

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Geodezija,  
smer Geodezija

Kandidat:

**Gorazd Drogenik**

## **Določitev vertikalnih premikov reperjev na območju Ljubljanskega barja**

**Diplomska naloga št.: 871**

**Mentor:**  
doc. dr. Božo Koler

Ljubljana, 26. 10. 2011

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVE**

Podpisani Gorazd Drofenik izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Določitev vertikalnih premikov reperjev na območju Ljubljanskega barja«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 12.10.2011

Gorazd Drofenik

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK: 528:551.242.1(497.4 Ljubljansko barje)(043.2)**

**Avtor: Gorazd Drofenik**

**Mentor: doc. dr. Božo Koler**

**Naslov: Določitev vertikalnih premikov reperjev na območju Ljubljanskega barja**

**Obseg in oprema: 63 str., 7 pregl., 40 sl., 19 en.**

**Ključne besede: nivelmanska mreža, izravnava, vertikalni premiki, deformacijska analiza, Ljubljansko barje**

### **Izvleček**

Diplomska naloga obravnava določitev vertikalnih premikov reperjev v nivelmanski mreži, ki je stabilizirana na območju Ljubljanskega barja. Podan je pregled starih izmer nivelmanske mreže na Ljubljanskem barju in opis metode izmere, uporabljenega instrumentarija ter merske opreme. Predstavljen je postopek in rezultati izravnave nivelmanskih mrež s programom VimWin.

Na podlagi podatkov starih izmer ter geološke karte so bile oblikovane nove nivelmanske zanke, tako da te potekajo večinoma po trdinskem delu Ljubljanskega barja. Opisana je metoda določitve vertikalnih premikov ter podana je natančnost določitve vertikalnih premikov reperjev med dvema terminskima izmerama. Predstavljen je postopek določitve nestabilnih reperjev s programom Premik ter postopek določitve vertikalnih premikov reperjev za nivelmanske izmere pred letom 1992. Rezultat so določeni nestabilni reperji med posameznima terminskima izmerama (primerjava izmer iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000), ki predstavljajo osnovo za nadaljnjo geološko interpretacijo geodinamičnega dogajanja. Na koncu so na geološki karti na podlagi rezultatov prikazani nestabilni reperji.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION****UDC: 528:551.242.1(497.4 Ljubljansko barje)(043.2)****Author: Gorazd Drofenik****Supervisor: assist prof. dr. Božo Koler****Title: Determination of vertical displacements of benchmarks on the area of Ljubljana marsh****Notes: 63 p., 9 tab., 40 fig., 19 eq.****Key words: levelling network, adjustment, vertical displacements, deformation analysis, Ljubljana marsh****Abstract**

Graduate thesis deals with determination of vertical displacements of benchmarks in levelling network on the area of Ljubljana marsh. An overview of old measurements on the area of Ljubljana marsh is given. Levelling method, precision levels and levelling equipment are described. Procedure and results of adjustment of levelling network with software VimWin is presented.

New levelling loops are formed based on data of old measurements and a geological map, so that these take place mostly after solid ground of Ljubljana marsh. Method of determination of vertical displacements is described and accuracy of determination of vertical displacements between two term measurements is given. Unstable vertical points are determined with software Premik. Determination proceedings of vertical displacements of benchmarks for term measurements before year 1992. are also presented. Results are determined unstable vertical points between individual term measurements (comparison of measurements in year 1992, 1994, 1996 and 2000). These results introduce base for further geological interpretation of geodinamical activity. Finally, based on the results, unstable benchmarks are showed on geological map.

## **ZAHVALA**

Za pomoč in uporabne nasvete ter korekten odnos pri izdelavi diplomske naloge, se zahvaljujem mentorju doc. dr. Božu Kolerju.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VIŠINSKI SISTEMI.....</b>	<b>3</b>
2.1	Ekvipotencialne ploskve .....	3
2.2	Srednja morska gladina.....	4
2.3	Izbira višinskega sistema .....	5
2.4	Višinski sistem Republike Slovenije.....	9
<b>3</b>	<b>IZMERE NIVELMANSKIH MREŽ NA OBMOČJU LJUBLJANSKEGA BARJA ...</b>	<b>10</b>
3.1	Precizna izmera nivelmanske mreže po 2. svetovni vojni .....	10
3.1.1	Stabilizacija reperjev zajetih v izmero leta 1949 .....	10
3.1.2	Oblika nivelmanske mreže iz leta 1949 .....	11
3.2	Sistematične izmere nivelmanske mreže I. reda od 1962/63 do 2000 .....	12
3.2.1	Stabilizacija reperjev.....	12
3.3	Pregled izmer nivelmanskih mrež na območju Ljubljanskega barja.....	16
3.4	Metoda izmere .....	19
3.4.1	Geometrični nivelman.....	19
3.4.2	Upoštevanje kriterijev pri terenski izmeri.....	19
3.4.3	Instrumentarij in oprema.....	20
3.5	Dopustna odstopanja in ocena natančnosti .....	23
<b>4</b>	<b>IZRAVNAVA NIVELMANSKÉ MREŽÉ .....</b>	<b>26</b>
4.1	Teoretične osnove izravnave opazovanj .....	26
4.2	Metoda najmanjših kvadratov .....	27
4.2.1	Uteži opazovanj .....	28
4.2.2	Posredna izravnava .....	28
4.2.3	Pogojna izravnava.....	29
4.3	Oblikovanje novih nivelmanskih zank.....	29
4.3.1	Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank .....	35
4.3.2	Izravnava nivelmanskih mrež izmerjenih na Ljubljanskem barju .....	38

<b>5</b>	<b>DOLOČITEV VERTIKALNIH PREMIKOV IN ANALIZA STABILNOSTI REPERJEV .....</b>	<b>44</b>
5.1	Določitev vertikalnih premikov reperjev s programom Premik – terminske izmere od 1992 do 2000 .....	45
5.2	Določitev vertikalnih premikov reperjev za nivelmanske izmere pred letom 1992 .....	48
5.3	Izris nestabilnih reperjev na skici nivelmanske mreže .....	49
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>61</b>
	<b>VIRI.....</b>	<b>62</b>



**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Lastnosti posameznih višinskih sistemov (Koler, Medved, Kuhar, 2007).....	8
Preglednica 2: Vrednosti standardnih odklonov v mm/km iz poročil o izmerah nivelmanske mreže I. reda na Ljubljanskem barju.....	25
Preglednica 3: Vrednosti referenčnih standardnih odklonov $\hat{\sigma}_0$ in natančnosti določitve višine reperjev $\sigma_H$ , število zank in reperjev v posamezni terminski izmeri.....	41
Preglednica 4: Višine fundamentalnih reperjev v metrih, razlika višin $\Delta$ v milimetrih.....	42
Preglednica 5: Vrednosti referenčnih standardnih odklonov $\hat{\sigma}_0$ in natančnosti določitve višine reperja $\sigma_H$ za izravnavo na dane FR iz leta 1978, 1984 in 1989/90 .....	42
Preglednica 6: Primerjava izmer 1992, 1994, 1996 in 2000 .....	47
Preglednica 7: Primerjava terminskih izmer 1978, 1984 in 1989/90 s terminskimi izmerami 1992, 1994, 1996 in 2000 .....	49

## KAZALO SLIK

Slika 1: Nevzporednost nivojskih ploskev (Leismann et al., 1992, cit. po Lisec et al., 2003) .....	4
Slika 2: Mareografska postaja v Kopru (Koler – osebni arhiv, 2006) .....	5
Slika 3: Višine točk v različnih višinskih sistemih (Koler, Medved, Kuhar, 2007) .....	7
Slika 4: Oblika nivelmanske mreže iz leta 1949.....	12
Slika 5: Fundamentalni reper FR9 .....	15
Slika 6: Reper I. reda .....	15
Slika 7: Reper III. reda.....	16
Slika 8: Postopen razvoj nivelmanske mreže na Ljubljanskem barju.....	18
Slika 9: Niveliranje iz sredine.....	19
Slika 10: Uporabljena precizna nivelirja .....	21
Slika 11: Kodirana in klasična invar nivelmanska leta.....	22
Slika 12: Kodirana invar nivelmanska leta na podnožki in klasična invar nivelmanska leta .....	23
Slika 13: Skica nivelmanske mreže na geološki podlagi .....	32
Slika 14: Obseg izmere leta 1992, 1994 .....	33
Slika 15: Obseg izmere leta 1996 .....	34
Slika 16: Obseg izmere leta 2000 .....	34
Slika 17: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank za izmero leta 1992 .....	35
Slika 18: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank za izmero leta 1994 .....	36
Slika 19: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank za izmeri 1996 in 2000.....	36
Slika 20: Odstotkovni prikaz odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank.....	37
Slika 21: Odstotkovni prikaz odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank.....	38
Slika 22: Prikaz nestabilnih reperjev na geološki podlagi .....	51
Slika 23: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1992 in 1994 .....	52
Slika 24: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1992 in 1996 .....	53
Slika 25: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1992 in 2000 .....	53
Slika 26: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1994 in 1996 .....	54
Slika 27: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1994 in 2000 .....	54
Slika 28: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1996 in 2000 .....	55
Slika 29: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1978 in 1992 .....	55
Slika 30: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1978 in 1994 .....	56
Slika 31: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1978 in 1996 .....	56
Slika 32: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1978 in 2000 .....	57
Slika 33: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1984 in 1992 .....	57
Slika 34: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1984 in 1994 .....	58
Slika 35: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1984 in 1996 .....	58

---

Slika 36: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1984 in 2000.....	59
Slika 37: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1989/90 in 1992.....	59
Slika 38: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1989/90 in 1994.....	60
Slika 39: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1989/90 in 1996.....	60
Slika 40: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1989/90 in 2000.....	61

## **OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

DRM5	Digitalni model reliefa (ločljivost 5 metrov)
Fakulteta AGG	Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
FR	Fundamentalni reper
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sistem
GU SML	Geodetska uprava skupščine mesta Ljubljane
NN ploskev	Ničelna nivojska ploskev
RGU	Republiška geodetska uprava

**SEZNAM PRILOG****Priloga A Rezultati izravnave – izhodne datoteke programa VimWin**

- A1 Izravnava terminske izmere 1992: bar\_92.rez  
A2 Izravnava terminske izmere 1994: bar\_94.rez  
A3 Izravnava terminske izmere 1996: bar\_96.rez  
A4 Izravnava terminske izmere 2000: bar\_00.rez  
A5 Ponovna izravnava terminske izmere 1992: datoteke 78\_92.rez, 84\_92.rez, 89\_92.rez  
A6 Ponovna izravnava terminske izmere 1994: datoteke 78\_94.rez, 84\_94.rez, 89\_94.rez  
A7 Ponovna izravnava terminske izmere 1996: datoteke 78\_96.rez, 84\_96.rez, 89\_96.rez  
A8 Ponovna izravnava terminske izmere 2000: datoteke 78\_00.rez, 84\_00.rez, 89\_00.rez

**Priloga B Določitev vertikalnih premikov za nivelmanske izmere 1992 do 2000**

- B1 Izhodna datoteka programa Premik: premik\_skupaj.rez  
B2 Povzetek izpisa iz programa Premik – preglednice nestabilnih reperjev

**Priloga C Določitev vertikalnih premikov za nivelmanske izmere pred letom 1992 (preglednice)**

- C1 Primerjava terminske izmere 1978 z izmerami iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000  
C2 Primerjava terminske izmere 1984 z izmerami iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000  
C3 Primerjava terminske izmere 1989/90 z izmerami iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000

**Priloga D Druge priloge**

- D1 Skice repernih pilotov – globinski reperji R1, R2 in R3

## 1 UVOD

Na območju Ljubljanskega barja je bila po koncu 2. svetovne vojne leta 1949, razvita nivelmanska mreža preciznega in tehničnega nivelmana. Kasneje so, z namenom določitve večjih posedanj na barjanskih tleh, na širšem območju Ljubljanskega barja razvili nivelmansko mrežo I. reda. Tako so bile opravljene različne izmere nivelmanske mreže, ki so se med seboj razlikovale po obsegu meritev in so bile opravljene v različnih časovnih zamikih. Prva izmera, ki je posegla na območje Ljubljanskega barja je bila izvršena leta 1962, izmera leta 1987/88 pa je prva sistematična izmera, ki je zajela celotno območje Ljubljanskega barja. Kasneje so se sistematične izmere nivelmanske mreže v navedenem obsegu vršile v dvoletnih ciklikih vse do leta 1996, ko je izmera zajela zgolj vzhodni del nivelmanske mreže.

S sistematičnimi izmerami nivelmanskih mrež, ki jih opravimo v določenih časovnih presledkih, dobimo podatke o vertikalnem gibanju tal določenega območja. Tako lahko vertikalne premike zelo natančno in relativno poceni določimo z niveliranjem nivelmanskih poligonov, ki potekajo po določenem območju. Da lahko določimo vertikalne premike, moramo v ustrezne objekte stabilizirati reperje, ki nam omogočajo nedvoumno določitev nadmorske višine reperja (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997).

