vidik pri vzpostavitvi pa je obeležitev točk omrežja, merilni instrumentarij in njegova namestitve, ki mora omogočati izvedbo vseh vrst meritev na način, da to ne bo moteče za stalno izvajajoče se meritve (npr. GNSS-, morebiti gravimetrične, mareografske ...). To bo zahtevalo posebne tehnične rešitve in tudi izvedbe specifičnih preciznih meritev za določitev posameznih referenčnih točk in njihovih ekscentrov.

### 3.3.1 Uvod in pregled stanja

Namen te naloge je izoblikovati predlog vpeljave manjšega števila skrbno izbranih točk, ki bi z različnimi medsebojnimi povezavami najvišje kakovosti vzpostavljale kombinirano geodetsko mrežo t. i. ničtega reda. Vsebovane točke bi zadoščale izvedbi različnih tehnik izmere, imele bi pa tudi ustrezne lastnosti glede umeščenosti v prostor in lastništva.

S tem bi bila omogočena izvedba povezave med različnimi vrstami geodetskih mrež (GNSS, višinske, gravimetrične), zaradi prepletanja nekaterih tehnologij opazovanj z drugimi strokami pa bi lahko izpeljali tudi sodelovanje z drugimi vejami znanosti, ki preučujejo okolje (npr. geološke meritve, seizmologija, meteorologija, geofizika).

Nenazadnje pa je mogoč rezultat tovrstne sprege panog tudi postopen razvoj katere izmed takšnih točk v opazovalno postajo (observatorij), pomembno tudi za širši prostor srednje Evrope.

V letu 2008 smo izdelali predlog novega Pravilnika o mrežah geodetskih točk, v katerem smo z nekaterimi rešitvami že nakazali namero po poenotenem vodenju geodetskih točk. Ta dokument pa daje predlog o tem, kako naj bo tovrstna poenotenost izvedena na temeljni ravni – geodetski mreži najvišjega reda, ki realizira vse državne koordinatne sisteme.

Razvoj geodetskega sistema v Sloveniji je v zadnjem času potekal precej intenzivno, saj se je skušalo razširiti raven uslug do uporabnikov (GNSS), obenem pa je bilo treba skrbeti za sanacijo osnovnega koordinatnega sistema oz. načrtovati prehod na novega. Iz tega je izšla zadnja pridobitev slovenske geodezije, omrežje SIGNAL, ki iz splošnega uporabniškega vidika povsem zadošča.

Žal pa trenutna infrastruktura tega omrežja ne dosega kriterijev za to, da bi omrežje uporabili tudi kot osnovo za realizacijo državnega koordinatnega sistema, predvsem zaradi bolj ali manj neustreznih mikrolokacij posameznih točk. Zaradi tega za osnovo državnemu koordinatnemu sistemu služijo druge točke, izmerjene v okviru kampanj EUREF, na katerih pa se meritve ne izvajajo permanentno.

Tako smo v stanju, ko imamo razmeramo dobro razvito GNSS-infrastrukturo (strojno in programsko opremo, obdelavo podatkov, storitve), ki pa je ne moremo v polnosti izkoristiti.

### 3.3.2 Cilji in učinek vpeljave kombinirane geodetske mreže

Cilji vzpostavitve kombinirane geodetske mreže:

- zanesljiva osnova za horizontalni in višinski državni koordinatni sistem
- povezava med GNSS in višinskimi meritvami
- trajna rešitev lastniških razmerij v omrežju SIGNAL

Posredni učinki:

- boljši izračun geoida
- uporaba GNSS-višinomerstva
- povezovanje med področji geodezije
- sodelovanje med strokami, ki preučujejo okolje
- izboljšano mednarodno sodelovanje
- okrepitev pomena geodezije v strokovni in širši javnosti

### **3.3.3 Možni partnerji za sodelovanje**

Glede na sorodne potrebe, merske tehnike in rezultate bi se bilo tekom vzpostavljanja in delovanja smiselno povezovati z naslednjimi organizacijami:

- Agencija RS za okolje (hidrometeorologija, podnebne spremembe, potresi, zrak)
- Geološki zavod Slovenije (geofizika, potresi, geološka poročila o primernosti lokacij)
- Astronomsko geofizikalni observatorij Golovec (izkušnje z izgradnjo in delovanjem centra za opazovanja)

Sodelovanje zainteresiranih organizacij je možno na več načinov:

- preko odprtih protokolov izmenjave podatkov pridobivajo surova ali izvrednotena opazovanja
- predlagajo vključitev opazovanj dodatnih količin

Predvsem v primeru odločitve za geodetski observatorij na eni izmed točk (najbrž osrednji) bo potrebno vključiti tudi sorodne stroke, s čimer bi objekt pridobil na družbeni teži in imel s tem manj težav pri tem, da država prepozna njegov strateški pomen.

### **3.3.4 Izhodišča in zahteve**

Na izbor primernih točk vplivajo različni dejavniki.

#### **3.3.4.1 Merske tehnike**

- GNSS
- nivelman (mareograf)
- gravimetrija
- temperatura
- smer vetra
- hitrost vetra
- vlažnost
- padavine
- tlak
- vlažnost zraka iz GNSS

- opazovanja strel (preučevanje prenosa energije v zgornji atmosferi)
- radarska opazovanja (InSAR interferometrija)
- meritve časa, SLR, LLR, VLBI

#### **3.3.4.2 Naravni dejavniki**

- vidnost (odprtost obzorja)
- dostopnost
- poraščenost
- višina
- sestava tal
- nosilnost tal
- stabilnost tal
- zaščitenost pred uničenjem

#### **3.3.4.3 Družbeni dejavniki**

- urejeno lastništvo zemljišča
- sosedski odnosi
- zazidanost
- regionalni in občinski prostorski načrti
- varovanje, zaščitenost pred uničenjem

#### **3.3.4.4 Infrastruktura**

- elektrika (neprekinjeno napajanje)
- internetna povezava dovoljšnje prepustnosti in visoke razpoložljivosti
- telefonska povezava
- vodovodni priključek

#### **3.3.4.5 Ostali dejavniki**

- razporeditev točk po državi in v sosedstvu
- odločitev o postopnosti izvedbe in opredelitev nalog v posameznih fazah

#### **3.3.5 Postopek iskanja makro- in mikrolokacij**

V postopku iskanja primernih lokacij za točke kombinirane mreže se najprej poslužimo GIS-analiz, s čimer opredelimo 15 možnih makroobmočij (velikost nekaj sto km<sup>2</sup>) glede na:

- dosedanje točke 1. reda, EUREF, EUVN, gravimetrične mreže,
- geološko karto 1:100.000,
- državne in regionalne prostorske načrte,
- želeno raporeditev točk.



V naslednjem koraku analiziramo vsako izmed 15-ih makroobmočij in v vsaki poiščemo možne lokacije glede na:

- ortofoto,
- poraščenost,
- poselitev, zazidanost,
- bližina industrije (tresljaji),
- občinski prostorski načrti,
- poplavna ogroženost,
- vidnost obzorja (DMV).

Tako izbrane lokacije nato terensko pregledamo in določimo možne mikrolokacije. V kolikor pridobimo premalo mikrolokacij ali pa so te neustrezno razporejene po državi, skušamo določiti dodatna makroobmočja, kjer postopek ponovimo. Ob koncu preverimo lastniško stanje in možnost priključkov.

### **3.3.6 Lastniškopravna razmerja in fizična postavitvev točk**

Po postopku izbora končnih mikrolokacij vseh petih točk, ki ustrezajo zgoraj navedenim dejavnikom, je potrebno izdelati načrt izvedbe. V načrtu izvedbe se opiše vse potrebne korake za fizično in uradno vzpostavitev točke oz. območja:

- ureditev lastniških razmerij na sami točki in bližnji okolici:
  - odločitev o obsegu dejavnosti, ki bodo potekale na točki oz. območju (odločitev o geodetskem observatoriju na eni izmed točk)
  - definiranje velikosti potrebnega zemljišča
  - izvedba parcelacije
  - nakup zemljišč in morebitnih stavb, tako da te postanejo izključna last Republike Slovenije
  - prenos nepremičnin v upravljanje Geodetske uprave Republike Slovenije
  - določitev odgovornih oseb upravljavca, ki imajo v oskrbi infrastrukturo in delovanje posamezne točke
  - določitev koordinatorja, ki usklajuje delovanje in razvoj kombinirane geodetske mreže
- ureditev fizične vzpostavitve same točke in potrebnih grajenih objektov:
  - definiranje terminskega načrta (morebitna etapnost izvedbe) z določitvijo zelenih izmeritvenih možnosti v fazah vzpostavitve
  - tehnična določitev načina obeležitve (stabilizacije) posameznih ekscentrov, namenjenih različnim tehnikam meritev; idejna, arhitekturna in gradbena dokumentacija v primeru izgradnje namenskih stavb
  - določitev zaščitnih tehničnih konstrukcij z namenom kontrole stabilnosti glavne točke in ekscentrov ter preprečitve vremenskih in drugih poškodb

Pri vzpostavljanju posameznih točk bo najverjetneje prišlo do izvedbe v več etapah, zato je nujno že v začetku predvideti razvoj (dodajanje izmeritvenih možnosti) in ga uskladiti tako, da pri dodajanju funkcionalnosti ne bo prišlo do motenja ali slabšanja meritev na že obstoječih ekscentrih.

### 3.3.6.1 Obeležitev točk

Posebnosti obeležitve točk v kombiniranih geodetskih mrežah izhajajo iz glavne lastnosti tovrstnih mrež in sicer iz želje, da lahko na isti točki oz. na njenih ekscentrih izvajamo opazovanja z uporabo različnih izmeritvenih tehnik.

Ker je zelo težko razviti obeležbo, ki bi hkrati zagotavljala visoko natančnost pri različnih tehnikah izmere (npr. pri GNSS in nivelmanu), poteka praktična izvedba tako, da poleg glavne (izvirne) točke obeležimo še več ekscentričnih točk, od katerih je vsaka prilagojena za specifičen način meritev.

Pri obeležitvi točk kombiniranih mrež Tako nastopajo naslednje vrste točk:

- glavna točka, na katero so reducirane vse meritve na ekscentrih
- točke ekscentrov, ki so obeležene na način, ki omogoča natančno uporabo posameznih merskih tehnik
- točke zavarovanj, s katerimi izvajamo kontrolo premikov celotne

Med vsemi navedenimi točkami izvajamo periodične meritve in s tem vzpostavljamo mikromrežo. Preko izravnanih opazovanj nato spremljamo premike posameznih točk ali predelov v mikromreži.

Pri tem so ključne dobro in natančno zasnovane tehnike povezovanja glavne točke z ekscentri in zavarovanji.

Podrobnejša razčlenitev vplivov in izbor ustrezne obeležitve je na voljo na spletni strani:

Monumentation Design and Implementation Recommendations  
<http://igscb.jpl.nasa.gov/network/monumentation.html>

### 3.3.7 Primeri kombiniranih omrežij v tujini

#### 3.3.7.1 ECGN

Evropska kombinirana geodetska mreža (European Combined Geodetic Network – ECGN) je projekt EUREF-a z namenom mednarodnega povezovanja različnih geodetskih mrež najvišjih redov.

Projekt se je začel v letu 2003, ko je bilo objavljeno prvo vabilo članicam, da predlagajo svoje točke za vključitev. Postopek vabljenja je še vedno odprt, Trenutno je prijavljenih približno 60 točk iz 21-ih evropskih držav. Slovenija v projektu še ne sodeluje.

### 3.3.7.2 CH-CGN, Švica

Gre za dober primer vzpostavljanja kombinirane geodetske mreže. V postopku prijave točke Zimmerwald v ECGN so pričeli s projektom razvoja dodatnih vsebin ter uskladitve geodetskih mrež preko vzpostavitve CH-CGN (Swiss Combined Geodetic Network).

### 3.3.7.3 Penc, Madžarska

V Pencu na Madžarskem je primer opazovalne postaja, ki so jo postopoma dograjevali. Sedaj gre za opazovališče z razvejano dejavnostjo, ki vključuje:

- permanetno postajo GNSS
- meteorološka opazovanja
- seizmična opazovanja
- radarsko interferometrijo
- gravimetrijo
- spremljanje električne aktivnosti ozračja
- meritve časa

### 3.3.7.4 CBN1, Kanada

V tem primeru gre za mrežo, ki ni bila posebej vzpostavljena z namenom združevanja različnih opazovanja, a se je z nadgrajevanjem razvila do te mere, da dobro povezuje različne geodetske mreže.