Namen diplomske naloge je določiti morebitne vertikalne premike na območju Ljubljanskega barja na podlagi podatkov starih izmer. Z medsebojno primerjavo posameznih terminskih izmer nivelmanske mreže, smo dobili podatke o stabilnosti višinskih točk na tem območju. Za namen določitve morebitnih vertikalnih premikov so bile na podlagi geološke karte iz zank obstoječe nivelmanske mreže I. reda oblikovane nove zanke. Zanke smo združevali v nove zanke tako, da te potekajo večinoma po trdinskem delu Ljubljanskega barja, nekaj zank je ostalo nespremenjenih. Novo oblikovane zanke skušajo slediti posameznim tektonskim prelomnicam, saj vzdolž teh prelomnic nastajajo geotektonski premiki. Nivelmanske poligone, ki potekajo izven območja prelomnic oziroma za obliko mreže niso bistveni, smo iz novo oblikovane nivelmanske mreže izpustili. Nekaj nivelmanskih poligonov sicer poteka tudi preko mehkih barjanskih tal, vendar je to pogojeno z obliko mreže (v izogib prevelikim zankam).

Za izračun vertikalnih premikov, smo uporabili podatke nivelmanskih izmer iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000. Podatke starih izmer smo pregledali in oblikovali nove zanke, ki smo jih nato vključili v nivelmansko mrežo. Nato smo s programom VimWin izravnali posamezne izmere nivelmanske mreže. Vertikalne premike posameznih reperjev med dvema terminskima izmerama smo določili s programom Premik. Program Premik določa premike na podlagi primerjave višinskih razlik oziroma višin reperjev ter natančnosti določitve teh višin med obema terminskima izmerama. Poleg teh izmer

smo obravnavali tudi izmere iz leta 1978, 1984 in 1989/90, kjer smo imeli podatke zgolj o izravnanih višinah reperjev. Tu smo vertikalne premike določili na podlagi primerjave višin reperjev med posameznimi izmerami.

Rezultat so določeni nestabilni reperji oziroma vertikalni premiki posameznih reperjev med dvema terminskima izmerama. Ti predstavljajo osnovo za nadaljnjo geološko interpretacijo geodinamičnega dogajanja na obravnavanem območju. Nestabilne reperje smo prikazali tudi na skici obravnavane nivelmanske mreže.

## 2 VIŠINSKI SISTEMI

Višino točke v geodeziji določamo glede na predhodno določeno referenčno ploskev, ki skupaj z izhodiščno točko z znano višino določa višinski datum. Pri določevanju nadmorske višine točke v sodobnih nivelmanskih mrežah višjih redov je potrebno poleg popravkov, ki so povezani s terestrično izmero in pogreški instrumenta, upoštevati tudi dejstvo, da poteka izmera v težnostnem polju Zemlje (Lisec, Koler, Kuhar, 2003).

### 2.1 Ekvipotencialne ploskve

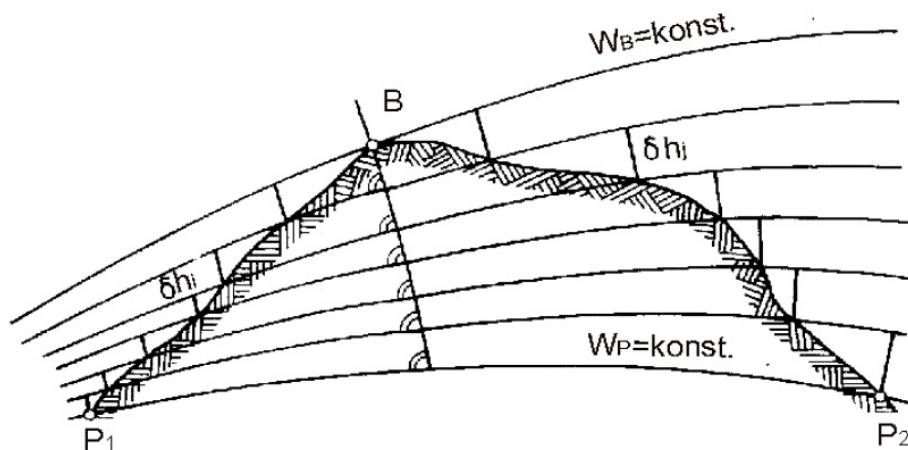
Ploskve s konstantnim potencialom imenujemo ekvipotencialne ali nivojske ploskve:

$$W(x, y, z) = C = konst \quad (1)$$

Za premik po nivojski ploskvi ni potrebno vložiti nobenega dela. L. Durang Clay je podal naslednjo definicijo nivojske ploskve (Kuhar, 2007): "Nivojska ploskev je ploskev, ki jo lahko obhodimo brez vzpenjanja ali spuščanja in na kateri je potemtakem delo sile teže za materialno točko, ki se po njej giblje, enako nič. Ta ploskev je v vseh svojih točkah pravokotna na smer sile teže. To smer imenujemo navpičnica."

Nivojske ploskve Zemlje niso vzporedne, kar prikazuje slika v nadaljevanju. Nevzporednost nivojskih ploskev se odraža pri rezultatu geometričnega nivelmana, ki je odvisen od poti niveliranja. Za nedvoumno določitev višine točke le-to definiramo z razliko potencialov. Poljubni točki pripada natanko ena nivojska ali ekvipotencialna ploskev, zato je točki prirejena le ena vrednost potenciala  $W$ . Razlika potencialov dveh točk je enolično določena in je neodvisna od poti (Lisec, Koler, Kuhar, 2003).





Slika 1: Nevzporednost nivojskih ploskev (Leismann et al., 1992, cit. po Lisec et al., 2003)

Obliko Zemlje lahko predstavimo z eno od nivojskih ploskev težnostnega potenciala. V fizikalnem pogledu se obliki Zemlje najbolj prilega nivojska ploskev, imenovana geoid. To je po Gaussu potencialna ploskev zemeljskega telesa, ponazorjena s srednjo gladino svetovnih morij in v mislih podaljšana pod celinami. Geoid je podan z enačbo (Kuhar, 2007):

$$W = W(x, y, z) = W_0 \quad (2)$$

Geoid, kot referenčna ploskev za določanje višinskih razlik točk na Zemlji, je t.i. ničelna nivojska ploskev, katero upodobimo s pomočjo srednje gladine morja.

## 2.2 Srednja morska gladina

Morska gladina je podvržena številnim časovnim in prostorskim spremembam. Kot izhodišče za izračun nadmorskih višin točk se običajno jemlje povprečje srednje gladine morja izračunano v času najmanj 18,6 let, to je čas v katerem ravnina Luninega tira opravi poln obrat. Srednjo morsko gladino ob obalah registriramo s posebnimi napravami, imenovanimi mareografi. V bližini mareografa se navadno nahaja fiksna višinska točka – reper mareografa, imenovan tudi normalni reper, ki se z meritvami naveže na državno nivelmansko mrežo. Po dogovoru ima srednji nivo morja oziroma ničelna nivojska ploskev absolutno višino enako nič. Lega ničelne nivojske ploskve je definirana z vertikalno oddaljenostjo od normalnega reperja, ki je stabiliziran na geološko stabilnem območju (Kuhar, 2007).



Slika 2: Mareografska postaja v Kopru (Koler – osebni arhiv, 2006)

### 2.3 Izbira višinskega sistema

Definicija višinskega sistema je dokaj težavna naloga in je odvisna od načina določitve višine. V osnovi delimo višinske sisteme na geometrične in fizikalne. Geometrični višinski sistemi niso povezani s težnostnim poljem Zemlje, v čemer se razlikujejo od fizikalnih višinskih sistemov. V primeru geometričnega višinskega sistema so višine točk določene z izmero GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem), rezultat izmere pa so tako imenovane elipsoidne višine. Višine točk določene v fizikalnem višinskem sistemu pa povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero (Koler, Medved, Kuhar, 2007).

Pri izboru ustreznega sistema višin moramo upoštevati zahteve različnih uporabnikov, zahteve znanosti in posameznih strok. Tako dobimo vrsto pogojev, ki jih mora izpolnjevati teoretično neoporečni višinski sistem. Ti pogoji pa se do določene mere med seboj tudi izključujejo. Najvažnejši pogoji so (Koler, 1998, cit. po Koler et al., 2007):

1. Višine točk morajo biti nedvoumno definirane in določljive neodvisno od poti niveliranja. Ker nivojske ploskve težnostnega polja niso med seboj vzporedne in ker sta uravnavanje libele in lega kompenzatorja nivelirja tesno povezana s težnostnim poljem, ta pogoj ni izpolnjen za višine točk, ki so določene samo na osnovi rezultatov geometričnega nivelmana.

2. Višine točk naj bi bile določene na osnovi merjenj na površini Zemlje pri čemer naj bi upoštevali čim manj različnih hipotez (na primer o gostoti in porazdelitvi mas v notranjosti Zemlje).

3. Popravki merjenih višinskih razlik, zaradi privzetega višinskega sistema, morajo biti tako majhni, da jih ne upoštevamo pri nivelmanskimi mrežami nižjih redov, ker so navezane na nivelmanske mreže višjih redov.

4. Vse točke, ki ležijo na isti nivojski ploskvi, naj bi imele isto višino. Osnovo temu pogoju predstavlja spoznanje, da imata dve točki isto višino, kadar voda med njima miruje.

5. Višine točk naj bi izpolnjevale tudi sledeče:

- višine točk naj bi bile podane v metrih,
- obstajala naj bi geometrična razlaga,
- določene naj bi bile glede na referenčno ploskev, ki ima fizikalno razlago.

6. V zadnjem času se pojavlja zahteva, da naj bi višinski sistem omogočal enostavno povezavo z elipsoidnimi višinami, pridobljenimi na osnovi meritev GNSS.

Osnovo vsem fizikalnim višinskim sistemom predstavljajo geopotencialne kote. Te določimo na osnovi merjenih višinskih razlik in podatkov o merjenem težnostnem pospešku. Če določimo, da je višina ničelne nivojske ploskve oziroma geoida enaka nič, potem nam razlika potencialov predstavlja naravno fizikalno mero za višine točk na zemeljski površini. Enoto za geopotencialne kote imenujemo geopotencialno število ali GPU (angl. Geopotential Unit), kjer je  $1 \text{ GPU} = 1 \text{ kgalm} = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2$  (Koler, Medved, Kuhar, 2007). Glavna pomankljivost geopotencialnih kot je ta, da jih ne moremo geometrijsko interpretirati ter da niso izražene v metrih.

Glede na to, s kakšno vrednostjo težnega pospeška delimo geopotencialne kote, poznamo različne vrste višin (Koler, Medved, Kuhar, 2007):

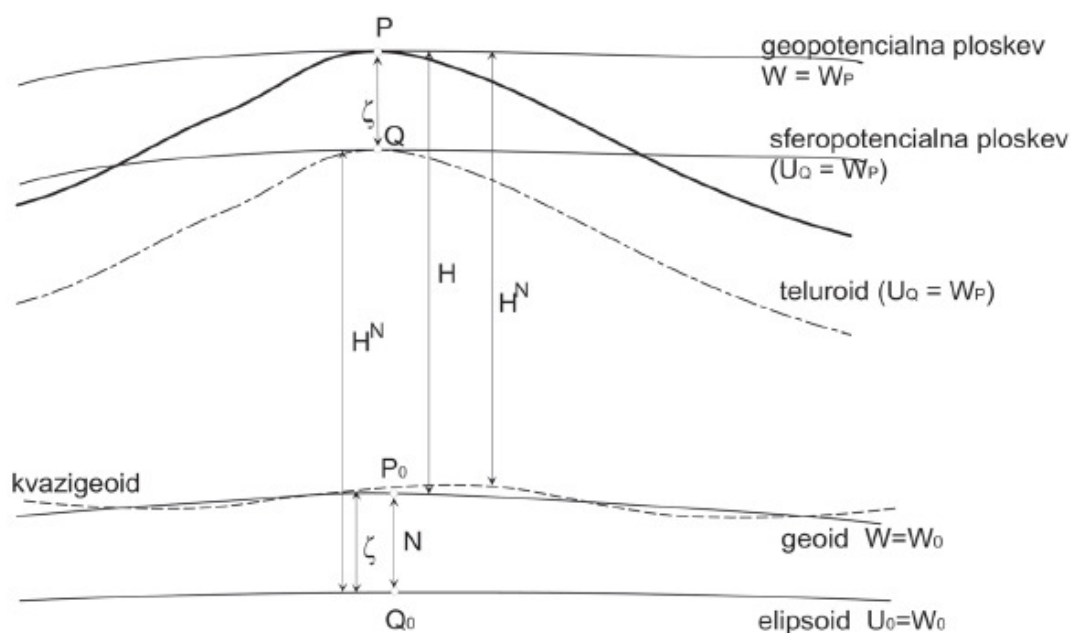
- dinamične višine dobimo, če geopotencialno koto delimo s konstantno vrednostjo težnostnega pospeška.
- normalne višine dobimo, če geopotencialno koto delimo s srednjo vrednostjo normalnega težnega pospeška, ki je določena na osnovi vrednosti normalne težnosti točke na elipsoidu in normalne težnosti pripadajoče točke na teluroidu (geometrijsko mesto točk). Pri tem so višine neodvisne od porazdelitve mas pod površjem Zemlje.
- pri ortometričnih višinah je težnostni pospešek določen vzdolž prostorske krivulje – težiščnice, med točko na površini Zemlje in pripadajočo točko na geoidu. Zaradi nepoznavanja dejanskih vrednosti težnostnega pospeška vzdolž težiščnice je za ortometrične višine značilno, da so definirane na osnovi hipotez o spreminjanju težnostnega pospeška pod površjem Zemlje

(razporeditev mas oziroma gostote v zemljini notranjosti). Različni avtorji upoštevajo različne predpostavke, zato se lahko ortometrične višine med seboj precej razlikujejo.

Praktično določimo posamezne višine tako, da merjeni višinski razliki med dvema reperjema prištejemo ustrezen popravek.

Geopotencialne kote, dinamične višine in ortometrične višine se nanašajo na fizikalno definirano referenčno ploskev, ki predstavlja ekvipotencialno ploskev. Za ortometrične višine velja to le teoretično. Višine se odvisno od prevzetih hipotez nanašajo na svoj t. i. kogeoid, ki sicer poteka blizu geoida. Normalne višine se nanašajo na kvazigeoid, ki je geometrijsko mesto točk, ni pa fizikalna ploskev. Prav tako nima fizikalne osnove ničelna nivojska ploskev (NN ploskev) na katero se nanašajo sferoidne (normalne) ortometrične višine. To velja tudi za referenčni elipsoid (Koler, Medved, Kuhar, 2007).

Zaradi vse pogostejše uporabljene satelitske metode (GNSS) določevanja položajev točk v geodeziji in s tem opisovanja točk v kartezičnih koordinatnih sistemih je za državni višinski sistem izrednega pomena možnost prehoda na elipsoidne višine in obratno. Povezavo med elipsoidnimi in ortometričnimi ( $H$ ) oziroma normalnimi višinami ( $H^N$ ) predstavlja geoidna višina ( $N$ ), ki je oddaljenost elipsoida od geoida oziroma anomalija višine ( $\zeta$ ), ki predstavlja oddaljenost med elipsoidom in kvazigeoidom (Koler, Medved, Kuhar, 2007). Na spodnji sliki so prikazane višine točk v različnih višinskih sistemih.



Slika 3: Višine točk v različnih višinskih sistemih (Koler, Medved, Kuhar, 2007)

V preglednici 1 so zbrani podatki o pogojih, ki jih izpolnjujejo posamezni višinski sistemi. Vidimo, da največ pogojev sodobnega višinskega sistema izpolnjujejo normalne višine.

Pomen številčk navedenih v stolpcu Lastnosti:

1 – enolično določene višine, neodvisne od poti niveliranja

2 – višine neodvisne od raznih predpostavk

3 – popravki merjenih višinskih razlik majhni

4 – točke z isto višino ležijo na isti nivojski ploskvi

5a – višine točk podane v metrih

5b – geometrična razlaga višin

5c – referenčna ploskev

6 – matematična povezava z elipsoidnimi višinami

Preglednica 1: Lastnosti posameznih višinskih sistemov (Koler, Medved, Kuhar, 2007)

Lastnosti	VIŠINSKI SISTEMI					
	Geopotencialne kote	Dinamične višine	Ortometrične višine	Normalne višine	Normalne ortometrične višine	Elipsoidne višine
1	da	da	da	da	ne	da
2	da	da	ne	da	da	da
3	ne	ne	nekateri	da	da	ne
4	da	da	ne	ne	ne	ne
5a	ne	da	da	da	da	da
5b	ne	ne	da	da	ne	da
5c	geoid	geoid	geoid	kvazigeoid	NN ploskev	referenčni elipsoid
6	ne	da	da	da	da	/

V Sloveniji so višine določene v višinskem sistemu sferoidnih oziroma normalnih ortometričnih višin, ki danes sodijo med višine, ki so določene v zastarelem višinskem sistemu. Ta sistem so uporabljali v preteklosti, ko so bile meritve težnostnega pospeška zapletene in zato dolgotrajne. Za izračun popravkov merjenih višinskih razlik se namesto izmerjenega težnostnega pospeška uporablja izračunane vrednosti oziroma t.i. normalni težnostni pospešek (Koler, Kuhar, Medved, 2007).

## **2.4 Višinski sistem Republike Slovenije**

Višinski sistem Republike Slovenije predstavlja nivelmanska mreža visoke natančnosti. Višine vseh reperjev so izračunane v višinskem datumu Trst, katerega predstavlja ničelna nivojska ploskev oziroma srednji nivo morja, kot je bil določen leta 1875 na osnovi enoletnih mareografskih opazovanj na pomolu Sartorio v Trstu. Nivelmanska mreža je navezana na fundamentalni reper številka No 394 (FR 1049), ki je stabiliziran pod Pohorjem v bližini Ruš. Višina normalnega reperja je bila določena v času avstroogrške nivelmanske izmere, ki je potekala na območju Slovenije (Koler, Medved, Kuhar, 2007).

### **3 IZMERE NIVELMANSKIH MREŽ NA OBMOČJU LJUBLJANSKEGA BARJA**

#### **3.1 Precizna izmera nivelmanske mreže po 2. svetovni vojni**

Za začetek izvajanja sistematičnih izmer na Ljubljanskem barju lahko štejemo izmero, ki je bila izvedena po koncu 2. svetovne vojne. Po 2. svetovni vojni so na Ljubljanskem barju razvili nivelmansko mrežo preciznega in tehničnega nivelmana. Točni podatki o času izmere niso znani, vendar lahko iz podatkov, ki jih imamo na voljo sklepamo, da so izmero opravili leta 1949. Nivelmansko mrežo so sestavljali nivelmanski poligoni, ki so potekali po obrobju in preko Ljubljanskega barja. Na področju Ljubljanskega barja je bilo stabiliziranih 199 reperjev (višinskih geodetskih točk, ki fizično definirajo nivelmansko mrežo). Velika večina teh reperjev je bila kasneje uničena (Koler, 1989).

##### **3.1.1 Stabilizacija reperjev zajetih v izmero leta 1949**

Iz ohranjenih topografij reperjev je razvidno, da so v mrežo vključili reperje, ki so bili stabilizirani leta 1947 in reperje, ki so jih stabilizirali v mesecu juliju 1949. Pri pregledu ohranjenih topografij reperjev, ki so bili zajeti v izmero, lahko vidimo, da so v izmero vključili višinske točke, ki so določene na tri načine (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997):

###### **a) Stabilizacija reperjev preciznega in tehničnega nivelmana**

Reperje preciznega in tehničnega nivelmana so vzdavali v trdne objekte (hiše, gospodarska poslopja, betonske mostove in propuste, železniške nadvoze, itd.). Večina teh reperjev je bila kasneje uničena. Glede na način kako so reperji uničeni (odlomljeni, izruvani) in glede na to, da so reperje uničevali zelo dosledno, lahko sklepamo da so reperje uničevali namerno. Podatki o tem, kdo je uničeval reperje in s tem povzročil nepopravljivo škodo, niso znani. S tem dejanjem se je izgubila velika množica podatkov, ki bi jih lahko koristno uporabili pri raziskavi posedanja Ljubljanskega barja.

###### **b) Stabilizacija talnih reperjev**

Leta 1949 so stabilizirali tudi talne reperje. Večina talnih reperjev se je nahajala na levem bregu vzdolž Ljubljanice. S talnimi reperji so si pomagali na mestih, kjer ni bilo drugih primerno trdnih objektov, v katere bi lahko vgradili reperje. Zaradi tega so v tla zabili hrastove pilote in nanje namestili betonski kvader (12 x 12 x 65 cm) z vzdanim reperjem. Žal je tudi večina teh reperjev uničena, saj je želja po kultiviranju Ljubljanskega barja zahtevala, da so se travniške površine v vedno večji meri unikale obdelovalnim površinam. Tako bi se posledično večina talnih reperjev, ki so bili stabilizirani na travnikih, sedaj nahajala na njivah. Z začetkom obdelovanja travniških površin in oranjem pa so te reperje uničili.

### c) Uporaba drugih objektov kot reperjev

Uporabili so predvsem objekte, ki so bili v višinskem smislu nedvoumno določljivi. Velika večina teh višinskih točk je uničena.

#### 3.1.2 Oblika nivelmanske mreže iz leta 1949

Nivelmansko mrežo so razvili okoli (po trdinskem delu) in preko Ljubljanskega barja (glej sliko 4). Po trdinskem delu so nivelmanski poligoni potekali v smereh:

1. Ljubljana - Vrhnika
2. Vrhnika - Borovnica - Podpeč
3. Podpeč - Tomišelj
4. Tomišelj - Iška vas
5. Iška vas - Ig
6. Ig - Škofljica
7. Škofljica - Ljubljana

Nivelmanska mreža je bila zgoščena z nivelmanskimi poligoni, ki so potekali preko Ljubljanskega barja v smereh:

1. Log pri Brezovici - Bevke - Blatna Brezovica
2. Brezovica - Podpeč
3. Podpeč - Črna vas - Ižanska cesta - Peruzzijska cesta - Dolenjska cesta
4. Vnanje gorice - Drpalež - Črna vas
5. Drpalež - Ljubljana
6. Črna vas - Brest
7. Ižanska cesta - Ig
8. Tomišelj - Brest - Matena - Iška Loka
9. Ig - Škofljica
10. Vrhnika - Drpalež (po levem bregu Ljubljanice)

Če primerjamo nivelmansko mrežo iz leta 1949 z mestno nivelmansko mrežo I. reda ugotovimo, da sta povsem identični. Zanimivo je tudi dejstvo, da so leta 1987 nivelmansko mrežo na zahodnem delu Ljubljanskega barja zgostili z dodatnimi nivelmanskimi poligoni, ki potekajo v smereh, kjer je nivelmanska mreža že bila razvita leta 1949, vendar so bili reperji kasneje uničeni. Tako je bilo potrebno uničene reperje nadomestiti z novimi (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997).



Na spodnji sliki je z vijolično barvo prikazan potek nivelmanskih zank iz leta 1949. Za podlago je bila uporabljena pregledna karta merila 1:250000 (Atlas okolja, 2011).



Slika 4: Oblika nivelmanske mreže iz leta 1949

### 3.2 Sistematične izmere nivelmanske mreže I. reda od 1962/63 do 2000

Ker imamo na Ljubljanskem barju opravka z večjimi posedanji in ker želimo ta posedanja določiti, je bila na širšem območju Ljubljanskega barja razvita nivelmanska mreža I. reda. Prva izmera, ki je posegla tudi na območje Ljubljanskega barja, je izmera, ki so jo opravili leta 1962, kasneje pa so bile v različnih časovnih zamikih opravljene še ostale izmere. V diplomski nalogi bomo obravnavali izmere iz leta 1978, 1984, 1989/90, 1992, 1994, 1996 in 2000.

#### 3.2.1 Stabilizacija reperjev

##### a) Fundamentalni reperji

Nivelmanska mreža je navezana na fundamentalne reperje, ki zagotavljajo višinsko stabilnost, kar je potrebno za določanje posedanj delovnih reperjev (reperji od I. do III. reda). Položaj fundamentalnih reperjev je bil tako izbran na geološko stabilnih tleh (ob strokovni oceni geologa), kjer niso pričakovali tektonskih premikov ali posedanj. Sama stabilizacija pa je izvedena tako, da so praktično

izključeni lokalni premiki (ugrezanje reperja, ipd.). Vsi fundamentalni reperji niso bili stabilizirani istočasno. Prvotno so bili v že izmerjeno mestno mrežo vključeni fundamentalni reperji od FR1 do FR4. Od teh je bil samo FR3 uporabljen za navezavo barjanskega dela nivelmanske mreže.

Fundamentalni reperji od FR1 do FR4 so bili navezani na mestno mrežo leta 1964 in ponovno leta 1965. Širitev mreže je zahtevala stabilizacijo novih fundamentalnih reperjev. Razporeditev obstoječih je bila namreč takšna, da ni mogla v zadostni meri zadovoljiti pogoje zanesljivosti mreže, predvsem na njenem barjanskem delu. Jeseni leta 1972 je komisija sestavljena iz predstavnikov fakultete AGG, RGU, GU SML in geologa določila mesta za postavitve novih fundamentalnih reperjev. Tako so bile izbrane lokacije v Vnanjih gorica (FR5), v vasi Jezero (FR6) in v Škofljici (FR7). Reperji so bili stabilizirani leta 1973/74 v geološko stabilna tla, sama stabilizacija pa se ni bistveno razlikovala od stare in je bila tudi v tem primeru izvedena zelo solidno (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997).

Leta 1988 je prof. dr. Mario Pleničar pripravil geološki pregled Ljubljanskega barja in določil štiri mesta novih fundamentalnih reperjev na zahodnem delu Ljubljanskega barja. Leta 1991 sta bila stabilizirana le dva:

- FR9 v Logu pri Brezovici,
- FR10 v Dolu pri Borovnici.

S stabilizacijo teh dveh reperjev je mreža postala bolj homogena in čvrsta, kar omogoča natančnejše določevanje posedanaj delovnih reperjev.

#### **b) Reperji od I. do III. reda**

Kvaliteta nivelmanske mreže je med ostalim odvisna tudi od kvalitete izvedene stabilizacije delovnih reperjev. Glede na pomembnost položaja posameznega reperja (njegove lokacije v mreži), mu je določen red, od tega pa je odvisna njegova oblika in način stabilizacije (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997).