## 3.3.8 Standardi in priporočila

Pri izbiranju lokacij posameznih točk ničtega reda se poslužujemo dobrih praks, ki so se razvile v mednarodnih geodetskih krogih in ki so bile v okviru projekta ECGN in ostalih projektov EUREF tudi že zapisane v obliki standardov ali priporočil. Tudi iz tega je razvidno, da je projekt ECGN dobro zaživel in da prevzema glavno pobudo pri vzpostavitvi mednarodno usklajene geodetske infrastrukture,

Nekateri izmed teh standardov so že precej časa na voljo in so zato tudi podrobneje razdelani tako kar se tiče konceptov kot tudi izvedb (npr. Guidelines for EPN Stations & Operational Centres), medtem ko gre pri drugih dokumentih bolj za začetno usklajenost pri izhodiščih in lahko pričakujemo dopolnitve.

Iz tega razloga je smiselno podrobneje spremljati razvoj projekta ECGN in izkušnje, ki bodo vključevane v dokumente.

### 3.3.8.1 Standardi in priporočila za GNSS

Tehnika GNSS-izmere pomeni osnovo pri vzpostavljanju kombinirane geodetske mreže, saj je bilo šele z razmahom te tehnologije možno pričeti s kakovostnim povezovanjem različnih vrst geodetskih mrež.

Osrednja vloga te tehnologije je razvidna tudi glede na standard, ki opisuje tehnične zahteve pri vzpostavitvi zanesljivih GNSS-točk in izvajanju opazovanj. Dokument natančno opisuje lastnosti točke (obeležitev, opazovanja, način izračuna), ki jo želimo vključiti v omrežje evropskih permanentnih postaj (European Permanent Network – EPN).

V dokumentu je določeno:

- značilnosti okolice
- obeležitev točke
- oprema na točki
- format podatkov
- protokol prenosa podatkov
- način izvajanja meritev na točki
- naloge operativnega centra
- kontrole, arhiviranje
- dokumentacija

Dokument Smernice EUREF za točke EPN (Guidelines for EPN Stations & Operational Centres) je dosegljiv na:

[http://epncb.oma.be/organisation/guidelines/guidelines\\_station\\_operationalcentre.pdf](http://epncb.oma.be/organisation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf)

### 3.3.8.2 Standardi in priporočila za nivelman

V dokumentu Standardi ECGN za višinsko povezavo ECGN-točk (ECGN Standards for the Levelling Connection of the ECGN Station) je opisano teoretsko izhodišče za določanje višine in sicer Evropski višinski referenčni sistem (European Vertical Reference System – EVRS), kjer je sicer še zapisano priporočilo o privzemu realizacije EVRF2000, vendar je bila medtem sprejeta resolucija (št. 3, London 2007), ki priporoča realizacijo EVRS07.

Slednji je realiziran z geopotencialnimi kotami in normalnimi višinami točk mreže UELN 95/98. Če so v Sloveniji točke, ki so del mreže, potem je potrebno ECGN točke navezati na ta sistem. V nasprotnem primeru zadošča navezava na državni višinski sistem.

Standard določa:

- povezava med točkami podana v geopotencialnih kotah
- topologije nivelmanskih vlakov
- natančnost boljša kot 1mm na kilometer (podana enačba)
- gostota, vrsta, natančnost gravimetričnih meritev

- vodenje metapodatkov
- protokol izmenjave podatkov

Dokument je dosegljiv na:

[http://www.bkg.bund.de/nn\\_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/LevellingStandardsConnection-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/LevellingStandardsConnection-PDF.pdf](http://www.bkg.bund.de/nn_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/LevellingStandardsConnection-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/LevellingStandardsConnection-PDF.pdf)

### **3.3.8.3 Standardi in priporočila za gravimetrijo**

Dokument Standardi ECGN za absolutni gravimeter (ECGN Standards for the Absolute Gravimeter) je razmeroma kratek in predvsem določa formate zapisa in izmenjave podatkov, pridobljenih na osnovi meritev z absolutnim gravimetrom FG5. Za slednjega standard predvideva, da gre za največkrat (celo praviloma) uporabljen inštrument pri gravimetričnih meritvah za potrebe ECGN-točk.

O sami gostoti, vrsti in natančnosti gravimetričnih meritev je tako največ zapisano v prejšnjem dokumentu, v standardu o višinski izmeri.

Dokument je dosegljiv na:

[http://www.bkg.bund.de/nn\\_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/GravMeasurments-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GravMeasurments-PDF.pdf](http://www.bkg.bund.de/nn_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/GravMeasurments-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GravMeasurments-PDF.pdf)

### **3.3.8.4 Standardi in priporočila za mareograf**

Dokument Standardi ECGN za opazovanje višine morske gladine (ECGN Standards for Tide gauge measurments) je predvsem skupek referenc splošna priporočila s strani organizacije Intergovernmental Oceanographic Commission in standarde nastale v projektih kot so Permanent Service for Mean Sea Level, European Sea Level Service ter Global Sea Level Observing System. V teh dokumentih je opredeljena tehnologija in perioda opazovanj ter obdelava podatkov.

Dokument posebej priporoča skrbno in redno izmero (enoletni interval) med točkami, ki sestavljajo opazovališče (mareograf) in državno višinsko mrežo.

V teku je tudi projekt, ki združuje vse mareografe, na katerih se izvajajo GNSS-meritve za potrebe ECGN. (Tide Gauge Benchmark Monitoring Pilot Project – TIGA-PP). Za izmenjavo podatkov dokument priporoča uporabo informacijske infrastrukture razvite v okviru projekta Permanent Service for Mean Sea Level. Specificirano je vodenje metapodatkov.

Dokument je dosegljiv na:

[http://www.bkg.bund.de/nn\\_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/TideGaugeStandards-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/TideGaugeStandards-PDF.pdf](http://www.bkg.bund.de/nn_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/TideGaugeStandards-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/TideGaugeStandards-PDF.pdf)

### 3.3.8.5 Standardi in priporočila za mikromrežo

Dokument Standard za povezave bližnjih točk (ECGN Standards for Local Ties) skuša zajeti izhodišča za robustno izvedbo povezav med točkami, na katerih izvajamo opazovanja z različnimi merskimi tehnikami.

Dokument opredeli točko, na katero so reducirana vsa opazovanja kot glavno točko, vse ostale točke, preko katerih je glavna točka povezana v kombinirano geodetsko mrežo pa lahko imenujemo ekscentri (v dokumentu 'benchmarks').

Ekscentre dvakrat letno povezujemo z glavno točko z uporabo tehnik GNSS in nivelman.

Dokument je dosegljiv na:

[http://www.bkg.bund.de/nn\\_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/LocalTiesStandards-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/LocalTiesStandards-PDF.pdf](http://www.bkg.bund.de/nn_165298/geodIS/ECGN/SharedDocs/Downloads/GuidForms/LocalTiesStandards-PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/LocalTiesStandards-PDF.pdf)

### **3.4 Obdelava GNSS-opazovanj za določitev elipsoidnih višin točk nivelmana (NALOGA 2.4)**

*Obdelava in poročilo: Katja Bajec in Nika Mesner, GI, ter Ingrid Arh  
Vodja terenske izmere in koordinacija s strani naročnika: Žarko Komadina, GURS  
Povzetek: Sandi Berk, GI*

#### **Povzetek**

Predmet naloge je obdelava GNSS-opazovanj za določitev elipsoidnih višin točk nivelmana, in sicer za meritve na 10-ih točkah nivelmana, ki so bile izvedene v letu 2009. Meritve je izvedel naročnik. Upoštevana so bila priporočila študije iz leta 2008 (glej Razvoj DGS 2008, str. 82–85 in 146–147), po katerih za določitev dovolj kakovostnih elipsoidnih višin točk zadoščajo 36-urna GNSS-opazovanja na vsaki točki.

Naloga predstavlja hkrati pilotni projekt za optimizacijo nadaljnjega izvajanja GNSS-izmere vzdolž nivelmanskih zank. Cilj naloge je bil preizkusiti različne strategije obdelave opazovanj. V okviru naloge je bila izvedena stroga obdelava opazovanj s t. i. znanstvenim pristopom (uporaba programske opreme Bernese, upoštevanje priporočil EUREF za obdelavo GNSS-kampanj, obdelava v aktualnem ITRF, uporaba natančnih tirnic satelitov ...). S primerjavo rezultatov obdelave opazovanj, ki jih je izvedel naročnik s t. i. komercialno programsko opremo in navezavo na stalne postaje omrežja SIGNAL, bo izbrana optimalna metoda obdelave v nadaljevanju.

Poročilo o obdelavi GNSS-opazovanj za določitev elipsoidnih višin točk nivelmana je v (ločeno vezani) prilogi:

- **Obdelava GNSS-opazovanj za določitev elipsoidnih višin točk nivelmana.** Tehnično poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, oktober 2009

## 4 Naloge na gravimetričnem sistemu

### 4.1 Priprava DMV za potrebe izračuna novega geoida (NALOGA 3.1)

*Izvedba: dr. Tomaž Žagar in Sandi Berk, oba GI  
Povzetek in poročilo: Sandi Berk, GI*

#### Povzetek

Podatki o izoblikovanosti površja Zemlje so eden izmed osnovnih vhodnih nizov podatkov za izračun geoida. Cilj naloge je bil pridobiti kakovostne izvorne podatke o reliefu na območju Slovenije in njene neposredne okolice ter nato te podatke zdužiti in urediti na način, da bodo primerni kot vhodni podatki za izračun.

Na podlagi predhodne študije kakovosti podatkov (glej Razvoj DGS 2008, str. 152–166) so bili kot osnovni vhodni podatki vzeti:

- podatki DMV 12,5 za območje države in
- podatki SRTM-3 V2.1 za okolico države.

Podatki SRTM se že nanašajo na elipsoid GRS80, za podatke DMV pa je bil vzet niz transformiranih besedilnih datotek (s pripono ».xyz«), ki je bil predhodno transformiran v novi državni ravninski koordinatni sistem – D96/TM (glej Transformacija DMR in ortofotov 2009, str. 1–8).

Celotno zbirko DMV tvori 3.258 datotek. Gre za razdelitev na liste v merilu 1 : 5.000 (2.250 m × 3.000 m). Datoteke so bile najprej združene v eno datoteko, pri čemer so bile podvojene točke na skupnih robovih listov zreducirane na eno samo točko (točke se nikjer ne podvajajo). Nato so bile vse točke (horizontalne koordinate) pretvorjene v elipsoidne koordinate.

Podobno so bile združene tudi datoteke s podatki SRTM. Te pokrivajo območja velikosti ene ločne stopinje tako po širini kot tudi po dolžini (1 ° × 1 °). Skupaj je bilo uporabljenih 47 (48) datotek (za območje  $43^\circ \leq \varphi \leq 49^\circ$  in  $11^\circ \leq \lambda \leq 19^\circ$ ). Tudi te datoteke so bile združene v eno datoteko in točke na robovih zreducirane tako, da se nikjer ne podvajajo.

Sledila je združitev podatkov DMV in SRTM v skupno datoteko. Vse točke SRTM na območju, ki ga pokrivajo podatki DMV, so bile odstranjene, saj so podatki DMV kakovostnejši. Tako združen in delno reduciran sloj je bil vhodni podatek za končni DMV; vse točke so v tej fazi še ohranile izvorne nadmorske višine.

Pripravljena sta bila grobi model višin, ki približno ustreza stometrskemu gridu v ravninskih koordinatah, in fini model višin, ki približno ustreza kilometrskemu gridu v ravninskih koordinatah. Oba končna grida sta bila tvorjena z linearno interpolacijo združenih podatkov DMV in SRTM.



#### 4.1.1 Določitev območja DMV

Upoštevano je bilo priporočilo, da naj bodo območja datotek DMV usklajena z območji datotek DMG (glej Pribičević 2001, str. 67).

Tako je bilo za **širše območje** oziroma **grobi model** vzeto območje:  $43^\circ \leq \varphi \leq 49^\circ$  in  $11^\circ \leq \lambda \leq 19^\circ$ , torej  $8 \times 6 = 48$  »stopinjskih kvadratov«. Površina širšega območja je  $413.335 \text{ km}^2$ .

Za **ožje območje** oziroma **fini model** pa je bilo vzeto območje:  $45^\circ \leq \varphi \leq 47^\circ$  in  $13^\circ \leq \lambda \leq 17^\circ$ , torej  $4 \times 2 = 8$  »stopinjskih kvadratov«. Površina ožjega območja je  $68.877 \text{ km}^2$ .

Tako določeni ožje in širše območje izhajata iz zahtev za pripravo digitalnega modela gostot (glej § 4.2.1).

#### 4.1.2 Določitev ločljivosti DMV

Osnovno razmerje za določitev stopnje podrobnosti DMV po  $\varphi$  in  $\lambda$  naj bi bilo tako, da so celice grida (v metričnih koordinatah) približno kvadratne oblike: glede na zemljepisno lego Slovenije je vzeto kar razmerje 2 : 3<sup>19</sup>, kar pomeni, da dve enoti po širini približno ustrežata trem enotam po dolžini (oboje v ločni meri).

Nekaj različic, ki se izidejo znotraj »stopinjskega kvadrata«:

- 0,2 " × 0,3 " (18.000 × 12.000 = 216.000.000 celic; a ≈ 6 m)
- 0,4 " × 0,6 " (9.000 × 6.000 = 54.000.000 celic; a ≈ 12 m)
- 0,6 " × 0,9 " (6.000 × 4.000 = 24.000.000 celic; a ≈ 19 m)
- 0,8 " × 1,2 " (4.500 × 3.000 = 13.500.000 celic; a ≈ 25 m)
- 1 " × 1,5 " (3.600 × 2.400 = 8.640.000 celic; a ≈ 31 m)
- 1,2 " × 1,8 " (3.000 × 2.000 = 6.000.000 celic; a ≈ 37 m)
- 1,6 " × 2,4 " (2.250 × 1.500 = 3.375.000 celic; a ≈ 49 m)
- 2 " × 3 " (1.800 × 1.200 = 2.160.000 celic; a ≈ 62 m)
- 2,4 " × 3,6 " (1.500 × 1.000 = 1.500.000 celic; a ≈ 74 m)
- **3 " × 4,5 "** **(1.200 × 800 = 960.000 celic; a ≈ 93 m)**
- 3,2 " × 4,8 " (1.125 × 750 = 843.750 celic; a ≈ 99 m)
- 4 " × 6 " (900 × 600 = 540.000 celic; a ≈ 123 m)
- 4,8 " × 7,2 " (750 × 500 = 375.000 celic; a ≈ 148 m)
- 5 " × 7,5 " (720 × 480 = 345.600 celic; a ≈ 154 m)
- 6 " × 9 " (600 × 400 = 240.000 celic; a ≈ 185 m)
- 8 " × 12 " (450 × 300 = 135.000 celic; a ≈ 247 m)
- 9,6 " × 14,4 " (375 × 250 = 93.750 celic; a ≈ 296 m)
- 10 " × 15 " (360 × 240 = 86.400 celic; a ≈ 309 m)
- 12 " × 18 " (300 × 200 = 60.000 celic; a ≈ 370 m)
- 15 " × 22,5 " (240 × 160 = 38.400 celic; a ≈ 463 m)
- 16 " × 24 " (225 × 150 = 33.750 celic; a ≈ 494 m)
- 20 " × 30 " (180 × 120 = 21.600 celic; a ≈ 617 m)
- 24 " × 36 " (150 × 100 = 15.000 celic; a ≈ 741 m)
- **30 " × 45 "** **(120 × 80 = 9.600 celic; a ≈ 926 m)**
- 40 " × 1 ' (90 × 60 = 5.400 celic; a ≈ 1.235 m)
- 48 " × 1 ' 12 " (75 × 50 = 3.750 celic; a ≈ 1.482 m)
- 50 " × 1 ' 15 " (72 × 48 = 3.456 celic; a ≈ 1.543 m)
- 1 ' × 1 ' 30 " (60 × 40 = 2.400 celic; a ≈ 1.852 m)
- 1 ' 15 " × 1 ' 52,5 " (48 × 32 = 1.536 celic; a ≈ 2.315 m)
- 1 ' 20 " × 2 ' (45 × 30 = 1.350 celic; a ≈ 2.469 m)
- 1 ' 40 " × 2 ' 30 " (36 × 24 = 864 celic; a ≈ 3.087 m)
- 2 ' × 3 ' (30 × 20 = 600 celic; a ≈ 3.704 m)
- 2 ' 30 " × 3 ' 45 " (24 × 16 = 384 celic; a ≈ 4.630 m)
- 3 ' 20 " × 5 ' (18 × 12 = 216 celic; a ≈ 6.173 m)
- 4 ' × 6 ' (15 × 10 = 150 celic; a ≈ 7.408 m)
- 5 ' × 7 ' 30 " (12 × 8 = 96 celic; a ≈ 9.260 m)
- 6 ' 40 " × 10 ' (9 × 6 = 54 celic; a ≈ 12.347 m)
- 10 ' × 15 ' (6 × 4 = 24 celic; a ≈ 18.520 m)
- 20 ' × 30 ' (3 × 2 = 6 celic; a ≈ 37.040 m)

<sup>19</sup> Razmerje izhaja iz neenakosti:  $\cos(49^\circ) \approx 0,656 < 2/3 \approx 0,667 < 0,731 \approx \cos(43^\circ)$ .

Med navedenimi možnostmi tvorbe grida (v razmerju 2 : 3) so vse takšne, pri katerih je širina celice grida tako po širini kot tudi po dolžini izrazljiva v celih ločnih sekundah ali na celo desetinko ločne sekunde.

Izračuni približnih dolžin stranice celice (v metrih) se nanašajo na ločljivost po  $\varphi$ ; upoštevano je razmerje  $1' = 60'' = 1852 \text{ m}$  (mednarodna morska milja). Navedene različice pokrivajo ločljivosti od približno 6 m pa do približno 37 km.

Za **fini model** je izbrana ločljivost  $3'' \times 4,5''$  ( $1.200 \times 800 = 960.000$  celic;  $a \approx 93 \text{ m}$ ), kar približno ustreza stometrskemu gridu v ravninskih koordinatah. Osem »stopinjskih kvadratov« ožjega območja (glej § 4.2.1) torej vsebuje  $8 \times 960.000 = 7.680.000$  celic grida.

Za **grobi model** je izbrana ločljivost  $30'' \times 45''$  ( $120 \times 80 = 9.600$  celic;  $a \approx 926 \text{ m}$ ), kar približno ustreza kilometrskemu gridu v ravninskih koordinatah. Oseminštirideset »stopinjskih kvadratov« širšega območja (glej § 4.2.1) torej vsebuje  $48 \times 9.600 = 460.000$  celic grida.

### Opombe

Obravnavane celice grida zgoraj so takšne, ki imajo določene vrednosti v vseh štirih vogalih, dejansko število točk v takšnem modelu (točke z določeno vrednostjo) je zato po vsaki osi za 1 večje. V datoteki SURFER-grid je v glavi datoteke navedeno število stolpcev grida in število vrstic grida; **fini model** ima tako  $2 \times 1.200 + 1 = 2.401$  vrstic in  $4 \times 800 + 1 = 3.201$  stolpcev, **grobi model** pa  $6 \times 120 + 1 = 721$  vrstic in  $8 \times 80 + 1 = 641$  stolpcev. **Fini model** torej vsebuje  $2.401 \times 3.201 = 7.685.601$  točk, **grobi model** pa  $721 \times 641 = 462.161$  točk.

### Argumenti za izbrani ločljivosti

Med argumenti za izbrani ločljivosti ( $3'' \times 4,5''$  in  $30'' \times 45''$ ) so:

- fini model je glede gostote grida primerljiv s slovenskim DMV 100 (točke na približno 100 m);
- za vse točke znotraj ožjega območja modela in zunaj dosega slovenskega DMV (tj. na 70,6 % ožjega območja<sup>20</sup>) bo vpliv interpolacije podatkov SRTM (in s tem izgube kakovosti) minimalen, saj bo 50 % vseh višin neposredno prevzetih iz SRTM, katerega ločljivost je  $3'' \times 3''$ , in se torej ohrani izvorni podatek;
- za vse točke znotraj širšega območja modela in zunaj dosega slovenskega DMV (tj. na 95,1 % širšega območja<sup>21</sup>) bo vpliv interpolacije podatkov SRTM (in s tem izgube kakovosti) ničen, saj bodo vse višine neposredno prevzete iz SRTM; dejansko gre zgolj za izbor točk iz SRTM (vsaka deseta točka po širini in vsaka petnajsta po dolžini).

<sup>20</sup> Znotraj ožjega območja modela ( $45^\circ \leq \varphi \leq 47^\circ$  in  $13^\circ \leq \lambda \leq 17^\circ$ ) predstavlja površina državnega ozemlja ( $20.251 \text{ km}^2$ ) le 29,4 % celotne površine ( $68.877 \text{ km}^2$ ).

<sup>21</sup> Znotraj širšega območja modela ( $43^\circ \leq \varphi \leq 49^\circ$  in  $11^\circ \leq \lambda \leq 19^\circ$ ) predstavlja površina državnega ozemlja ( $20.251 \text{ km}^2$ ) le 4,9 % celotne površine ( $413.335 \text{ km}^2$ ).

Načini izražave ločljivosti finega modela:

$$3'' \times 4,5''$$

$$\begin{aligned} &= 1/1.200^\circ \times 1/800^\circ \\ &= 8,3 \cdot 10^{-4}^\circ \times 1,25 \cdot 10^{-3}^\circ \\ &\approx 0,000833333333333333^\circ \times 0,00125^\circ \\ &= 1/1.080^g \times 1/720^g \\ &\approx 0,0009259259259259^g \times 0,0013888888888888^g \\ &= \pi/216.000^{\text{rad}} \times \pi/144.000^{\text{rad}} \\ &\approx 1,454441043328608 \cdot 10^{-5}^{\text{rad}} \times 2,181661564992912 \cdot 10^{-5}^{\text{rad}} \\ &\approx 0,00001454441043328608^{\text{rad}} \times 0,00002181661564992912^{\text{rad}} \end{aligned}$$

Načini izražave ločljivosti grobega modela:

$$30'' \times 45''$$

$$\begin{aligned} &= 1/120^\circ \times 1/80^\circ \\ &= 8,3 \cdot 10^{-3}^\circ \times 1,25 \cdot 10^{-2}^\circ \\ &\approx 0,008333333333333333^\circ \times 0,0125^\circ \\ &= 1/108^g \times 1/72^g \\ &\approx 0,009259259259259^g \times 0,0138888888888888^g \\ &= \pi/21.600^{\text{rad}} \times \pi/14.400^{\text{rad}} \\ &\approx 1,454441043328608 \cdot 10^{-4}^{\text{rad}} \times 2,181661564992912 \cdot 10^{-4}^{\text{rad}} \\ &\approx 0,0001454441043328608^{\text{rad}} \times 0,0002181661564992912^{\text{rad}} \end{aligned}$$

Dolžine stranic celic obeh gridov so že približno ocenjene zgoraj (fini grid:  $a \approx 93$  m, grobi grid:  $a \approx 926$  m). Glede na obseg območja finega grida ( $45^\circ \leq \varphi \leq 47^\circ$  in  $13^\circ \leq \lambda \leq 17^\circ$ ) so točnejše širine (smer sever-jug) celic finega grida

$$3'' \times 1852 / 60'' = \mathbf{92,6 \text{ m.}}$$

Dolžine (smer vzhod-zahod) celic finega grida pa so med

$$\begin{aligned} 4,5'' \times 1852 / 60'' \times \cos(47^\circ) &\approx 94,7 \text{ m in} \\ 4,5'' \times 1852 / 60'' \times \cos(45^\circ) &\approx 98,2 \text{ m.} \end{aligned}$$

Srednja dolžina (smer vzhod-zahod) celic finega grida je torej

$$(94,7 + 98,2) / 2 \approx \mathbf{96,5 \text{ m.}}$$

Glede na obseg območja grobega grida ( $43^\circ \leq \varphi \leq 49^\circ$  in  $11^\circ \leq \lambda \leq 19^\circ$ ) so točnejše širine (smer sever-jug) celic grobega grida

$$30'' \times 1852 / 60'' = \mathbf{926,0 \text{ m.}}$$

Dolžine (smer vzhod-zahod) celic grobega grida pa so med

$$\begin{aligned} 45'' \times 1852 / 60'' \times \cos(49^\circ) &\approx 911,3 \text{ m in} \\ 45'' \times 1852 / 60'' \times \cos(43^\circ) &\approx 1.015,9 \text{ m.} \end{aligned}$$

Srednja dolžina (smer vzhod-zahod) celic grobega grida je torej

$$(911,3 + 1015,9) / 2 \approx \mathbf{963,6 \text{ m.}}$$

### 4.1.3 Izvorni podatki za pripravo DMV

#### 4.1.3.1 Podatki za območje države

Vhodni podatki za DMV Slovenije so bili rezultat projekta Transformacija DMR in ortofotov (GI, oktober 2009). Gre za zbirko DMV, ki je bila transformirana iz pravilnega grida v D48/GK v nepravilni grid v D96/TM. Uporabljena je bila torej minimalistična rešitev – transformirane so bile zgolj ASCII-datoteke s pripno ».xyz«. Bistvo minimalistične rešitve sta dve izhodišči:

- ohranitev točk DMV iz obstoječega pravilnega grida v D48/GK in
- transformacija koordinat točk DMV, za katere so določene nadmorske višine, v D96/TM, pri čemer ostanejo višine nespremenjene.