Reperji I. reda, kot reperji višjega reda, so litoželezni čepi z okroglo ploščo. Vzidani so v vertikalni zid solidnega in stabilnega objekta, na višini približno 140 cm od tal, tako da je čelna stran (okrogla plošča) vzporedna z ravnino vertikalnega zidu. V sredini plošče je luknjica s premerom 2 mm, katere sredina predstavlja višino reperja. Z reperji I. reda so praviloma stabilizirana predvsem vozlišča, med vozlišči pa so le-ti stabilizirani zgolj v sredini v zelo dolgih nivelmanskih poligonih. Nanje se navežemo tako, da direktno nastavljamo višino vizure na luknjico in čitamo na mikrometru nivelirja ali pa si pomagamo s pomožnim merilcem.

Na območju, ki ga pokriva opisana nivelmanska mreža, so bili že pred leti stabilizirani reperji dobre kvalitete drugih ustanov. Tako je po drugi svetovni vojni Vojnogeografski inštitut iz Beograda stabiliziral določeno število reperjev. Tudi ti so stabilizirani s čepi z okroglo ploščo in luknjico v sredini, vendar se označba na njih razlikuje od označbe na reperjih mestne stabilizacije. Opisani reperji so bili privzeti kot reperji I. reda, če je bila njihova stabilizacija v skladu z zahtevami in pogoji mestne mreže, tako glede kvalitete objekta, v katerem je stabiliziran, kakor tudi glede lokacije oziroma položaja v mreži.

Med reperje I. reda so stabilizirani reperji II. reda. Reperji II. reda so litoželezni čepi z okroglo glavo, katere najvišja točka določa višino reperja. Reperji III. reda so razporejeni med reperje II. reda. Tudi ti so litoželezni čepi, vendar z glavo v obliki valja. Višina reperja je najvišja točka glave reperja. Na reperje II. in III. reda se navezujemo tako, da na glavo reperja postavimo nivelmansko lato. Pri navezavi je pomembno, da je lato postavljena vertikalno.

V Pravilniku o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981) je določena vrsta stabilizacije točk v višinski temeljni geodetski mreži. Uporabljati se smejo izmeritvena znamenja predpisanih tipov in materialov.

V nadaljevanju so na slikah prikazani fundandamentalni reper FR9 (Log pri Brezovici), reper I. in III. reda.



(Koler – osebni arhiv)



(Koler – osebni arhiv)



Slika 5: Fundamentalni reper FR9



Slika 6: Reper I. reda



Slika 7: Reper III. reda

### 3.3 Pregled izmer nivelmanskih mrež na območju Ljubljanskega barja

Prva res sistematična izmera je bila izvršena leta 1962. Ta izmera je zajela celotni desni breg Save od Vižmarij do Zaloga in na jugu do obronkov Ljubljanske kotline, s tem da se je izmera izognila območju Ljubljanskega barja in se je na zahodu končala v Podsmreki. Tej prvotni mreži je bilo leta 1965 dodanih še nekaj zank, ki so pokrile območje na obeh straneh Save od Tacna do Medvod, območje Črnuč in severni del Ljubljanskega barja. Slaba stran te izmere je dolgo obdobje v katerem so bile opravljene posamezne izmere (od 1962 do 1965), kar gotovo ni v prid natančnosti izmere.

#### a) Izmera leta 1971 in 1972

Izmera leta 1971 je zajela celotno območje Ljubljane, z vsemi primestnimi naselji. Ta izmera je zajela tudi celotni levi breg Save od Medvod do Laz, na jugu pa so jo razširili preko Ljubljanskega barja do trdinskih tal pri Podpeči. To izmero so izvedli v zelo kratkem času, saj so za izmero približno 500 km dvojnega nivelmana v skupno 47 zankah in 5 slepih nivelmanskih poligonov porabili 5 mesecev. Kratek čas v katerem so opravili izmero, zagotavlja homogenost nivelmanske mreže, ki je stabilizirana na sicer nestabilnem območju Ljubljanskega barja (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997).

Spomladi leta 1972 je bil izmerjen še profil po južnem delu Ljubljanskega barja. Profil so merili predvsem za kontrolo vertikalnih premikov vzdolž znanih prelomnic Želimejske in Iške. Ta izmera

zajema meritve nivelmanskega poligona od Podpeči do Škofljice ter izmero dodatnih profilov: enega pri domu v Iškem Vintgarju in tri v Želimeljski dolini.

Zaradi razširitve mestne nivelmanske mreže I. reda, se je pojavil problem navezovanja nivelmanske mreže, ki je stabilizirana na območju Ljubljanskega barja. Zaradi tega so leta 1973/74 stabilizirali tri nove fundamentalne reperje (FR5, FR6 in FR7), ki služijo za navezavo nivelmanske mreže na območju Ljubljanskega barja.

#### **b) Izmera leta 1976**

Leta 1976 so bili nivelirani vsi nivelmanski poligoni, ki so bili stabilizirani na območju vzhodnega dela Ljubljanskega barja. Za navezavo nivelmanske mreže so uporabili fundamentalne reperje, ki so bili stabilizirani leta 1973/74.

Predhodne raziskave so pokazale pričakovana zelo velika posedanja na Ljubljanskem barju. Pojavil pa se je problem ob sotočju Iščice in Ljubljanice, kjer naj bi bil vzrok posedanj v tektonskih premikih in (ali) ugrezanju v mehka barjanska tla. Ker z niveliranjem določamo skupna posedanja, je bilo potrebno poiskati način, s katerim bi ločili ugrezanja od tektonskih premikov. V ta namen so leta 1974 stabilizirali posebne kontrolne reperje. Ti reperji so narejeni tako, da se ne ugrezajo zaradi svoje lastne teže (specifična teža reperjev je približno 0,9). Na ta način bi bili morebitni premiki le tektonskega izvora (Koler, 1989).

#### **c) Izmera leta 1978**

V izmeri leta 1978 so bili nivelirani predvsem tisti nivelmanski poligoni, kjer so bili pričakovani večji vertikalni premiki, to je predvsem na območju Ljubljanskega barja. Zato so v to izmero vključili predvsem nivelmanske poligone, ki potekajo preko Ljubljanskega barja.

#### **d) Izmera leta 1984**

Leta 1984 so bili nivelirani vsi nivelmanski poligoni mestne nivelmanske mreže I. reda na območju Ljubljanskega barja. Po opravljenem niveliranju in obdelavi podatkov, je bil izdelan predlog o razširitvi mestne nivelmanske mreže I. reda na zahodnem delu Ljubljanskega barja in zgostitev obstoječe nivelmanske mreže na vzhodnem delu Ljubljanskega barja.

#### **e) Izmere leta 1987/88, 1989/90, 1992, 1994**

V izmero leta 1987/88 so bili prvič vključeni nivelmanski poligoni, ki so stabilizirani na zahodnem delu Ljubljanskega barja. Tako lahko govorimo o prvi sistematični izmeri, ki je zajela celotno območje Ljubljanskega barja. Ostale izmere (izmere leta 1989/90, 1992 in 1994) so praktično ponovne izmere

nivelmanske mreže, ki je stabilizirana na celotnem območju Ljubljanskega barja. Obseg pri vseh izmerah je isti kot je bil leta 1987/88.

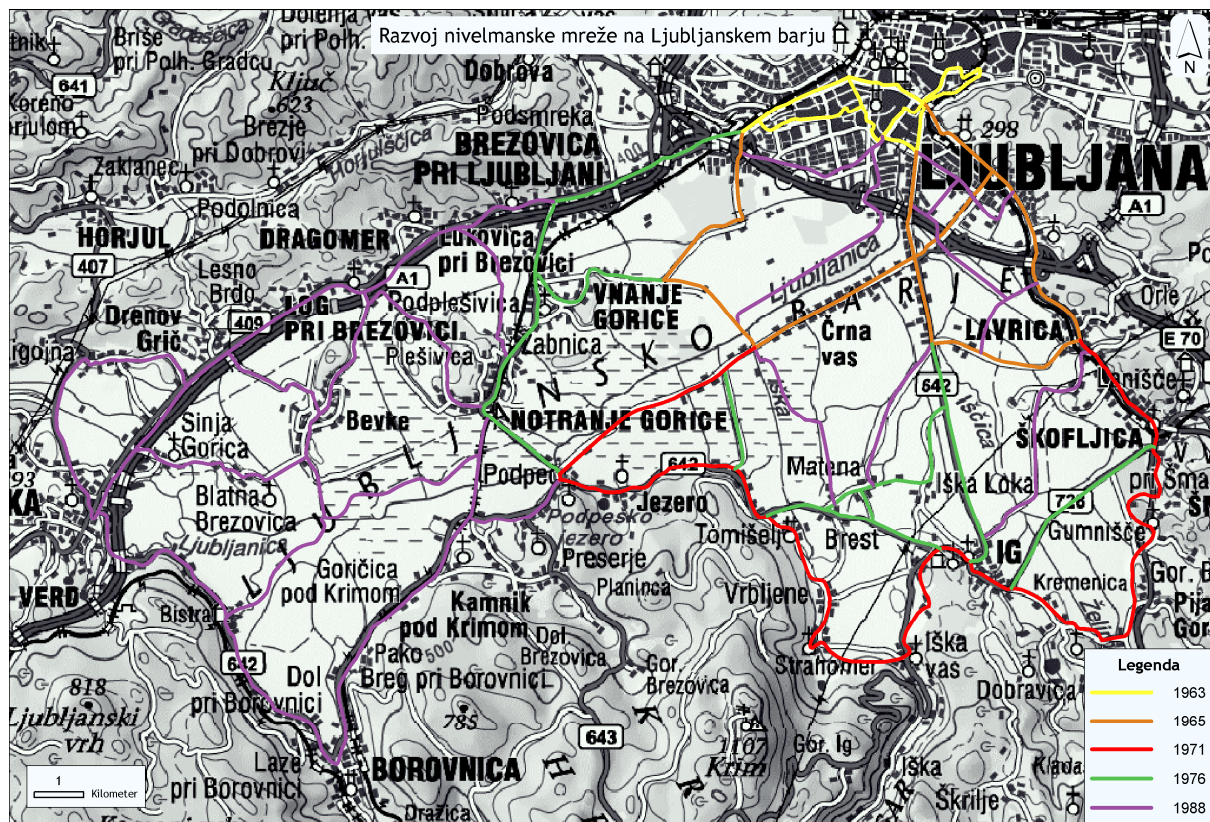
#### f) Izmera leta 1996

Mreža, ki so jo izmerili leta 1996 zajema le vzhodni del nivelmanske mreže, ki je stabilizirana na Ljubljanskem barju. V to izmero so vključili tudi globinske reperje, ki so stabilizirani s pomočjo tako imenovanih repernih pilotov. Glavni namen stabilizacije globinskih reperjev je ta, da reperje stabilizirajo v “dno barja” oziroma v trdna nosilna tla, ki nosijo barjanske sedimente. Morebitni vertikalni premiki na teh reperjih bi bili tako posledica tektonskih premikov in ne ugrezanj v barjanske sedimente (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997).

#### g) Izmera leta 2000

Izmerjena je bila le nivelmanska mreža v okviru mestne občine Ljubljana, z izjemo nivelmanskih poligonov, ki se navezujejo na fundamentalne reperje FR5, FR6 in FR7. V tej izmeri so zajeli tudi globinske reperje, ki so bili vključeni v izmero leta 1996.

Na sliki 8 je prikazan postopen razvoj nivelmanske mreže, katere obseg se je širil tekom let in je danes stabilizirana na Ljubljanskem barju. Za podlago je bila uporabljena pregledna karta merila 1:250000 (Atlas okolja, 2011).



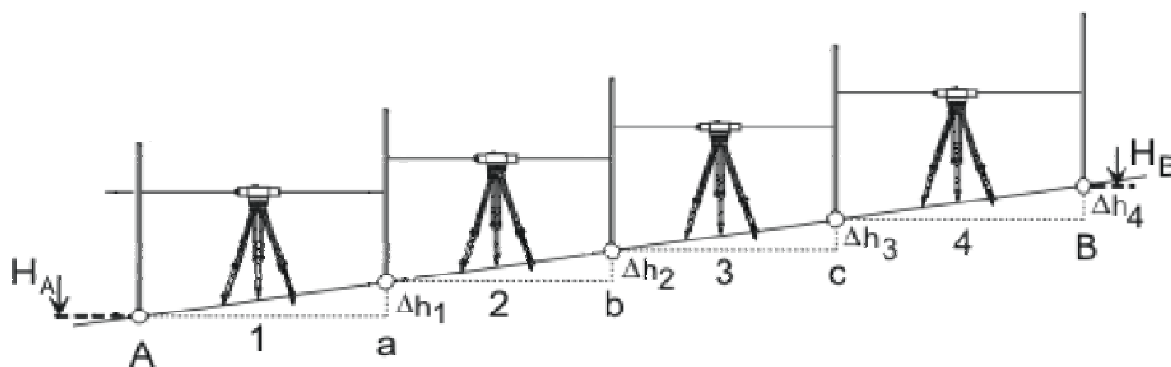
Slika 8: Postopen razvoj nivelmanske mreže na Ljubljanskem barju

### 3.4 Metoda izmere

#### 3.4.1 Geometrični nivelman

Geometrični nivelman je najnatančnejša geodetska metoda višinomerstva. Višinsko razliko med dvema točkama določimo s pomočjo nivelirja, ki zagotavlja horizontalno vizurno linijo in čitanja razdelbe na nivelmanskih latah, ki sta postavljeni vertikalno na teh dveh točkah. Metoda se uporablja pri določanju višin višinskih geodetskih točk (reperjev), ki jih povezujemo v višinske oziroma nivelmanske geodetske mreže. Prav tako se metoda uporablja pri določanju višin točk v lokalnih inženirskih mrežah in je nenadomestljiva pri natančnih meritvah višinskih deformacij in premikov objektov (detajlni nivelman) ter natančnih višinskih zakoličbah pri gradnji objektov (Kogoj, Stopar, 2009). V osnovi je metoda geometričnega nivelmana zelo enostavna, hkrati pa je teorija le-tega razdelana do podrobnosti.