Glavna prednost takšne transformacije DMV je, da se praktično ne spremeni kakovost obstoječega DMV. Če bi želeli pridobiti pravilen grid tudi v novem koordinatnem sistemu, bi namreč morali izvesti interpolacijo – točke starega in novega DMV praviloma ne sovpadajo. Uporaba interpolacije pa v praksi pomeni generiranje novega DMV (glej Transformacija DMR in ortofotov, str. 1).

Za transformacijo DMV iz starega koordinatnega sistema (D48/GK) v novi koordinatni sistem (D96/TM) je bila uporabljena trikotniško zasnovana odsekoma afina ravninska transformacija (glej Opredelitev postopkov pretvorbe podatkov GURS v nov državni koordinatni sistem, 2007, § 3.2: str. 3–5) in niz virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0. Gre za ponovno izboljšani niz veznih točk med starim in novim koordinatnim sistemom, ki je bil pripravljen po novi metodologiji (glej § 2.1).

Iz zbirke podatkov transformiranega DMV Slovenije je bil uporabljen najvišji nivo podrobnosti, tj.

#### **DMV 12,5.**

Podatki DMV Geodetske uprave Republike Slovenije so hranjeni datotečno, in sicer v formatu:

- ASCII – datoteke s pripno ».xyz«.

Vsaka vrstica datoteke vsebuje horizontalni koordinati točke pravilnega grida v D96/TM in nadmorsko višino v tej točki { e, n, H }. Obe horizontalni koordinati točke in nadmorska višina točke so izpisani na dve decimalni mesti (centimeter).

Zbirka vsebuje 3.258 datotek, ki ustrezajo razdelitvi na liste merila 1 : 5.000. Za DMV 12,5 je v vsaki datoteki (praviloma<sup>22</sup>) po 43.621 točk (181 × 241). V vseh datotekah DMV 12,5 je skupaj 142.117.218 točk. Pri tem se točke na skupnih robovih listov podvajajo.

Količina podatkov v transformirani zbirki DMV 12,5 (D96/TM):

- 4.121.399.322 B (3,83 GB), zaZIPano: 814.025.800 B (776 MB).

<sup>22</sup> V nekaterih datotekah, ki predstavljajo robne liste 1 : 5.000 (ob državni meji), je lahko točk več, saj pokrivajo tudi manjše dele sosednjih listov.

#### 4.1.3.2 Podatki za okolico države

Podatki digitalnega modela višin za okolico države so bili pridobljeni z radarsko interferometrijo v okviru 11-dnevne misije raketoplana Endeavour, ki se je pričela 11. februarja leta 2000 – podatki STRM (Shuttle Radar Topography Mission). Model višin je prosto dostopen na spletnih straneh<sup>23</sup> ameriške vesoljske agencije NASA<sup>24</sup>, in sicer za območje Slovenije in njene širše okolice z ločljivostjo 3" × 3" (SRTM-3). Kakovost podatkov SRTM oziroma njihova ustreznost za potrebe izračuna novega geoida je bila predhodno ovrednotena (glej Razvoj DGS 2008, str. 152–166).

Podatki SRTM so organizirani v datotekah s pripono hgt – vsaka datoteka pokriva območje velikosti 1° × 1°. Vsaka SRTM-3 hgt-datoteka ima tako 1201 vrstico in 1201 stolpec. Ime posamezne datoteke določa zemljepisno širino in dolžino spodnjega levega (jugozahodnega) vogala območja. Vrstica na severnem in stolpec na vzhodnem robu posameznega območja se prekrivata (podvajata) z vrstico na južnem in stolpcem na zahodnem robu naslednjega območja.

Podatki so zapisani v binarni datoteki kot 16-bitna predznačena cela števila, tako da je na prvem mestu najpomembnejši zlog (byte; zapis »big endian«). Uporabniki računalnikov z x86 in podobno procesorsko arhitekturo morajo torej pri branju datoteke zamenjati vrstni red zlogov. Manjkajočim višinam je pripisana vrednost –32768.

NASA je izdala več različic SRTM-podatkov, označene kot SRTM V1, SRTM V2 in podrazličica STRM V2.1. Prva različica (V1) so surovi podatki višin brez vsakršne nadaljnje obdelave (z izjemo povprečenja). Druga (V2) ima v nasprotju z V1 dobro določene obalne linije in meje drugih vodnih površin ter odpravljene grobe odklone v podatkih. Še vedno pa ostanejo nekatera območja z manjkajočimi višinami. To so največkrat površine jezer ali velikih rek in območja z zelo razgibanim in strmim reliefom, kot so npr. izrazito strme ali prepadne stene in ozke soteske.

Iz zbirke podatkov SRTM je bila uporabljena najbolj dodelana različica, tj.

##### **SRTM-3 V2.1.**

Zbirka je urejena po datotekah, ki so poimenovane glede na zemljepisno širino in dolžino levega spodnjega vogala »stopinjskega kvadrata«. Uporabljenih je bilo 47 datotek; ena izmed datotek z izbranega območja (N43E014.hgt) namreč ni bila generirana, saj se območje v celoti nahaja v Jadranskem morju. Vsaka datoteka vsebuje 1.442.401 točko (1201 × 1201). V vseh 47-ih uporabljenih datotekah SRTM je torej skupaj 67.792.847 točk. Če prištejemo še točke manjkajoče datoteke (z višinami 0), imamo skupaj 69.235.248 točk. Pri tem se točke na skupnih robovih listov podvajajo.

Količina podatkov v 47-ih datotekah STRM-3 V2.1 (GRS80):

- 135.585.694 B (129 MB), zazipano: 63.234.395 B (60,3 MB).

<sup>23</sup> Dostop do podatkov je možen preko: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>.

<sup>24</sup> NASA (National Aeronautics and Space Administration) je vladna agencija, ki je odgovorna za izvajanje državnega vesoljskega programa ZDA.

#### 4.1.3.3 Združitev datotek in pretvorba DMV 12,5

Prva faza obdelave izvornih podatkov je združitev 3.258 datotek zbirke DMV 12,5 v eno datoteko, pri čemer je bilo odpravljeno podvajanje točk na skupnih robovih območjih, ki jih pokrivajo posamezne datoteke.

Sledila je pretvorba ravninskih koordinat točk DMV v elipsoidne koordinate. Izvirne koordinate točk so bile v novem slovenskem geodetskem datumu D96. Horizontalne koordinate so bile ravninske (D96/TM oziroma ETRS89/TM), višine pa nadmorske. Vrstni red koordinat/višin v vhodni datoteki je bil: e n H (e-koordinata, n-koordinata, nadmorska višina). Enota koordinat (e, n) in višin (H) je meter.

Ciljne koordinate točk so v novem slovenskem geodetskem datumu D96. Horizontalne koordinate so elipsoidne (elipsoid GRS80). Višine so nadmorske. Vrstni red koordinat/višin v izhodni datoteki je: la fi H (elipsoidna dolžina, elipsoidna širina, nadmorska višina). Enota koordinat (la, fi) je decimalna stopinja; enota višin (H) je meter.

Koordinate so v izhodni datoteki zaokrožene na 7 decimalnih mest, tj. na desetinko mikrostopinje, kar ustreza meridianskemu loku dolžine okoli 1 centimeter. Višine so v izhodni datoteki zaokrožene na 2 decimalni mesti, tj. na centimeter.

#### 4.1.4 Rezultat pretvorbe DMV

Rezultat pretvorbe DMV sta dve datoteki formata SURFER-grid.

Za **grobi model** je izbrana ločljivost 30 " × 45 " (120 × 80 = 9.600 celic; a ≈ 926 m), kar približno ustreza kilometrskemu gridu v ravninskih koordinatah.

Za **fini model** je izbrana ločljivost 3 " × 4,5 " (1.200 × 800 = 960.000 celic; a ≈ 93 m), kar približno ustreza stometrskemu gridu v ravninskih koordinatah.

**Širše območje** oziroma **grobi model** pokriva:

$$43^{\circ} \leq \varphi \leq 49^{\circ} \text{ in } 11^{\circ} \leq \lambda \leq 19^{\circ},$$

torej  $8 \times 6 = 48$  »stopinjskih kvadratov«; površina širšega območja je 413.335 km<sup>2</sup>.

**Ožje območje** oziroma **fini model** pokriva:

$$45^{\circ} \leq \varphi \leq 47^{\circ} \text{ in } 13^{\circ} \leq \lambda \leq 17^{\circ},$$

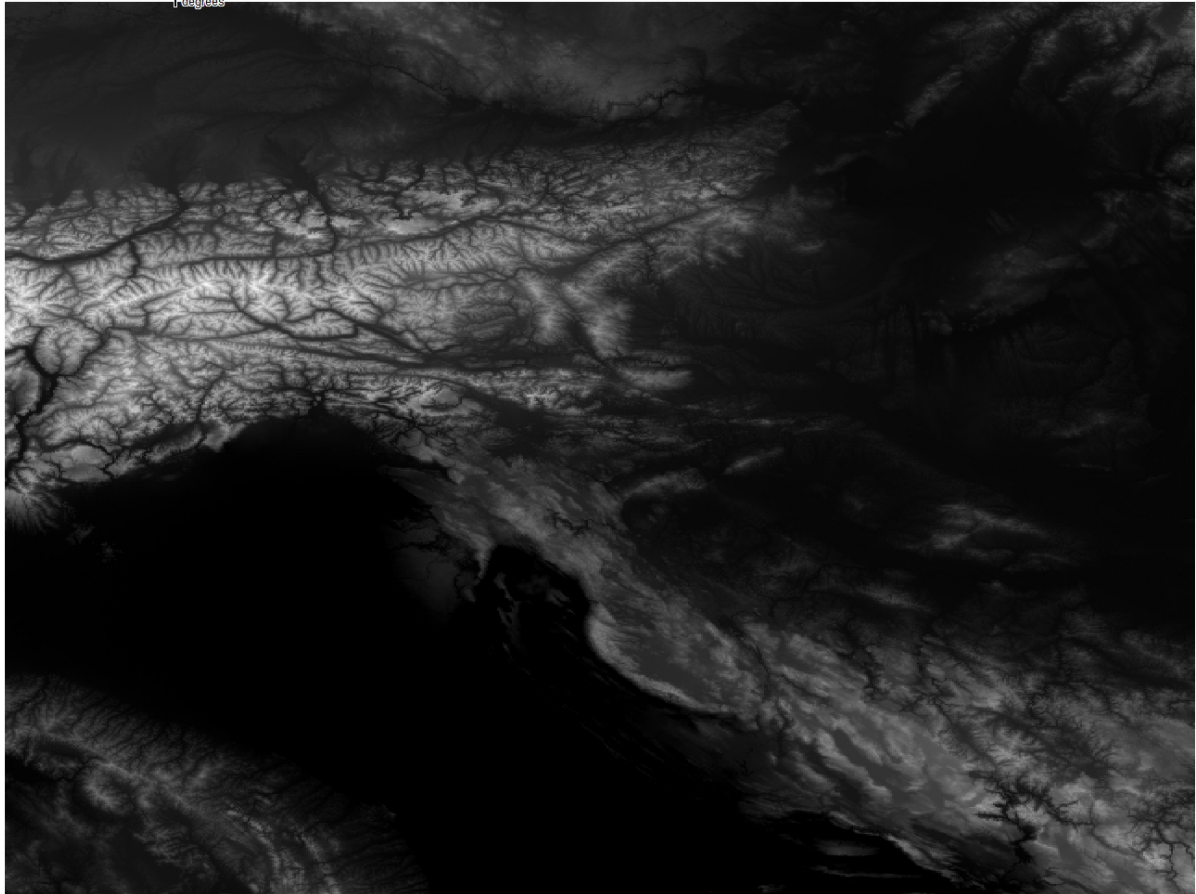
torej  $4 \times 2 = 8$  »stopinjskih kvadratov«; površina ožjega območja je 68.877 km<sup>2</sup>.

Količina podatkov – velikost datoteke – za **širše območje** (grobi model) je:

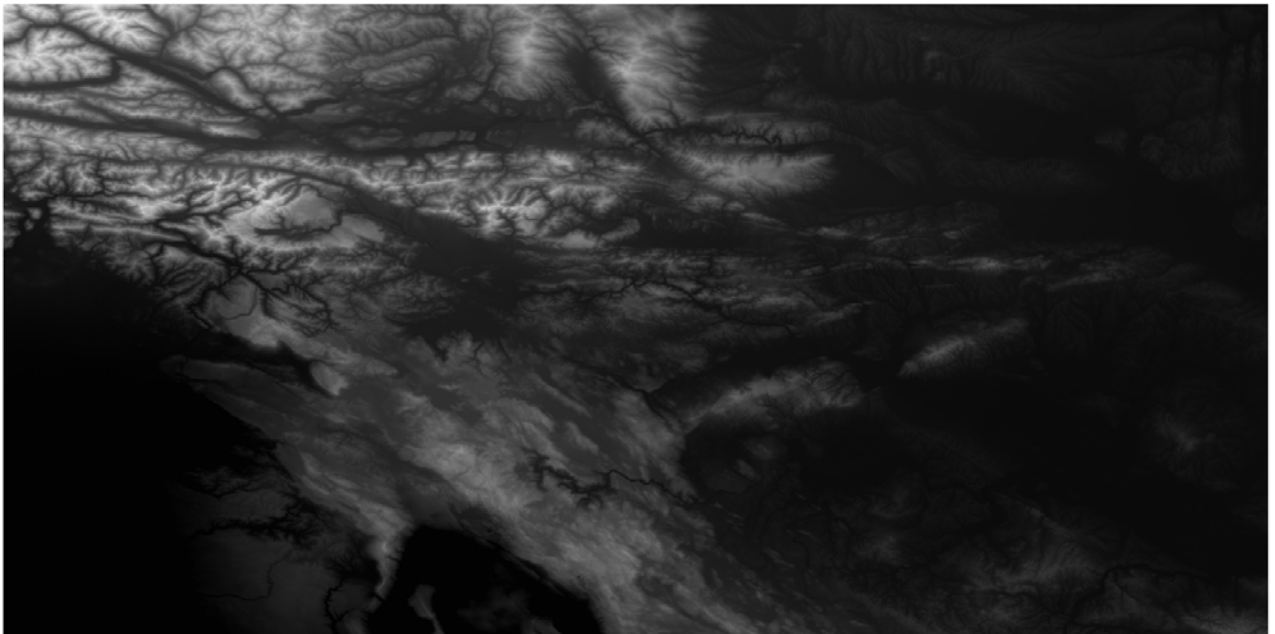
- 3.129.484 B (2,98 MB), zaZIPano: 797.220 B (778 KB).

Količina podatkov – velikost datoteke – za **ožje območje** (fini model) je:

- 53.317.814 B (50,8 MB), zaZIPano: 16.777.376 B (16,0 MB).



*Slika 4.1-1: Širše območje (grobi model).*



*Slika 4.1-2: Ožje območje (fini model).*



## 4.2 Transformacija DMG za potrebe izračuna novega geoida (NALOGA 3.2)

*Izvedba: dr. Tomaž Žagar in Sandi Berk, oba GI*

*Povzetek in poročilo: Sandi Berk, GI*

### **Povzetek**

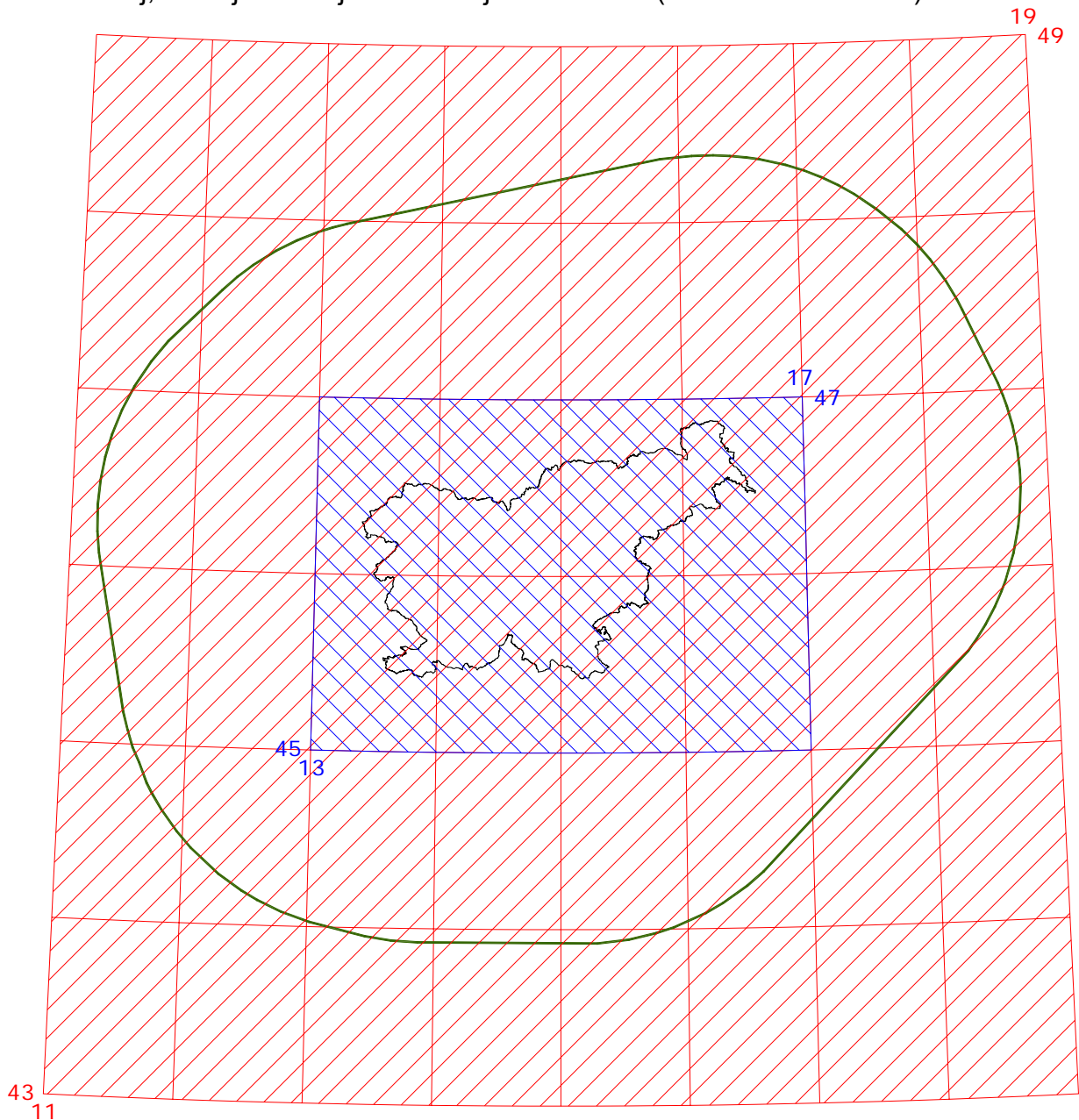
Podatki o gostoti Zemeljske skorje so pomemben niz vhodnih podatkov za izračun geoida. Primerjave izračunov geoida na območju Slovenije ob upoštevanju privzete konstantne gostote ( $2,67 \text{ g/cm}^3$ ) in DMG so znašale do 0,2 m (območje Goriškega). Za izračun obstoječega absolutnega modela geoida Slovenije (Pribičević 2000) je bil uporabljen digitalni model gostot (DMG), ki je nastal s točkovnim zajemom (odčitki v točkah pravilnega grida), in sicer glede na lego v ustrezni coni gostote na geološki karti. Uporabljeni so bili združeni in nekoliko prirejani podatki inženirsko-geoloških kart Jugoslavije in Avstrije. Cone gostot obsegajo 13 osnovnih razredov, pri čemer so gostote izražene v  $\text{kg/m}^3$  in zaokrožene na 50 oziroma 100  $\text{kg/m}^3$ .

Glede na to, da so bile geološke karte Jugoslavije v D48 (Besslov elipsoid), je bil v okviru te naloge obstoječi DMG pretvorjen v D96 oziroma na  $\phi\lambda$ -grid, ki se nanaša na elipsoid GRS80. S tem je bil tudi ta model glede koordinatnega sistema usklajen z ostalimi modeli, uporabljenimi za izračun (npr. DMV).

Pripravljena sta bila grobi model gostot in fini model gostot. Ključna pri pripravi novih modelov gostot pa je bila poleg transformacije, katere vpliv je majhen, predvsem prilagoditev oziroma uskladitev ločljivosti z gridoma DMV.

### 4.2.1 Določitev območja DMG

Za določitev območja digitalnega modela gostot je bil upoštevan pogoj, da mora model zajemati območje vsaj do 167 kilometrov okoli vsakega opazovališča (glej Pribičević 2001, str. 67). Da so lahko opazovališča kjerkoli znotraj državne meje, gre torej za območje države in pas vsaj 167 kilometrov okoli nje. Skrajni doseg območja je bil določen s pomočjo 167-kilometrskega pasu (buffer), upoštevan pa je bil še dodatni kriterij, da naj bo dobljeno območje konveksno (na sliki 2.2-1 zeleno).



Slika 4.2-1: Območje Slovenije, razširjeno za 167-kilometrski pas (zeleno); označena je stopinjska mreža širšega območja modela (rdeče) in ožjega območja modela (modro).

Skrajni točki dobljenega območja (na sliki 2.2-1 zeleno) ob upoštevanju geografske mreže (na elipsoidu GRS80) sta:

$$\begin{aligned} \varphi_{\min} &= 43,92141^\circ & \lambda_{\min} &= 11,20889^\circ \\ \varphi_{\max} &= 48,37787^\circ & \lambda_{\max} &= 18,76968^\circ \end{aligned}$$

S prekritjem tega območja z geografsko stopinjsko mrežo tako dobimo **širše območje** oziroma **grobi model** (na sliki 2.2-1 rdeče):  $43^\circ \leq \varphi \leq 49^\circ$  in  $11^\circ \leq \lambda \leq 19^\circ$ , torej  $8 \times 6 = 48$  »stopinjskih kvadratov«. Površina širšega območja je  $413.335 \text{ km}^2$ .

Za pokritje cele države pa dobimo – zopet za geografsko stopinjsko mrežo – **ožje območje** oziroma **fini model** (na sliki 2.2-1 modro):  $45^\circ \leq \varphi \leq 47^\circ$  in  $13^\circ \leq \lambda \leq 17^\circ$ , torej  $4 \times 2 = 8$  »stopinjskih kvadratov«. Površina ožjega območja je  $68.877 \text{ km}^2$ .

Tako določeni ožje in širše območje sta bili uporabljeni tudi za pripravo digitalnega modela višin (glej § 4.1.1).

#### 4.2.2 Določitev ločljivosti DMG

Upoštevano je bilo priporočilo, da naj bodo ločljivosti datotek DMG usklajene z ločljivostima datotek DMV (glej Pribičević 2001, str. 67).

Za **fini model** je izbrana ločljivost  $3'' \times 4,5''$  ( $1.200 \times 800 = 960.000$  celic;  $a \approx 93 \text{ m}$ ), kar približno ustreza stometrskemu gridu v ravninskih koordinatah. Osem »stopinjskih kvadratov« ožjega območja (glej § 4.2.1) torej vsebuje  $8 \times 960.000 = 7.680.000$  celic grida.

Za **grobi model** je izbrana ločljivost  $30'' \times 45''$  ( $120 \times 80 = 9.600$  celic;  $a \approx 926 \text{ m}$ ), kar približno ustreza kilometrskemu gridu v ravninskih koordinatah. Osemindeset »stopinjskih kvadratov« širšega območja (glej § 4.2.1) torej vsebuje  $48 \times 9.600 = 460.000$  celic grida.

Glede števila točk v obeh modelih glej opombo v § 4.1.1.

Glede na izvorni ločljivosti modelov gostot ( $11,25'' \times 18,75''$  za fini model in  $1' 30'' \times 2' 30''$  za grobi model) sta nova modela precej podrobnejša. Fini model se je (znotraj posameznega »stopinjskega kvadrata«) povečal iz  $320 \times 192 = 61.440$  celic na  $1.200 \times 800 = 960.000$  celic, torej za 15,625-krat, grobi model pa se je povečal iz  $40 \times 24 = 960$  celic na  $120 \times 80 = 9.600$  celic, torej za 10-krat. Poudariti je treba, da se zaradi zgostitve modelov kakovost podatkov ni izboljšala (nekoliko se je izboljšala zaradi uskladitve koordinatnega sistema); razlog za zgostitev je bila zgolj uskladitev DMG z DMV zaradi lažjega računanja.

Posledica transformacije in predvsem spremembe ločljivosti DMG je tudi blaga zgladitev gostot na mejah posameznih con. To ima lahko zgolj blagodejen vpliv na izračun geoida, saj so v naravi spremembe gostot zemeljske skorje precej zvezne.

### 4.2.3 Rezultat pretvorbe DMG

Rezultat pretvorbe DMG sta dve datoteki formata SURFER-grid.

Za **grobi model** je izbrana ločljivost 30 " × 45 " (120 × 80 = 9.600 celic; a ≈ 926 m), kar približno ustreza kilometrskemu gridu v ravninskih koordinatah.

Za **fini model** je izbrana ločljivost 3 " × 4,5 " (1.200 × 800 = 960.000 celic; a ≈ 93 m), kar približno ustreza stometrskemu gridu v ravninskih koordinatah.