Na naslednji sliki je prikazan princip niveliranja iz sredine. Višinsko razliko med dvema točkama dobimo z razliko odčitkov na latah. Višinsko razliko med točko A (z višino  $H_A$ ) in točko B (z višino  $H_B$ ) dobimo s seštevanjem merjenih višinskih razlik ( $\Delta h$ ).



Slika 9: Niveliranje iz sredine

#### 3.4.2 Upoštevanje kriterijev pri terenski izmeri

Način izmere je odvisen od predpisane natančnosti in zahtev za določeni red nivelmanske mreže, ki izhajajo iz Pravilnika o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk, ki ga je leta 1981 izdala Republiška geodetska uprava. Da bi zadostili zahtevam so pri izboru načina izmere nivelmanske mreže Ljubljanskega barja upoštevali naslednje kriterije (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1997):

- niveliranje je potekalo iz sredine z maksimalno dopustno razliko med dolžino vizure spredaj in zadaj 1 m,



- vse nivelmanske linije so bile nivelirane v obeh smereh, kar pomeni, da je bila vsaka nivelmanska linija nivelirana dvakrat,
- vertikalna refrakcija močno vpliva na natančnost niveliranja, zlasti v tako imenovanih prizemnih plasteh. Da bi se temu vplivu čimbolj izognili je s pravilnikom predpisana minimalna višina vizure nad tlemi. Za nivelmansko mrežo I. reda je predpisana minimalna višina vizure 60 cm nad tlemi ali oviro,
- vsak odčitek na nivelmanski lati je bil določen na osnovi večkratnega čitanja. Posamezni odčitek je bil tako določen na osnovi najmanj štirih odčitkov vrednosti na nivelmanski lati.

Z upoštevanjem teh kriterijev se je skušalo zagotoviti kar najugodnejše pogoje za doseg predpisane natančnosti. Posebno pozornost je bilo poleg vsem zahtevam, ki so predpisane s pravilnikom o preciznem nivelmanu, potrebno posvetiti vrstnemu redu niveliranja posameznih zank. Tako so bila območja z največjimi posedanji izmerjena v najkrajšem možnem času. S tem se je zmanjšal vpliv posedanja reperjev na natančnost izmere.

### 3.4.3 Instrumentarij in oprema

#### a) Precizni nivelir

Pri izmeri nivelmanske mreže Ljubljanskega barja sta bila uporabljena dva različna nivelirja: precizni nivelir Carl Zeiss NI 002 ter precizni digitalni nivelir Leica Wild Na 3000 (slika 8). Z nivelirjem Carl Zeiss NI 002 so bile opravljene izmere do vključno leta 1994, slednji nivelir pa je bil uporabljen v izmeri leta 1996 in 2000.

Oba instrumenta sta precizna kompenzacijska nivelirja. S pomočjo kompenzatorja nivelir avtomatsko zagotavlja horizontalnost vizure. Nivelirja spadata med najpreciznejše nivelirje in sta namenjena za niveliranje nivelmanskih mrež višjih redov, opazovanje posedanj oziroma vertikalnih premikov različnih gradbenih objektov, opazovanje recentnih premikov tal, uporabo pri preciznih montažerskih strojnih delih in drugih določitvah višinskih deformacij.

Standardni odklon enega kilometra dvojnega nivelmana znaša za optični nivelir Carl Zeiss NI 002 od 0,2 mm/km do 0,3 mm/km, za digitalni nivelir Leica Wild Na 3000 pa 0,4 mm/km.



Slika 10: Uporabljena precizna nivelirja

#### b) Nivelmanske late

Pri preciznem nivelmanu se uporabljajo izključno invar nivelmanske late, saj lahko le z njimi zagotovimo dovolj natančno čitanje višinskih razlik. Late morajo biti za doseg dobrih rezultatov meritev komparirane pred in po terenskih meritvah. Pri nivelmanski lati kompariramo naslednje elemente:

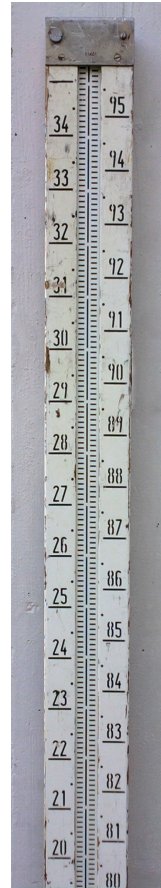
- slučajne in sistematične pogreške razdelbe late,
- pogrešek prve črtice razdelbe late,
- nepravokotnost pete late.

Late kompariramo s pomočjo naprave imenovane komparator. Rezultat kompariranja late je izračunan popravek metra in pete late. Kompariramo par lat, ki jih uporabljamo, tako da se popravki nanašajo na posamezen par lat. Na osnovi rezultatov komparacije popravimo nivelirane višinske razlike med reperji.

Pri niveliranju s klasičnim preciznim nivelirjem so bile uporabljene invar nivelmanske late dolžine 3 m z dvojno polcentimetrsko razdelbo, pri delu z digitalnim nivelirjem pa so bile uporabljene kodirane invar nivelmanske late (prav tako dolžine 3 m). Sestavni del invar nivelmanske late je tudi dozna libela, s pomočjo katere postavljamo lato vertikalno.

#### c) Pomožni pribor

Lato postavljamo na posebne podnožke, imenovane tudi žabe. Izdelane so iz železa in so težke od 3 do 6 kilogramov. Podnožke morajo zagotavljati enolično določeno mesto postavljanja late. Med pomožni pribor spadajo tudi stojala za vertikalno postavljanje lat in stativ nivelirja.



a) kodirana invar nivelmanska lata in podnožka

b) klasična invar nivelmanska lata z dvojno  
razdelbo

Slika 11: Kodirana in klasična invar nivelmanska lata



a) postavljena kodirana invar nivelmanska lata



b) klasična invar nivelmanska lata

Slika 12: Kodirana invar nivelmanska lata na podnožki in klasična invar nivelmanska lata

### 3.5 Dopustna odstopanja in ocena natančnosti

#### a) Dopustna odstopanja

Meritve morajo ustrezati zahtevam po natančnosti glede na red nivelmanske mreže in kriterijem, ki jih določa Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981). V pravilniku so določene enačbe za izračun dopustnih odstopanj. Tako za obravnavano nivelmansko mrežo na Ljubljanskem barju (mestna nivelmanska mreža I. reda) veljajo po pravilniku naslednji kriteriji:

- dopustno odstopanje ( $\Delta$  v mm) pri niveliranju nivelmanske linije z dolžino  $d$  (v km) tja in nazaj:

$$\Delta = \pm 4 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (3)$$

- dopustno odstopanje ( $f$  v mm) pri niveliranju sklenjene nivelmanske zanke z dolžino  $d$  (v km):

$$f = \pm 2 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (4)$$

### b) Ocena natančnosti

Z niveliranjem določamo višinske razlike med reperji. Natančnost določitve višinske razlike med točkama je odvisna od natančnosti določitve odčitka na posamezni nivelmanski lati. Slednja je odvisna tudi od razdalje med nivelirjem in nivelmansko lato ter od razdalje med posameznimi reperji. Tako običajno govorimo o standardnem odklonu določitve višinske razlike na kilometer nivelmana.

Najpogosteje natančnost niveliranja nivelmanske mreže ocenimo na podlagi izračunanih standardnih odklonov, ki nam predstavljajo eno izmed ocen natančnosti opazovanj (Vodopivec, Koler, Breznikar, 1994).

Vrednosti standardnih odklonov tako računamo:

- a) na osnovi odstopanj pri niveliranju nivelmanskih linij tja in nazaj

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot n_L} \left[ \frac{\delta^2}{d} \right]} \quad (5)$$

$\sigma_L$  ... standardni odklon 1 km obojestransko nivelirane nivelmanske linije

$\delta$  ... odstopanje pri merjenju nivelmanske linije v obe smeri

$d$  ... dolžina posamezne nivelmanske linije v kilometrih

$n_L$  ... število nivelmanskih linij

- b) na osnovi odstopanj pri zapiranju nivelmanske zanke

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{1}{n_Z} \left[ \frac{f^2}{d} \right]} \quad (6)$$

- $\sigma_Z$  ... standardni odklon 1 km obojestransko nivelirane nivelmanske linije  
 $f$  ... odstopanje pri zapiranju nivelmanske zanke  
 $d$  ... dolžina nivelmanske zanke v kilometrih  
 $n_Z$  ... število nivelmanskih zank

- c) na osnovi popravkov višinskih razlik po izravnavi (a posteriori ocena natančnosti)

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{[p \cdot v \cdot v]}{r}} \quad (7)$$

- $\hat{\sigma}_0$  ... referenčni standardni odklon  
 $p$  ... uteži merjenih višinskih razlik  
 $v$  ... popravki višinskih razlik po izravnavi  
 $r$  ... število nadštevilnih opazovanj

V preglednici 2 so zbrane vrednosti zgoraj opisanih standardnih odklonov iz poročil o izmerah nivelmanske mreže I. reda na Ljubljanskem barju, merjene v letih 1984, 1989/90, 1992, 1994, 1996 in 2000. V oklepaju so napisani fundamentalni reperji (FR), na katere so vezali posamezno izmero. Podatkov o standardnih odklonih za izmero iz leta 1978 nimamo, vendar lahko sklepamo, da gre za primerljive vrednosti.

Preglednica 2: Vrednosti standardnih odklonov v mm/km iz poročil o izmerah nivelmanske mreže I. reda na Ljubljanskem barju

Standardni odklon	Izmera 1984 (FR-5,6,7)	Izmera 1989/90 (FR-5,6,7)	Izmera 1992 (FR-3,5,6,7)	Izmera 1994 (FR-3,5,6,9,10)	Izmera 1996 (FR-3,5,6,7)	Izmera 2000 (FR-3,5,6,7)
$\sigma_L$ [mm/km]	ni podatka	±0,70	±0,63	±0,57	±0,52	±0,54
$\sigma_Z$ [mm/km]	±0,59	±0,65	±0,91	±0,44	±0,49	±0,68
$\hat{\sigma}_0$ [mm/km]	±0,63	±1,03	±0,97	±0,77	±0,98	±0,86

Iz preglednice je razvidno, da so vse vrednosti posameznih standardnih odklonov manjše ali blizu 1 mm/km (izmera 1989/90). Rezultate izmere v višinski geodetski mreži obravnavamo kot korektne, če je natančnost določitve višinskih razlik po izravnavi (a posteriori ocena natančnosti  $\hat{\sigma}_0$ ) večja od 1 mm/km (Koler et al., 2010).

## 4 IZRAVNAVA NIVELMANSKE MREŽE

### 4.1 Teoretične osnove izravnave opazovanj

Poglavji 4.1 in 4.2 s pripadajočimi podpoglavji sta povzeti po zapiskih predavanj pri predmetu Izravnalni račun I (Stopar, 2003).