**Širše območje** oziroma **grobi model** pokriva:

$$43^{\circ} \leq \varphi \leq 49^{\circ} \text{ in } 11^{\circ} \leq \lambda \leq 19^{\circ},$$

torej 8 × 6 = 48 »stopinjskih kvadratov«; površina širšega območja je 413.335 km<sup>2</sup>.

**Ožje območje** oziroma **fini model** pokriva:

$$45^{\circ} \leq \varphi \leq 47^{\circ} \text{ in } 13^{\circ} \leq \lambda \leq 17^{\circ},$$

torej 4 × 2 = 8 »stopinjskih kvadratov«; površina ožjega območja je 68.877 km<sup>2</sup>.

Količina podatkov – velikost datoteke – za **širše območje** (grobi model) je:

- 5.840.929 B (5,57 MB), zaZIPano: 50.651 B (49,4 KB).

Količina podatkov – velikost datoteke – za **ožje območje** (fini model) je:

- 83.135.983 B (79,2 MB), zaZIPano: 2.530.096 B (2,41 MB).

### **4.3 Zasnova transformacij anomalij težnosti in odklonov navpičnic (NALOGA 3.3)**

*Poročilo: dr. Miran Kuhar, FGG*

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

#### **Povzetek**

Glede na obstoječe metapodatkovne vire o točkah z določenimi anomalijami težnosti (npr. Tolmač za gravimetrično karto SFR Jugoslavije – Bouguerjeve anomalije) je očitno, da gre pri izvornih horizontalnih koordinatah teh točk za državni ravninski koordinatni sistem (D48/GK), višine točk pa so nadmorske.

Za položaje izmerjenih točk so bili izbrani večinoma značilni objekti, ki so označeni tudi na topografskih kartah meril 1 : 25.000 in 1 : 50.000. Horizontalne koordinate točk so bile določene na osnovi poligonskih in busolnih vlakov oziroma z merjenjem razdalj med točkami in objekti, katerih položaj je bil podan na karti. Višine točk so bile določene z geometričnim nivelmanom na ravninskih in s trigonometričnim nivelmanom na reliefno razgibanih območjih.

Uporabnost podatkov o anomalijah težnosti in odklonih navpičnic za izračun novega geoida je zagotovljena z uskladjitvijo horizontalnih koordinat točk, v katerih so ti podatki določeni (izmerjeni), – potrebna je transformacija v novi državni ravninski koordinatni sistem (D96/TM). Prav tako se morajo anomalije težnosti in odkloni navpičnic nanašati na elipsoid GRS80.

Za odklone navpičnic sicer velja, da se večinoma nanašajo na elipsoid GRS80 – vsaj tiste ki so bile uporabljene za izračun zadnjega geoida.

### 4.3.1 Zasnova transformacij anomalij težnosti

Odkloni navpičnice in anomalije težnosti sodijo med osnovne podatki, ki se uporabljajo za izračun geoida.

Anomalija težnosti je razlika med dejanskim težnim pospeškom in normalnim težnim pospeškom:

$$\Delta g = g - \gamma$$

Vrednost normalnega težnega pospeška izračunamo glede na izbrani nivojski (referenčni) elipsoid. Danes se normalni težni pospešek ( $\gamma$ ) računa izključno glede na elipsoid GRS 80, torej se bo tudi geoid izračunan iz teh anomalij težnosti nanašal na omenjeni referenčni elipsoid.

Vse izračunane anomalije težnosti imajo tudi podatke o položaju, ki so določeni na različne načine. Položaji anomalij težnosti na območju Slovenije, ki smo jih prevzeli kot del baze podatkov težnosti nekdanje SFRJ se nanašajo na elipsoid Bessel, torej so položaji podani v datumu D48. Da bi dobili položaje v datumu D96 (ETRS89) se mora opraviti transformacija, s pomočjo transformacijskih parametrov, ki veljajo za območje celotne Slovenije. Enako velja tudi za podatke težnosti, pridobljene od sosednjih držav. Vse položaje je treba transformirati v datum D96 oz. ETRS89.

### 4.3.2 Zasnova transformacij odklonov navpičnic

Geometrično predstavlja odklon navpičnice kotno razliko med smerjo normale na elipsoid in smerjo navpičnice. Navpičnica nam v točki obravnave določa astronomske geografske koordinate  $\Phi$ ,  $\Lambda$ , normala pa določa elipsoidne (geodetske) koordinate  $\phi$ ,  $\lambda$ . Torej se komponente odklona navpičnice lahko izračunajo s pomočjo naslednjih enačb:

$$\begin{aligned}\xi &= \Phi - \phi \\ \eta &= (\Lambda - \lambda) \cos \phi\end{aligned}$$

Odkloni navpičnice, ki so bili uporabljeni za izračun zadnje verzije geoida Slovenija iz leta 2000, se nanašajo na elipsoid GRS80, saj so bile geodetske koordinate točk izračunane v sistemu ETRS89. Potrebno je preveriti geodetske koordinate vseh točk, način določitve, postope transformacije, preveriti takrat uporabljene transformacijske parametre in po potrebi še enkrat izračunati vrednosti odklonov v točkah na ozemlju Slovenije. Za odklone navpičnic, pridobljene od sosednjih držav je pomembno, da so geodetske koordinate točk podane v sistemu ETRS89. V primeru da niso, je treba priskrbeti ustrezne transformacijske parametre, za območja na katerem se točke nahajajo.

### 4.3.3 Pregled podatkov za izračun novega geoida

Zaradi (predvsem) računskih razlogov se ploskev geoida določa na območju omejenim z pravokotno mrežo geografskih (pogosteje) oz. pravokotnih, ravninskih koordinat (UTM). 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 Greenviča in severne geografske širine). Gre za približne vrednosti, saj bi se v fazi detaljnega 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).

#### Gravimetrični podatki

##### Trenutno stanje

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 in detajlno 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" avtorjev: 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. 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 pogreški), 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 vsebujejo tudi posamezne grobe pogreške.

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 (Lóránd Eötvös Geofizikalni inštitut Budimpešta) nam je poslal podatke na madžarski strani območja.

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 × 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 približno 46°20' (na geografski širini Kobarida) do tromeje 46°35' sploh ni vrednosti. Tudi italijanski podatki se nanašajo na "italijanski" horizontalni datum (IGM), za višine pa sploh ni podatka.

### **Predvidena dela v naslednjem obdobju**

Za "uradni" novi izračun geoida bi bilo potrebno pridobiti, na osnovi izmenjave podatkov, nove podatke od Avstrije, Madžarske in Italije. Uradne kontakte naj vzpostavi Geodetska uprava RS.

Podatke z območja Slovenije in Hrvaške je potrebno dodatno izvrednotiti, glede kvalitete vrednosti g-ja (iskanje grobih pogreškov) in glede transformacije položajev točk. Iskanje grobih pogreškov bo opravljeno s pomočjo ustrezne programske opreme, transformacija položajev gravimetričnih točk bo opravljena na osnovi znanih transformacijskih parametrov za prehod iz sistema D48 v sistem D96.



Za kakovost samih izmerjenih vrednosti  $g$ -ja domnevamo, da je enaka vrednostim iz omenjene prve datoteke, saj so iz istega porekla. O kakovosti določitve položaja točk lahko napišemo naslednje: Večina položajev točk je bila izbranih tako, da predstavljajo značilne objekte, ki so bili podani na tografskih kartah. Posamezni položaji so bili določeni tudi s pomočjo klasičnih oz. busolnih poligonov. Poligoni so bili izravnani po približnih metodah.

Višine točk regionalne in detajlne izmere so dobljene z geometričnim nivelmanom na ravninskih in s trigonometričnim višinomerstvom na plalninskih območjih. Meritve so povezane s tedanjo trigonometrično oz. nivelmansko mrežo.

## **Astrogeodetski podatki**

### **Trenutno stanje**

Na razpolago imamo 98 geoidnih točk z izmerjenimi astronomskim geografskimi koordinatami (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  $\alpha$  in  $\delta$  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.

### **Predvidena dela v naslednjem obdobju**

Za novi izračun ploskve geoida bi bilo smiselno pridobiti podatke z italijanske strani (Geodetska uprava RS).

## **GPS/nivelirane točke**

### **Trenutno stanje**

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.

## Predvidena dela v naslednjem obdobju

GPS/nivelirane točke se pri izračunu ploskve geoida uporabljajo predvsem za vklop izračunane ploskve v višinski sistem območja. Menimo, da zadoščajo točke z slovenskega ozemlja, saj se samo te nanašajo na isti vertikalni datum. Točke sosednjih dežel imajo drugo izhodišče in povsem drugo "zgodovino" izračuna.

Obstoječo bazo GPS/niveliranih točk, ki jo vodi GURS bi bilo potrebno preveriti in izbrati ustrezno število "kvalitetnih" točk, enakomerno razporejenih po območju Slovenije.

## Digitalni modeli višin

Geodetski inštitut Slovenije je izdelal dva nova digitalna modela višin za območje izračuna, kjer se položaji točk nanašajo na koordinatni sistem ETRS89:

- fini ločljivosti 3" × 4,5" ( $1.200 \times 800 = 960.000$  celic;  $a \approx 93$  m),
- grobi ločljivosti 30" × 45" ( $120 \times 80 = 9.600$  celic;  $a \approx 926$  m).

V naslednjem obdobju predvidevamo prve izračune za izbrano testno območje.

## 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.

Pribičević B. (2000): Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije, doktorska disertacija, UL FGG, Ljubljana.

Berk S. in sod. (2010): Priprava DMV za potrebe izračuna novega geoida, Razvoj DGS 2009 - Prehod na nov koordinatni sistem. Končno poročilo za leto 2009, GIS, Ljubljana.

## 5 Podporne naloge

### 5.1 Delovanje komisije za DGS (NALOGA 4.1)

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

#### Povzetek

Komisija za državni geodetski sistem se je v času trajanja projekta sestala na 4. seji, ki je bila v sredo 30. 09. 2009 na Geodetski upravi Republike Slovenije. Seja je bila prekinjena po prvi točki dnevnega reda; nadaljevala se je v sredo 07. 10. 2009 prav tam. Vabilo za skic seje je v [prilogi 5.1-1](#).

Sodelovanje v delu Komisije je obsegalo:

- pobudo in pripravo predlogov za dnevni red 4. seje,
- pripravo gradiv k posameznim točkam dnevnega reda,
- izbor in posredovanje gradiv, pripravljenih v okviru »norveškega projekta«,
- pripravo uvodnih predstavitev problematike oziroma iztočnic za razpravo,
- sodelovanje na seji in uvodne predstavitve za posamezne točke dnevnega reda in
- sodelovanje v pripravi sklepov Komisije in iz njih nastale pobude na dopisnem delu 4. seje Komisije, ki je sledila.

Posebej za 4. sejo pripravljena gradiva članov, ki sodelujejo v Komisiji tudi v okviru projekta Razvoj DGS, se nanašajo na 2. in 3. točko dnevnega reda.

Delovno gradivo za 2. točko dnevnega reda 4. seje Komisije za DGS (zagotavljanje kakovostnega koordinatnega sistema na dolgi rok) je v [prilogi 5.1-2](#).

Uvodna predstavitev s prosojnicami za 3. točko dnevnega reda 4. seje Komisije za DGS (uporaba obstoječega geoida za GNSS-višinomerstvo) – predstavitev novega Navodila za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu – je v [prilogi 5.1-3](#).

## 5.2 Koordinacija in realizacija prehoda na nov koordinatni sistem (NALOGA 4.2)

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

### Povzetek

Pomembnejše aktivnosti te naloge so bile:

- sodelovanje na sestankih na temo problematike prehoda na nov koordinatni sistem,
- priprava mnenj in tehničnih pojasnil ter strokovna podpora v zvezi s prehodom na nov koordinatni sistem,
- skrb za ustrezno opredelitev slovenskih koordinatnih sistemov v mednarodnih standardih in ustrezno podpora v najbolj razširjenih CAD/GIS-orodjih ter
- podpora najširšemu krogu uporabnikov pri prehodu na nov koordinatni sistem s podajanjem strokovnih rešitev, posebej v zvezi s problematiko transformacij med koordinatnimi sistemi.

Razreševanje nekaterih dilem, ki se nanašajo na definicije slovenskih koordinatnih sistemov v okviru standardov EPSG ter definicije slovenskih koordinatnih sistemov v ESRI-orodjih, je razvidno iz [prilog 5.2-01–5.2-04](#).

Za podporo uporabnikom Oracle Spatial je bila pripravljena predstavitev na temo transformacij med koordinatnimi sistemi. Prispevek je bil predstavljen na 14. strokovnem srečanju SIOUG (Slovensko društvo uporabnikov programske opreme Oracle), ki je bilo 20.–23. septembra 2009 v Kongresnem centru Bernardin, Portorož. Naslovnica brošure strokovnega srečanja je [prilogi 5.2-05](#). Predstavitev z naslovom:

- »Definicija slovenskih koordinatnih sistemov v Oracle Spatial«

je bila izvedena dne 23. 09. 2009; urnik predavanj je v [prilogi 5.2-06](#). Povzetek predavanja je v [prilogi 5.2-07](#), izroček predavitve pa je v [prilogi 5.2-08](#).

Vsebinsko se naloga dopolnjuje tudi z delovanjem:

- Skupine za spremljanje uvajanja novega državnega koordinatnega sistema ter
- Komisije za državni geodetski sistem.

### **5.3 Priprava spletnih vsebin norveškega projekta s predstavitvijo rezultatov (NALOGA 4.3)**

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

#### **Povzetek**

Naloga obsega pripravo vsebin, ki so rezultat »norveškega projekta« (letošnjega in preteklih let), in sicer v obliki in formatih, primernih za objavo na spletu.

Dokumenti za objavo so bili praviloma pripravljene v dveh formatih:

- doc-datoteke (MS Word Document) in
- pdf-datoteke (Adobe Systems Portable Document Format).

Grafični prikazi za objavo so bili praviloma pripravljene v dveh formatih:

- dxf-datoteke (AutoCAD Drawing Exchange Format) in
- shp-datoteke (ESRI Shapefile).

Vsa pripravljena gradiva so na zgoščenki z rezultati projekta.

## 5.4 Letno poročilo in udeležba na konferenci EUREF (NALOGA 4.4)

*Nacionalno poročilo:*

*dr. Bojan Stopar, dr. Božo Koler, dr. Miran Kuhar, vsi FGGS,  
mag. Blaž Mozetič, mag. Klemen Medved, oba GURS,  
Sandi Berk, dr. Dalibor Radovan, oba GI*

*Predstavitev nacionalnega poročila (na konferenci): Sandi Berk, GI*

*Povzetek: Sandi Berk, GI*

### **Povzetek**

Letošnji, že 19. EUREF-simpozij je potekal od 27. do 30. 05. 2009 v Firencah, Italija. V okviru projekta je bila izvedena udeležba na simpoziju s predstavitvijo aktivnosti države v zadnjem letu (letno nacionalno poročilo). Vsebina predstavitve aktivnosti v Sloveniji v preteklem letu je bila predhodno usklajena (GI, FGGS, GURS). Predstavitev s prosojnicami, ki je bila izvedena dne 29. 05. 2009, na 3. dan simpozija, je v [prilogi 5.4-1](#).

Poročilo o udeležbi na 19. EUREF-simpoziju je v [prilogi 5.4-2](#). Poročilo podaja podroben pregled dogajanj na simpoziju po posameznih zasedanjih (sessions). Predstavljeni so aktivnosti posameznih držav, projekti in raziskave, izvedeni v preteklem letu, ter resolucije simpozija. Na podlagi tega poročila je bil pripravljen tudi prispevek za Geodetski vestnik:

- Klemen Medved, Blaž Mozetič in Sandi Berk: **19. simpozij EUREF 2009. Geodetski vestnik**, letn. 53, št. 3. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2009, str. 614–616

Nacionalno poročilo v pisni obliki (prispevek za zbornik), ki je bilo predhodno poslano naročniku v odobritev, je bilo dne 15. 09. 2009 (v predvidenem roku) poslano tajniku EUREF, g. Helmutu Horniku in je v [prilogi 5.4-3](#).

## 6 Literatura in viri

- Yüksel ALTINER, Marijan MARJANOVIĆ, Matija MEDVED in Ljerka RAŠIĆ: **Active Deformation of the Northern Adriatic Region: Results from the CRODYN geodynamical experiment**. The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards. Nato Science Series IV: *Earth and Environmental Sciences*, letn. 61. Springer Netherlands, Dordrecht, 2006, str. 257–267
- Blaž BARBORIČ, Mihaela TRIGLAV ČEKADA, Sandi BERK, Maja BITENC, Roman RENER, Dalibor RADOVAN, Janja HARI, Nika MESNER, Katja BAJEC, Dominik FAJDIGA in Mojca KOSMATIN FRAS: **Interreg IIIA Slovenija - Italija 2000–2006 (HARMOGEO) – Izdelava skupne metodologije za posodobitev in harmonizacijo geodetskih podlag za potrebe lokalnega planiranja na obmejnem območju Slovenije in Italije**. Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, 2007
- Blaž BARBORIČ, Mihaela TRIGLAV ČEKADA, Sandi BERK in Mojca KOSMATIN FRAS: **Metodologija za izboljšavo in harmonizacijo geodetskih podlag za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008**, Ljubljana, 30. september 2008. *GIS v Sloveniji*, št. 9. Založba ZRC, Ljubljana, 2008, str. 273–286
- Richard A. BENNETT, Sigrún HREINSDÓTTIR, Goran BUBLE, Tomislav BAŠIĆ, Željko BAČIĆ, Marijan MARJANOVIĆ, Gabe CASALE, Andrew GENDASZEK in Darrel COWAN: **Eocene to present subduction of southern Adria mantle lithosphere beneath the Dinarides**. *Geology*, letn. 36, št. 1. Geological Society of America, Boulder, 2008, str. 3–6
- Sandi BERK, Katja BAJEC, Dominik FAJDIGA, Matija KLANJŠČEK, Božo KOLER, Klemen KOZMUS TRAJKOVSKI, Miran KUCHAR, Darja LIKOVIČ, Gašper MAHNIČ, Nika MESNER, Dalibor RADOVAN, Oskar STERLE in Bojan STOPAR: **Razvoj DGS 2007. Prehod na nov koordinatni sistem**. Končno poročilo in Končno poročilo – priloge (1. in 2. zvezek), Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, marec 2008
- Sandi BERK, Katja BAJEC, Mihaela TRIGLAV ČEKADA, Dominik FAJDIGA, Nika MESNER, Tomaž ŽAGAR, Primož KETE, Aranka VODOPIVEC, Matija KLANJŠČEK, Dalibor RADOVAN, Bojan STOPAR, Božo KOLER, Miran KUCHAR, Klemen KOZMUS TRAJKOVSKI, Polona PAVLOVČIČ PREŠEREN in Oskar STERLE: **Razvoj DGS 2008. Prehod na nov koordinatni sistem**. Končno poročilo in Končno poročilo – priloge (1. in 2. zvezek), Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, marec 2009
- 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, Dominik FAJDIGA, Vasja BRIC in Matija KLANJŠČEK: **Transformacija DMR in ortofotov**. Tehnično poročilo, Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, oktober 2009
- 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
- Sandi BERK, Miran JANEŽIČ, Nika MESNER in Dalibor RADOVAN: **Razvoj ortofota v novem koordinatnem sistemu**. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, september 2007

- Sandi BERK, Primož KETE, Miran JANEŽIČ in Vesna DEŽMAN KETE: **Transformacija DTK 25 in DTK 50 in nova razdelitev na liste**. Končno poročilo (1 in 2. zvezek), Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, september 2008
- 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
- 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
- Lars Jahr BOCKMANN, Oddgeir KRISTIANSEN in Per-Christian BRATHEIM: **Realising of ETRS89 as the National Reference Frame in Norway – EUREF 89. *Geodetski vestnik***, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 733–741
- Sonja BOGATIN in Dušan KOGOJ: **Processing kinematic geodetic measurements using Kalman filtering. *Acta geodaetica et geophysica Hungarica***, letn. 43, št. 1. Magyar Tudományos Akadémia, Budimpešta, 2008, str. 53–74
- Danijel BOLDIN: **Registrirana koordinatna sistema v bazi EPSG. *Geodetski vestnik***, letn. 53, št. 1. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2009, str. 145
- Claude BOUCHER in Zuheir ALTAMIMI: **Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Različica 6, 2007**
- Alessandro CAPORALI, Cornelia AICHHORN, Marcin BARLIK, Matthias BECKER, István FEJES, Lubomira GERHATOVA, Dumitru GHITAU, Gyula GRENERCZY, Jan HEFTY, Sandro KRAUSS, Damir MEDAK, Georgi MILEV, Marcel MOJZES, Medžida MULIĆ, Andrea NARDO, Peter PESEC, Tiberiu RUS, Jaroslav ŠIMEK, Janusz SLEDZINSKI, Miljenko SOLARIĆ, Günter STANGL, Bojan STOPAR, Francesco VESPE in Gábor VIRÁG: **Surface kinematics in the Alpine-Carpathian-Dinaric and Balkan region inferred from a new multi-network GPS combination solution. *Tectonophysics***, letn. 474, št. 1–2. Elsevier Science, Amsterdam, 2009, str. 295–321
- Alessandro CAPORALI in Filippo TURTURICI: **Final Results with the Computation of the new Italian Permanent Network RDN of GPS Stations**. The Contribution of the University of Padova. Padova, december 2008
- Rudi ČOP, Andrej BILC, Samo BEGUŠ, Dušan FEFER in Dalibor RADOVAN: **Magnetne nevihte in njihov vpliv na navigacijo. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007***. Ljubljana, 17. januar 2008, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2008, str. 71–80
- Rudi ČOP in Pavel KOSOVAC: **Primerjalne meritve Overhouserjevega protonskega gradiometra. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2009***. Ljubljana, 21. januar 2010, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2010, str. 23–29
- Marko GOLEŠ in Miran KUCHAR: **GPS-višinomerstvo s pomočjo RTK-metode izmere. *Geodetski vestnik***, letn. 52, št. 2. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2008, str. 329–338



- Željko HEĆIMOVIĆ in Ajla BAKALBAŠIĆ: **Prijedlog nomenklatura novih listova službenih karata. *Geodetski list***, letn. 63, št. 3. Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 2009, str. 199–214
- Norbert HÖGGERL in Erich IMREK: **Recent steps towards the introduction of ETRS89 in Austria. *Geodetski vestnik***, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 742–750
- 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
- Božo KOLER, Janez GORŠIČ, Samo JAKLJIČ in Bojan STEGENŠEK: **Sanacija nivelman-skega poligona med HE Medvodami in HE Vrhovo**. Končno poročilo o rezultatih raziskav. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2007
- Božo KOLER, Samo JAKLJIČ in Aleš BREZNIKAR: **Analysis of different height systems along the Sava river. *Geodezija ir kartografija***, letn. 35, št. 3. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilna, 2009, str. 92–98
- Božo KOLER, Miran KUCHAR in Klemen MEDVED: **Testne gravimetrične meritve za potrebe projekta nove gravimetrične mreže Slovenije. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2005***. Ljubljana, 19. januar 2006, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2006, str. 21–27
- Božo KOLER, Klemen MEDVED in Miran KUCHAR: **Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. *Geodetski vestnik***, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 777–792
- Klemen KOZMUS: **Protokol NTRIP za prenos podatkov GNSS preko interneta. *Geodetski vestnik***, letn. 50, št. 3. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2006, str. 464–471
- Klemen KOZMUS TRAJKOVSKI: **Združeni sistemi GNSS/INS za neprekinjeno navigacijo. *Geodetski vestnik***, letn. 53, št. 2. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2009, str. 239–252
- Miran KUCHAR, Klemen MEDVED, Bojan BARIŠIČ, Mihajla LIKER in Božo KOLER: **Izmera gravimetrične mreže Slovenije. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006***. Ljubljana, 18. januar 2007, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2007, str. 7–10
- Gašper MAHNIČ, Katja BAJEC, Sandi BERK, Niko FABIANI, Jure FEGIC, Nika MESNER, Dalibor RADOVAN in Primož ROSULNIK: **Operativno delovanje Službe za GPS**. Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, 2008
- Marijan MARJANOVIĆ: **Primjena GPS mjerenja za određivanje horizontalnih i vertikalnih pomaka Jadranske mikroploče**. Doktorska disertacija. Geodetski fakultet, Zagreb, 2009
- Aleš MARJETIČ in Bojan STOPAR: **Geodetski datum in S-transformacija. *Geodetski vestnik***, letn. 51, št. 3. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 549–564
- Klemen MEDVED: **Osnovna gravimetrična mreža Republike Slovenije**. Magistrsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2008