Opazovane oziroma merjene količine v splošnem povežemo z neznanimi, to je iskanimi količinami v matematičnem modelu. Matematični model predstavlja v matematični obliki zapisano zvezo med različnimi fizikalnimi in geometrijskimi količinami, ki jih neposredno opazujemo ter iskanimi količinami. Najprej določimo minimalno število opazovanj ( $n_0$ ), ki so potrebna za enolično rešitev problema. V praksi se vedno izvajajo nadštevilna merjenja, to je opravimo več meritev kot je nujno potrebno. S tem preprečimo, da bi pojav grobega pogreška v opazovanjih povzročil napačno rešitev problema. Število opazovanj  $n$  je tako vedno večje od minimalnega števila opazovanj  $n_0$ . Število nadštevilnih opazovanj  $r$  je enako:

$$r = n - n_0 \quad (8)$$

Ob številu nadštevilnih opazovanj  $r$ , dobimo za vsako podmnožico  $n_0$  opazovanj iz dane množice  $n$  opazovanj nekoliko različno rešitev matematičnega modela. Iz tega izhaja, da se vsa opazovanja ne skladajo popolnoma z matematičnim modelom. To neskladnost opazovanj z matematičnim modelom odpravimo z zamenjavo danega niza opazovanj  $l$  z nizom t.i. ocenjenih vrednosti opazovanj  $\hat{l}$ , tako da se ta popolnoma sklada z modelom. Z uvedbo ocenjenih vrednosti opazovanj tako odstranimo neskladja v matematičnem modelu. Sedaj lahko vsaka podmnožica  $n_0$  opazovanj iz celotnega niza ocenjenih opazovanj  $n$  zagotavlja enolično rešitev matematičnega modela. Ocenjeno opazovanje  $\hat{l}_i$  lahko obravnavamo kot popravljeno opazovanje, ki ga dobimo tako, da izmerjeni vrednosti  $l_i$  dodamo popravek  $v_i$ :

$$\hat{l}_i = l_i + v_i \quad (9)$$

Poprakov opazovanj  $v_i$  ne poznamo in jih moramo določiti, da lahko izračunamo ocenjena (popravljen) opazovanja  $\hat{l}_i$ . V splošnem obstaja neskončno mnogo množic popravkov  $v$ , ki zagotavljajo da se popravljena opazovanja  $\hat{l}$  popolnoma skladajo z modelom. Iz te neskončne množice izberemo množico, ki mora izpolniti določen dodaten pogoj glede vrednosti popravkov. V

geodeziji izbiramo optimalno množico popravkov pod pogojem, da je vsota kvadratov popravkov opazovanj minimalna.

Postopek iskanja množice ocenjenih opazovanj  $\hat{l}$ , ki je v skladu z določenimi pogoji imenujemo izravnava. Če je pogoj dan z zahtevo minimalne vsote kvadratov popravljenih opazovanj, jo imenujemo izravnava po metodi najmanjših kvadratov.

## 4.2 Metoda najmanjših kvadratov

Kadar imamo na razpolago nadštevilna opazovanja, moramo za enolično rešitev problema opraviti izravnavo. V primeru nekoreliranih (verjetnostno neodvisnih) opazovanj enake natančnosti, temelji izravnava po metodi najmanjših kvadratov na zahtevi, da je vsota kvadratov popravkov opazovanj minimalna, kar zapišemo kot:

$$\Phi = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = \sum_{i=1}^n v_i^2 \rightarrow \min \quad (10)$$

Poleg zahteve, da morajo izravnana opazovanja popolnoma ustrezati matematičnemu modelu, uvedemo tudi pogoj, da kvadrati popravkov opazovanj pridobijo najmanjšo možno vsoto.

Za nekorelirana opazovanja različnih natančnosti zahteva metoda določitev minimuma funkcije:

$$\Phi = p_1 \cdot v_1^2 + p_2 \cdot v_2^2 + \dots + p_n \cdot v_n^2 = \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_i^2 \rightarrow \min \quad (11)$$

kjer je  $p_i$  utež opazovanja  $i$ , definirana kot količina, ki je obratno sorazmerna varianci tega opazovanja.

V splošnem imamo dva postopka rešitve problema izravnave po metodi najmanjših kvadratov, ki zagotavljata identične rezultate:

- izravnava posrednih opazovanj – posredna izravnava
- izravnava pogojnih opazovanj – pogojna izravnava



#### 4.2.1 Uteži opazovanj

Natančnost opazovanj opredeljuje standardna deviacija (standardni odklon) opazovanj  $\sigma$  in varianca opazovanja  $\sigma^2$ . Natančnost opazovanj je v obratnem sorazmerju s standardno deviacijo oziroma varianco, zato je primernejša takšna mera natančnosti, ki je neposredno povezana z natančnostjo opazovanj, to je utež opazovanja. Tako ima opazovanje velike natančnosti veliko utež opazovanja in obratno.

Utež opazovanja  $p$  je definirana kot količina, ki je obratno sorazmerna z varianco tega opazovanja:

$$p = \frac{k}{\sigma^2} \quad (12)$$

kjer je  $k$  konstanta, ki jo poljubno izberemo. Če ima opazovanje utež enako 1, je njegova varianca definirana s simbolom  $\sigma_0^2$  (referenčna varianca oziroma variančni faktor) in velja:

$$p = 1 = \frac{k}{\sigma_0^2} \rightarrow k = \sigma_0^2 \quad (13)$$

Pri niveliranju je utež opazovane višinske razlike med reperjema določena z obratno vrednostjo dolžine  $d$  med tema reperjema:

$$p = \frac{1}{d} \quad (14)$$

#### 4.2.2 Posredna izravnava

V enačbah posredne izravnave nastopajo poleg opazovanj s pripadajočimi popravki tudi ena ali več neznank ter eventuelno konstante. Neznane oziroma iskane količine povežemo z opazovanji.

Splošna oblika enačb posredne izravnave:

$$v + B \cdot A = f \quad (15)$$

kjer je:

$v$  ... vektor popravkov opazovanj (dimenzije  $n \times 1$ )

$B$  ... matrika koeficientov neznank (dimenzije  $n \times u$ )

$\Delta$  ... vektor neznank (dimenzije  $u \times 1$ )

$f$  ... vektor odstopanj v enačbah popravkov (dimenzije  $n \times 1$ )

$n$  ... število opazovanj

$u$  ... število neznank

### 4.2.3 Pogojna izravnava

V pogojne enačbe ne vključujemo neznank. V enačbah pogojne izravnave nastopajo samo opazovanja s pripadajočimi popravki in konstante. Opazovanja oziroma njihove popravljenе vrednosti morajo zadošiti določenim matematičnim pogojem.

Splošna oblika enačb pogojne izravnave:

$$A \cdot v = f = d - A \cdot l \quad (16)$$

$A$  ... matrika koeficientov popravkov opazovanj (dimenzije  $r \times n$ )

$v$  ... vektor popravkov opazovanj (dimenzije  $n \times 1$ )

$f$  ... vektor odstopanj v enačbah popravkov (dimenzije  $r \times 1$ )

$d$  ... vektor numeričnih konstant (dimenzije  $r \times 1$ )

$l$  ... vektor opazovanj (dimenzije  $n \times 1$ )

$n$  ... število opazovanj

$r$  ... število nadštevilnih opazovanj

### 4.3 Oblikovanje novih nivelmanskih zank

Obravnavali smo izmere iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000. Da bi lahko določili morebitne vertikalne premike, smo na osnovi geološke karte s prikazanimi prelomnicami, iz zank obstoječe nivelmanske mreže I. reda, sestavili nove zanke. Pri tem smo upoštevali dva kriterija:

- obdržali smo zanke oziroma nivelmanske poligone, ki potekajo ob tektonskih prelomnicah, vzdolž katerih nastajajo geotektonski premiki,

- nivelmanske zanke naj potekajo po trdinskem delu Ljubljanskega barja, saj tu lažje ločimo ali je prišlo do dejanskega premika tal oziroma reperja in ne zgolj ugreznanja oziroma posedanja objekta, v katerem je stabilizirana višinska točka.

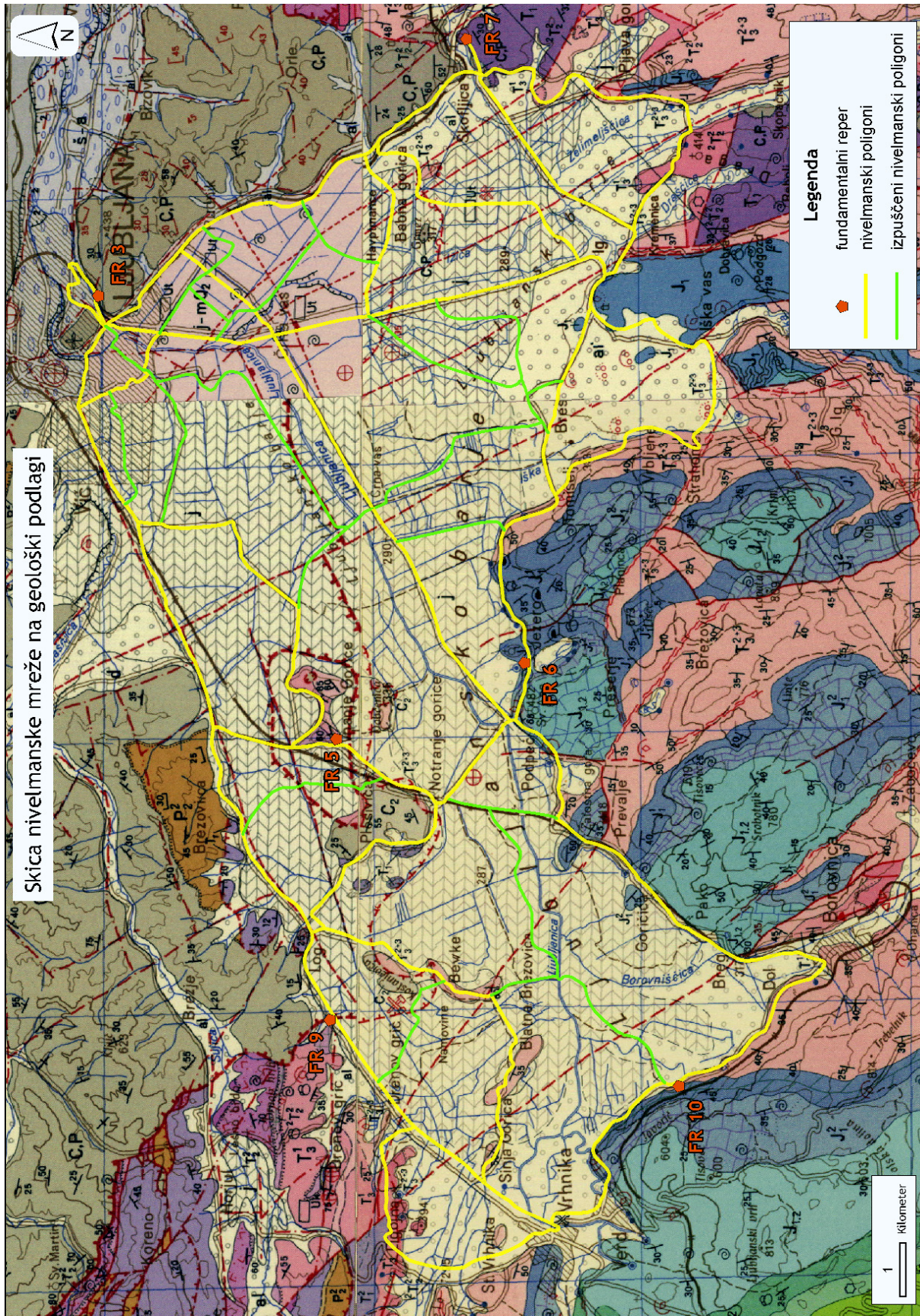
Na sliki 13 je prikazana skica obravnavane nivelmanske mreže na geološki podlagi, kjer so z rdečo prekinjeno črto označene tektonske prelomnice, ki potekajo čez Ljubljansko barje. Ob upoštevanju prej omenjenih kriterijev, smo tako obdržali zanke, ki so prikazane z rumeno barvo, z zeleno barvo pa so prikazani izpuščeni nivelmanski poligoni. Prikazan je tudi položaj fundamentalnih reperjev (FR). Iz skice je razvidno, da se nivelmanska mreža na robovih naslanja na trdinska tla. Po trdinskem delu poteka tudi večji del nivelmanskega poligona Sinja Gorica - Blatna Brezovica - Bevke - Log ter nivelmanskega poligona Log - Plešivica - Notranje Gorice - Vnanje Gorice. Ostali nivelmanski poligoni načeloma potekajo blizu tektonskim prelomnicam. Nekaj nivelmanskih poligonov poteka preko mehkih barjanskih tal, kar pa je pogojeno z obliko mreže, saj smo se le tako izognili prevelikim zankam. Za podlago skice je bila uporabljena Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Beograd, Zvezni geološki zavod, izsek iz listov: Kranj (1974), Ljubljana (1983), Postojna (1967), Ribnica (1969).

Vertikalni premiki, ki jih dobimo na osnovi večkrat izmerjenih nivelmanskih poligonov so koristen pripomoček za popolnejše razumevanje geodinamike (Rižnar, Koler, Bavec, 2005). Ker so reperji nivelmanske mreže stabilizirani v raznovrstne objekte, je za zanesljivo potrditev, da je do vertikalnega premika reperja prišlo, potreben terenski ogled geologa in strokovna ocena primernosti objektov. Geologi pregledane reperje razvrstijo v kategorije glede na geološko podlago ter stanje objektov v katere so ti stabilizirani. Tako lahko reperje razvrstimo v pet kategorij (Rižnar, Koler, Bavec, 2005):

- A Reper stabiliziran v matično kamnino.
- A' Reper stabiliziran v nedeformiran objekt, ki je temeljen v matično kamnino.
- B Reper stabiliziran v nedeformiran objekt, ki je temeljen v "zemljino" oziroma nevezane sedimente (prod, pesek, težkognetna glina).
- B' Reper stabiliziran v nedeformiran objekt, za katerega ne vemo zanesljivo v kaj je temeljen.
- C Reper stabiliziran v objekte, ki kažejo znake strukturnih deformacij.

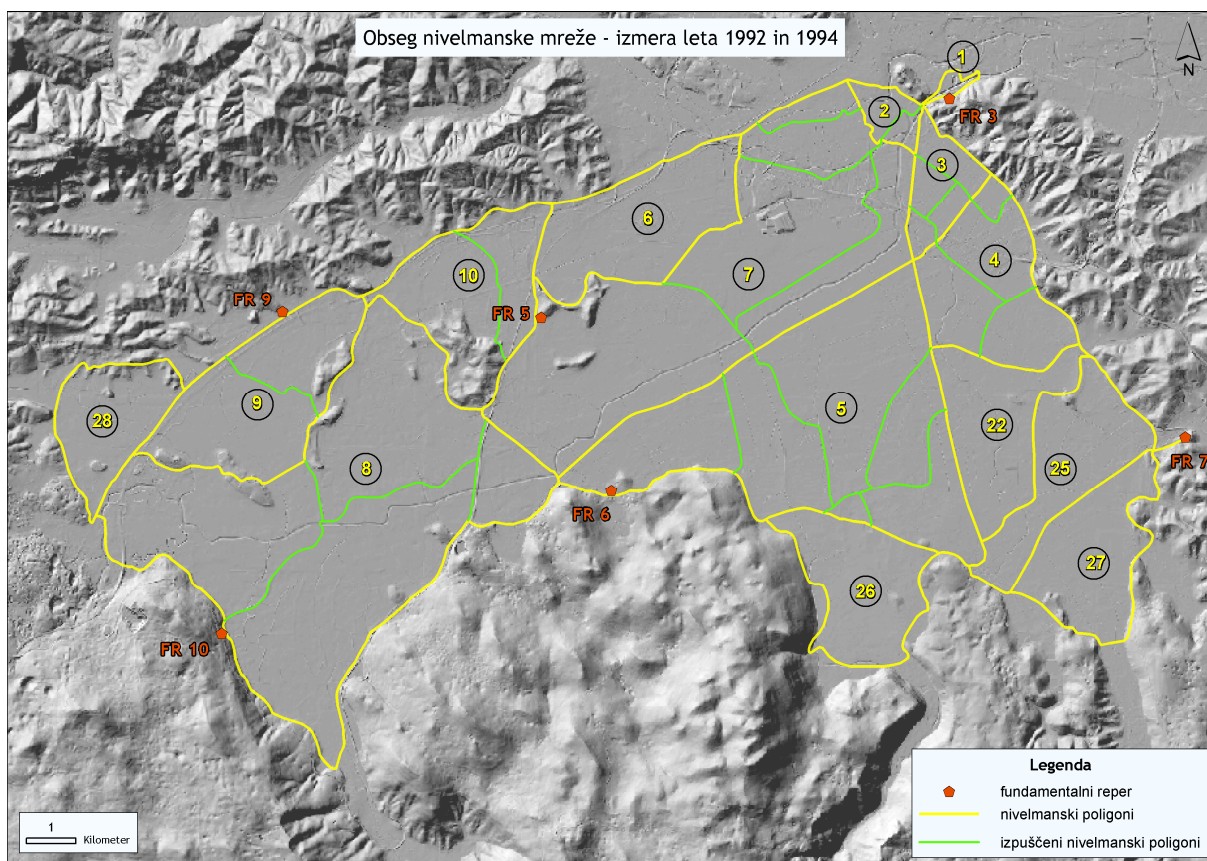
Kot uporabne za oceno geodinamičnega dogajanja na obravnavanem območju, lahko privzamemo reperje kategorije A, ki so temeljeni v matično kamnino oziroma so stabilizirani v objekte, ki so temeljeni do matične podlage. Reperje kategorije B lahko privzamemo kot pogojno uporabne. V kategoriji C so reperji, ki jih glede na današnje stanje ne bi smeli upoštevati, vendar se dopušča možnost, da so bili v času, ko je bila izmera izvedena še v zadovoljivem stanju.

Za analizo in prikaz geodinamike je pomembna tudi smer oziroma potek nivelmanskega poligona glede na potek tektonskih prelomnic in struktur. Najbolj ugodno je, kadar smer nivelmanskega poligona poteka prečno, čimbolj pravokotno na smer struktur (Rižnar, Koler, Bavec, 2007).

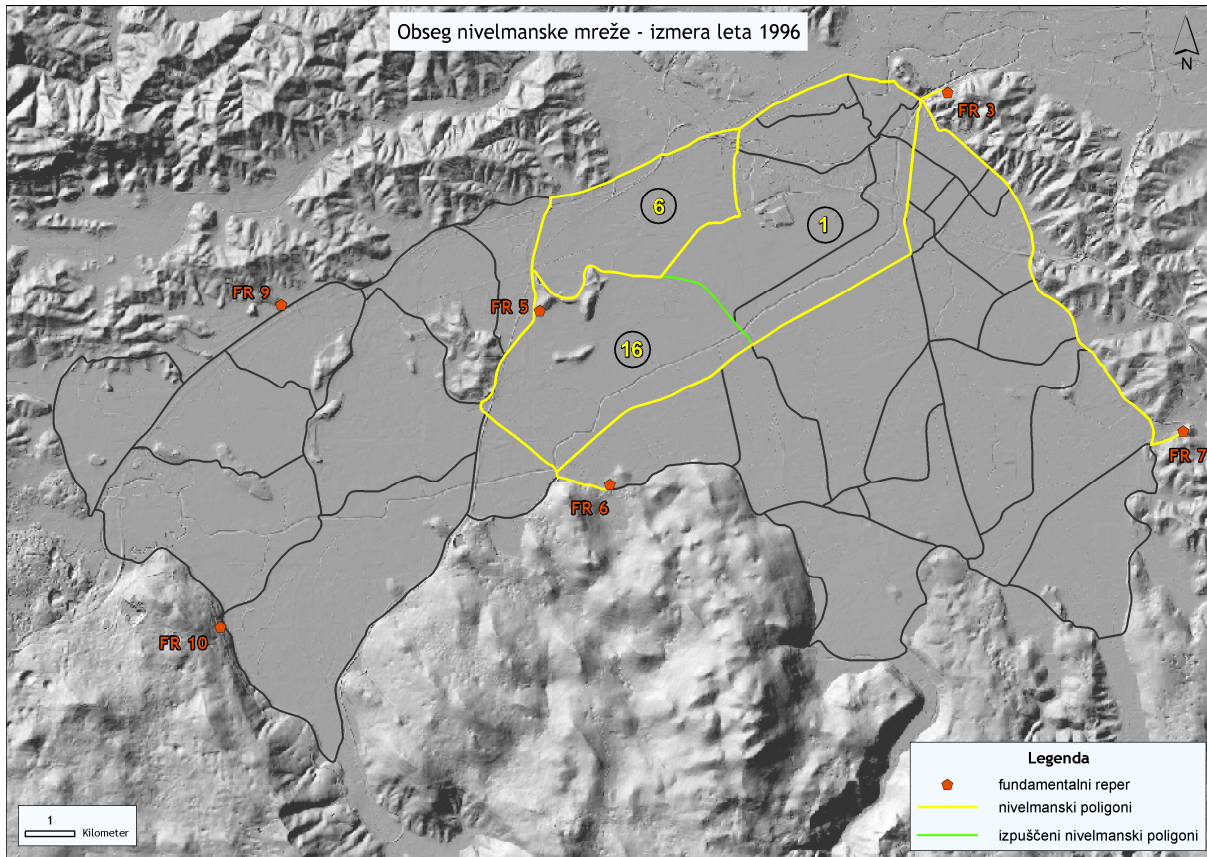


Slika 13: Skica nivelmanske mreže na geološki podlagi

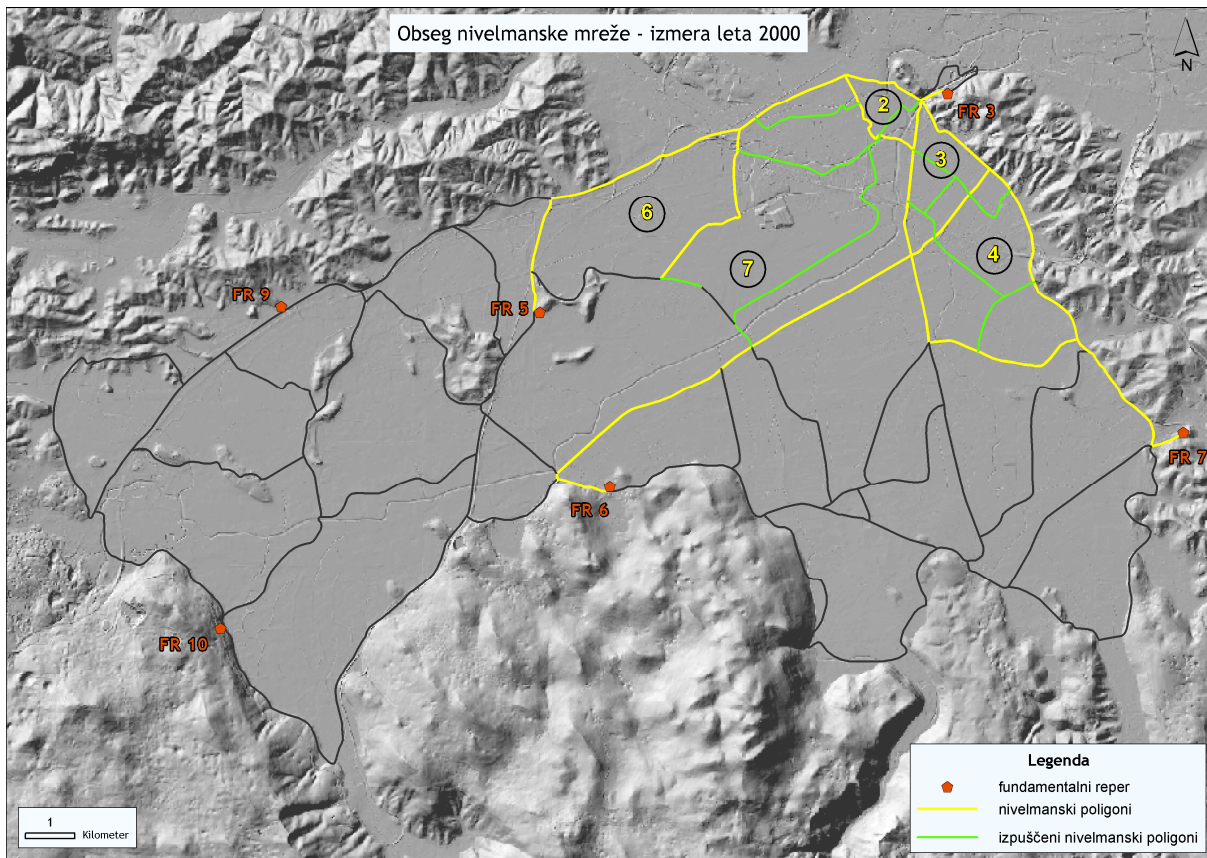
V nadaljevanju so prikazane skice posameznih izmer nivelmanske mreže, s številkami posameznih zank in označenim položajem fundamentalnih reperjev. Za podlago je bil uporabljen digitalni model reliefa - DMR5 (Atlas okolja, 2011). Z rumeno in zeleno barvo je prikazan obseg meritev v posamezni terminski izmeri – z zeleno bravo so označeni nivelmanski poligoni, ki smo jih pri sestavljanju novih nivelmanskih zank izpustili.