- Klemen MEDVED, Božo KOLER in Miran KUCHAR: **Izračun osnovne gravimetrične mreže Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2008.** Ljubljana, 22. januar 2009, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2009, str. 49–58
- Klemen MEDVED, Miran KUCHAR, Bojan STOPAR in Božo KOLER: **Izravnava opazovanj v osnovni gravimetrični mreži Republike Slovenije. Geodetski vestnik**, letn. 53, št. 2. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2009, str. 223–237
- Klemen MEDVED, Blaž MOZETIČ in Sandi BERK: **19. simpozij EUREF 2009. Geodetski vestnik**, letn. 53, št. 3. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2009, str. 614–616
- Nika MESNER in Sandi BERK: **Navodilo za nadzor kakovosti podatkov v novem koordinatnem sistemu.** Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, marec 2008
- Nika MESNER, Sandi BERK, Gašper MAHNIČ in Dalibor RADOVAN: **Razvoj DGS 2007. Prehod na nov koordinatni sistem. Izračun Mini EUREF GPS-kampanje 2007.** Tehnično poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, december 2007
- Nika MESNER, Sandi BERK, Borut PEGAN ŽVOKELJ in Dalibor RADOVAN: **Tehnično navodilo za uporabo novega koordinatnega sistema v zemljiškem katastru.** Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, april 2007
- Nika MESNER in Matija KLANJŠČEK: **Določitev koordinat permanentnih postaj omrežja SIGNAL v koordinatnem sistemu ETRS 89.** Geodetski inštitut Slovenije, avgust 2006
- Blaž MILANIČ, Marko VRABEC, Krištof OŠTIR, Marko KOMAC in Miloš BAVEC: **Ocena recentnih tektonskih premikov v severozahodni Sloveniji na podlagi primerjave PSInSAR podatkov in nivelmanske izmere.** 19. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana, 27. marec 2009. *Geološki zbornik*, št. 20. Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2009, str. 102–106
- Blaž MOZETIČ: **Mednarodni projekt Vzpostavitev Evropskega prostorskega referenčnega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik**, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 721–732
- Blaž MOZETIČ, Dušan KOGOJ in Tomaž AMBROŽIČ: **Uporabnost izbranih metod deformacijske analize na praktičnih primerih geodetskih mrež. Geodetski vestnik**, letn. 50, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2006, str. 620–631
- Blaž MOZETIČ in Žarko KOMADINA: **Transformacija!? Geodetski vestnik**, letn. 50, št. 1. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2006, str. 105–107
- Blaž MOZETIČ, Dani MAJCEN in Žarko KOMADINA: **Nadzor kakovosti podatkov zemljiškega katastrav novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM. Geodetski vestnik**, letn. 52, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2008, str. 728–742
- Blaž MOZETIČ in Bojan STOPAR: **Optimizacija opazovanj v geodeziji. Geodetski vestnik**, letn. 52, št. 2. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2008, str. 313–328
- Krištof OŠTIR in Marko KOMAC: **Primerjava uporabe metodologije PSInSAR in DInSAR za opazovanje premikov površja – primer severozahodne Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008**, Ljubljana, 30. september 2008. *GIS v Sloveniji*, št. 9. Založba ZRC, Ljubljana, 2008, str. 63–71

- Polona PAVLOVČIČ PREŠEREN in Bojan STOPAR: **GPS orbit approximation using radial basis function networks**. *Computers & Geosciences*, letn. 35, št. 7. Pergamon Press, Oxford, 2009, str. 1389–1396
- Tomaž PODOBNIKAR: **Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visokokakovostnimi podatki**. *Geodetski vestnik*, letn. 52, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2008, str. 834–853
- Tomaž PODOBNIKAR: **Topografska in geomorfološka opredelitev vrhov ter analiza oblik**. *Geografski vestnik*, letn. 80, št. 2. Zveza geografskih društev Slovenije, Ljubljana, 2008, str. 131–141
- Tomaž PODOBNIKAR: **Georeferencing and quality assessment of Josephine survey maps for the mountainous region in the Triglav National Park**. *Acta geodaetica et geophysica Hungarica*, letn. 44, št. 1. Magyar Tudományos Akadémia, Budimpešta, 2009, str. 49–66
- Tomaž PODOBNIKAR in Jurij MLINAR: **Izdelava in vzdrževanje digitalnega modela reliefa Slovenije z integracijo obstoječih virov**. *Geodetski vestnik*, letn. 50, št. 3. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2006, str. 472–480
- Boško PRIBIČEVIĆ: **Nov preračun geoida Republike Slovenije**. Magistrsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 1999
- Boško PRIBIČEVIĆ: **Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije**. Doktorska disertacija. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2000
- Boško PRIBIČEVIĆ in Damir MEDAK: **Utjecaj gustoće pripovršinskih masa zemljine kore na geoidne undulacije**. *Geodetski list*, letn. 55, št. 1. Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 2001, str. 19–31
- Dalibor RADOVAN: **Omrežje SIGNAL na poti od GPS do Galilea**. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*, Ljubljana, 30. september 2008. *GIS v Sloveniji*, št. 9. Založba ZRC, Ljubljana, 2008, str. 411–416
- Dalibor RADOVAN: **Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja**. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007*. Ljubljana, 17. januar 2008, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2008, str. 21–28
- Dalibor RADOVAN: **Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS**. *Življenje in tehnika*, letn. 58, št. 10. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 22–27
- Dalibor RADOVAN: **Razvoj omrežja SIGNAL in tržna vrednost določanja položaja**. *Geodetski vestnik*, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 793–802
- Dalibor RADOVAN, Sandi BERK, Jure FEGIC, Anita IPŠA, Matija KLANJŠČEK, Nika MESNER, Dunja VRENKO, Tomaž AMBROŽIČ, Sonja BOGATIN, Samo JAKLJIČ, Dušan KOGOJ, Božo KOLER, Klemen KOZMUS, Miran KUCHAR, 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

- Dalibor RADOVAN, Sandi BERK, Božo KOLER, Miran KUCHAR, Bojan BARIŠIČ, Ilija GRGIČ in Mihajla LIKER: **Izmera osnovne gravimetrične mreže**. Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, 2006
- Dalibor RADOVAN, Helena ŽNIDARŠIČ, Nika MESNER, Janja HARI, Jure FEGIC, Primož ROSULNIK in Sandi BERK: **Operativno delovanje Službe za GPS**. Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, 2006
- Jurij REŽEK: **Strategija osnovnega geodetskega sistema**. *Geodetski vestnik*, letn. 48, št. 3. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2004, str. 288
- Simona SAVŠEK SAFIČ, Tomaž AMBROŽIČ, Bojan STOPAR in Dušan KOGOJ: **Local stability monitoring of the Koper tide gauge station**. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, letn. 115, št. 6. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 2008, str. 210–215
- Oskar STERLE: **Združevanje klasičnih geodetskih in GNSS-opazovanj v geodetskih raziskavah**. Magistrsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2007
- Oskar STERLE, Polona PAVLOVČIČ PREŠEREN, Miran KUCHAR in Bojan STOPAR: **Definicija, realizacija in vzdrževanje modernih koordinatnih sistemov**. *Geodetski vestnik*, letn. 53, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2009, str. 679–694
- Oskar STERLE in Bojan STOPAR: **Kombinacija klasičnih terestričnih opazovanj in opazovanj GNSS v geodinamičnih raziskavah**. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007*. Ljubljana, 17. januar 2008, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2008, str. 51–62
- Bojan STOPAR: **National Report of Slovenia**. Report on the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF). Dunaj, 01.–04. junij 2005. *Reports of the EUREF Technical Working Group (TWG)*, št. 15. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt na Majni, 2006, str. 278–280
- Bojan STOPAR: **Vzpostavitev ESRS v Sloveniji**. *Geodetski vestnik*, letn. 51, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2007, str. 763–776
- Bojan STOPAR, Tomaž AMBROŽIČ, Miran KUCHAR in Goran TURK: **GPS-derived Geoid Using Artificial Neural Network and Least Squares Collocation**. *Survey review*, letn. 38, št. 300. Directorate of Overseas Surveys, Tolworth, 2006, str. 513–524
- Bojan STOPAR, Dušan KOGOJ, Tomaž AMBROŽIČ, Miran KUCHAR, Božo KOLER, Dušan PETROVIČ, Simona SAVŠEK SAFIČ, 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
- Bojan STOPAR, Dušan KOGOJ, Božo KOLER, Tomaž AMBROŽIČ, Miran KUCHAR in Simona SAVŠEK SAFIČ: **Izvedba dodatnih geodetskih del na modernizirani mareografski postaji Koper**. Tehnično poročilo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2007

- Bojan STOPAR, Božo KOLER, Dušan KOGOJ, Oskar STERLE, Tomaž AMBROŽIČ, Simona SAVŠEK SAFIČ, Miran KUCHAR in Dalibor RADOVAN: **Geodetska navezava mareografske postaje Koper. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006.** Ljubljana, 18. januar 2007, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2007, str. 51–60
- Bojan STOPAR, Miran KUCHAR in Božo KOLER: **Novi koordinatni sistem v Sloveniji. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007.** Ljubljana, 17. januar 2008, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2008, str. 37–50
- Kari STRANDE: **The Norwegian Spatial Data Infrastructure »Norway Digital«.** *Geodetski vestnik*, letn. 52, št. 4. Zveza geodetov Slovenije, Ljubljana, 2008, str. 686–695
- Mihaela TRIGLAV ČEKADA, Sandi BERK, Miran JANEŽIČ, Blaž BARBORIČ, Primož KETE, Dalibor RADOVAN, Borut PEGAN ŽVOKELJ, Milan BRAJNIK in Pija REŽEK: **Podrobna opredelitev protokola prehoda prostorskih podatkovnih zbirk Geodetske uprave RS v nov državni koordinatni sistem.** Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, november 2008
- Mihaela TRIGLAV ČEKADA: **Strategy of Transforming all Geodetic Data in Slovenia into a New Coordinate System.** 1st Croatian NSDI and INSPIRE Day and Cartography and Geoinformation Conference. Varaždin, 26.–28. november 2009. Program and Abstracts, Varaždin, 2009, str. 67
- Tomaž VERBIČ, Marko VRABEC, Bojan STOPAR in Polona PAVLOVČIČ PREŠEREN: **Strukturni stil aktivnih tektonskih deformacij v osrednji Sloveniji: rezultati kvartarno geoloških raziskav in GPS-meritev.** 2. slovenski geološki kongres. Idrija, 26.–28. september 2006. Zbornik povzetkov. Rudnik živega srebra v zapiranju, Idrija, 2006, str. 77
- Marko VRABEC, Polona PAVLOVČIČ PREŠEREN in Bojan STOPAR: **GPS study (1996–2002) of active deformation along the Periadriatic fault system in northeastern Slovenia.** *Geologica Carpathica*, letn. 57, št. 1. Veda, Bratislava, 2006, str. 57–65
- John WEBER, Marko VRABEC, Polona PAVLOVČIČ PREŠEREN, Tim DIXON, Yan JIANG in Bojan STOPAR: **GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites and geodynamic implications.** *Tectonophysics*, letn. 483, št. 3–4. Elsevier Science, Amsterdam, 2010, str. 214–222
- John WEBER, Marko VRABEC, Polona PAVLOVČIČ PREŠEREN, Tim DIXON, Yan JIANG in Bojan STOPAR: **Določitev recentnega gibanja Jadranske mikroplošče iz meritev GPS v Istri in Padski nižini.** *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2009.* Ljubljana, 21. januar 2010, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2010, str. 71–73
- Tomaž ŽAGAR in Sandi BERK: **Primerjava podatkov SRTM in DMV Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2008.** Ljubljana, 22. januar 2009, Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2009, str. 77–86
- Tomaž ŽAGAR, Dalibor RADOVAN, Primož KETE in Andrej BILC: **Izračun novega modela in karte magnetnih deklinacij za Slovenijo.** Priloga končnemu poročilu projekta. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, december 2009

- 
- **A guide to coordinate systems in Great Britain.** An introduction to mapping coordinate systems and the use of GPS datasets with Ordnance Survey mapping. Ordnance Survey, Southampton, 2000
  - **Geographic information – Spatial referencing by coordinates.** International standard IOS/FDIS 19111:2002
  - **ICSM Guidelines for Digital Elevation Data.** Version 1.0, Inter-governmental committee on surveying and mapping, Avstralija, 2008  
<http://www.icsm.gov.au/icsm/elevation/ICSM-GuidelinesDigitalElevationDataV1.pdf>
  - **Manual on Sea Level Measurements and Interpretation.** Volume I – Basic Procedures. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 1985
  - **Manual on Sea Level Measurements and Interpretation.** Volume II – Emerging Technologies. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 1994
  - **Manual on Sea Level Measurements and Interpretation.** Volume III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 2002
  - **Manual on Sea Level Measurements and Interpretation.** Volume IV – An Update to 2006. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 2002
  - **Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk.** Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana, 1981
  - **Standards and practices for control surveys (SP1).** Inter-governmental committee on surveying and mapping, Avstralija, 2007  
<http://www.icsm.gov.au/icsm/publications/sp1/sp1v1-7.pdf>
  - **Strategija osnovnega geodetskega sistema.** Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana, 2004
  - **Tolmač za gravimetrično karto SFR Jugoslavije – Bouguerjeve anomalije.** Podjetje za uporabno geofiziko »Geofizika«, Zagreb, in Zavod za geološka in geofizična raziskovanja, Beograd
  - **Using the EPSG Geodetic Parameter Dataset.** Surveying and Positioning Guidance Note Number 7, Part 1. International Association of Oil & Gas Producers, 2007