Slika 14: Obseg izmere leta 1992, 1994



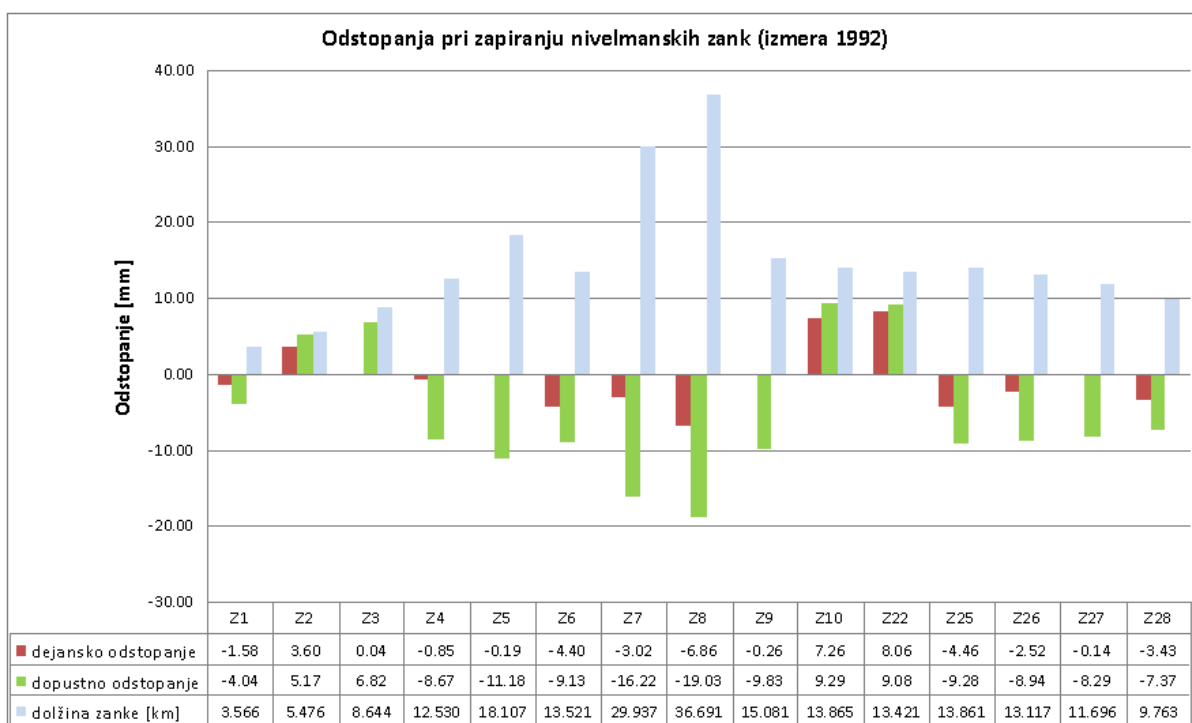
Slika 15: Obseg izmere leta 1996



Slika 16: Obseg izmere leta 2000

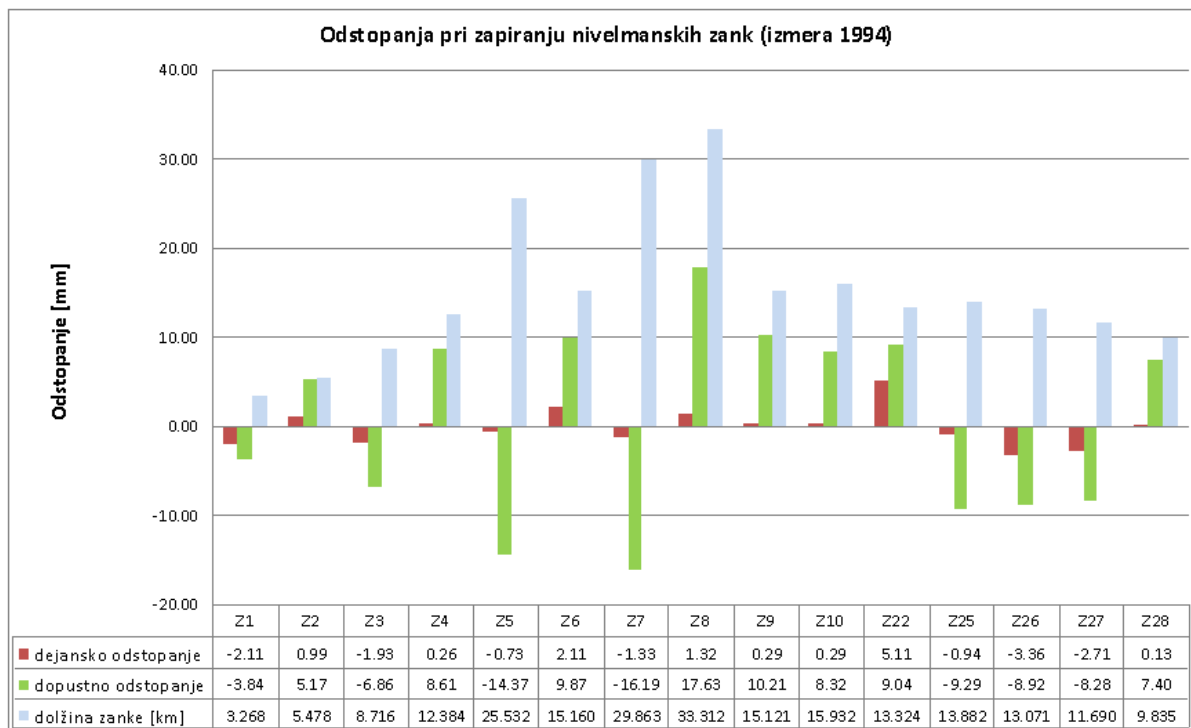
### 4.3.1 Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank

V nadaljevanju so prikazana dejanska in dopustna odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank za posamezno izmero. Zanke so označene s črko Z in pripadajočo številko. Dejanska odstopanja v vseh terminskih izmerah so povsod manjša od dopustnih vrednosti in v večini primerov globoko pod dopustno vrednostjo. Odstopa izmera iz leta 2000, kjer je bilo problematično zapiranje zanke 4, čeprav so bila odstopanja pri kontroli obojestransko merjenih nivelmanskih linijah pod dopustnimi vrednostmi. Kot je razvidno tudi iz grafa, je tu dejansko odstopanje večje od dopustnega odstopanja.

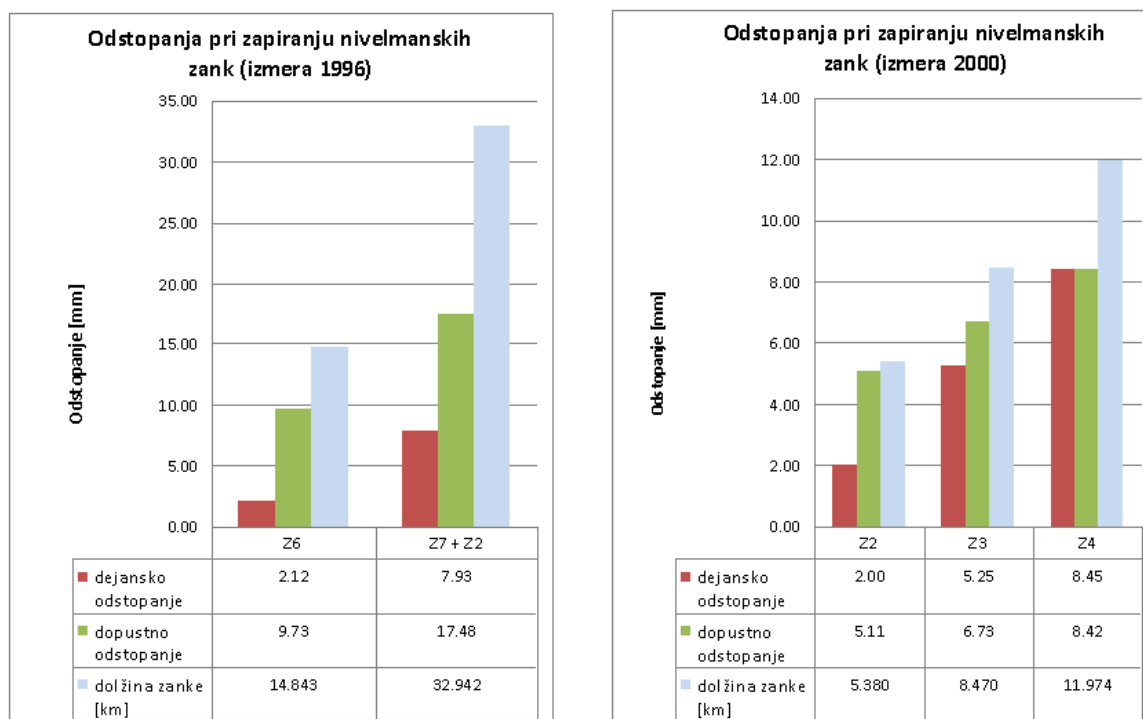


Slika 17: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank za izmero leta 1992





Slika 18: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank za izmero leta 1994

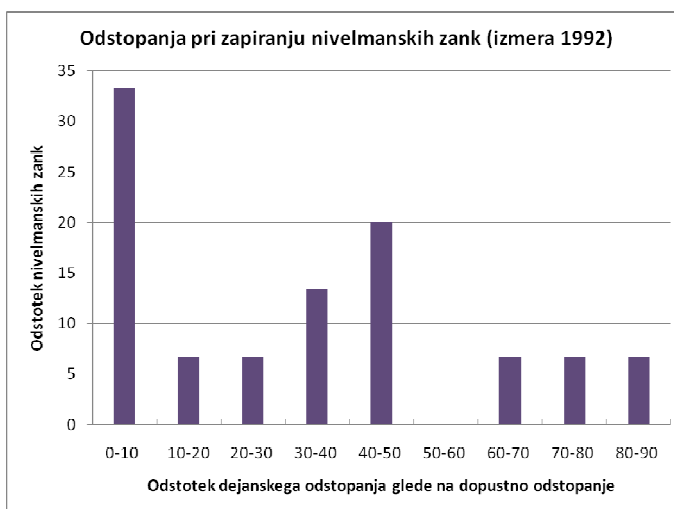


a) Izmera 1996

b) Izmera 2000

Slika 19: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank za izmeri 1996 in 2000

Na naslednji sliki so prikazani grafi, kjer smo odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank prikazali še v odstotkih. Primerjali smo dejanska odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank in jih primerjali z dopustnimi odstopanji. S takim prikazom dobimo pregled nad natančnostjo celotne termenske izmere, saj vidimo kolikšen odstotek nivelmanskih zank pripada določenemu odstotku dejanskega odstopanja glede na dopustno odstopanje. Tako lahko vidimo, da je natančnost izmere iz leta 1992 precej raznovrstna, saj nivelmanske zanke zavzemajo različne deleže dejanskih odstopanj glede na dopustna odstopanja. Izmera iz leta 1994 je bolj homogena, prav tako sta zanki iz izmere leta 1996 podobne natančnosti. Pri izmeri iz leta 2000 je iz grafa razvidno, da delež dejanskega odstopanja glede na dopustno odstopanje pri eni izmed zank presega 100 odstotkov, kar pomeni, da je dejansko odstopanje večje od dopustnega. Kot je bilo že omenjeno, gre za zanko 4, ki se je slabo zaprla in smo jo zato prekinili oziroma smo prekinili nivelmanski poligon, ki to zanko tvori. Ta nivelmanski poligon poteka v smeri Ižanska cesta - Ig ter nato v smeri proti Hauptmancam, kjer smo iz dela nivelmanskega poligona 41/26 - 41/24 - 41/29 - 41/32 izpustili reper 41/29 in tako prekinili zanko.



a) Izmera 1992

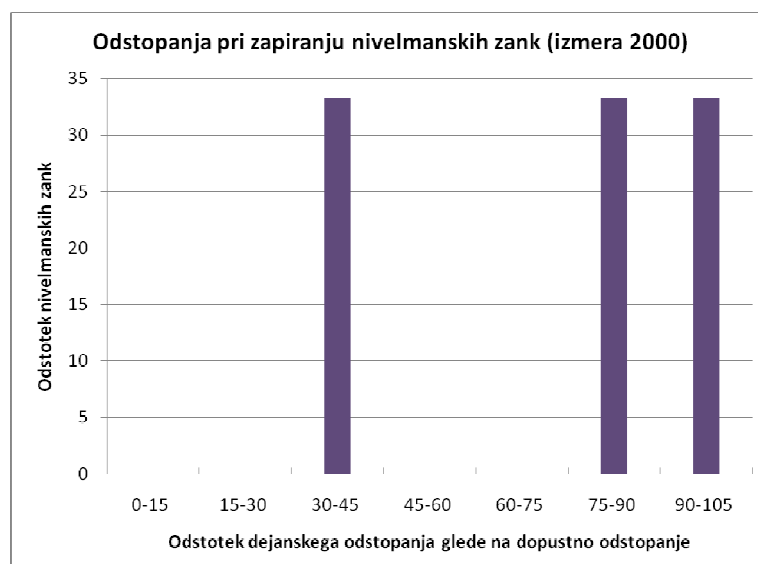


b) Izmera 1994

Slika 20: Odstotkovni prikaz odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank



a) Izmera 1996



b) Izmera 2000

Slika 21: Odstotkovni prikaz odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank

#### 4.3.2 Izravnava nivelmanskih mrež izmerjenih na Ljubljanskem barju

Po oblikovanju novih zank za posamezno terminsko izmero (1992, 1994, 1996 in 2000), smo le-te vključili v nivelmansko mrežo in jih izravnali. Izravnavo smo opravili s programom VimWin (ver. 5.0, Ambrožič, Turk, 2007), ki deluje na osnovi metode najmanjših kvadratov in uporablja postopek posredne izravnave. Izravnava po metodi najmanjših kvadratov zahteva meritve, iz katerih smo odstranili grobe pogreške in sistematične vplive. Odkrivanju in izločanju grobo pogrešenih meritev moramo zato posvetiti ustrezno pozornost, saj neodkriti grobi pogreški vplivajo na oceno vseh količin v matematičnem modelu ter s tem na oceno koordinat in ugotovljenih premikov točk (Savšek et al., 2010).

Nivelmanske mreže smo izravnali z navezavo na fundamentalni reper FR5. Ker za izmere nivelmanskih mrež, ki so bile izvedene pred letom 1992, nimamo na voljo merjenih višinskih razlik, smo terminske izmere v obdobju od 1992 do 2000 izravnali tudi z navezavo na fundamentalne reperje, ki so bili dani za izmere pred letom 1992. Tako smo dobili izravnane višine reperjev v istem vertikalnem datumu in možnost določitve vertikalnih premikov reperjev tudi za izmere od 1978 do 2000.

**a) Izravnava nivelmanskih mrež terminskih izmer od 1992 do 2000 z navezavo na FR5**

Za mrežo iz leta 1992 smo podatke pridobili iz nivelmanskega obrazca številka 2, kjer so merjene višinske razlike že popravljene za sistematične pogreške lat in tako pripravljene za izravnavo. Podatke o meritvah za mrežo iz leta 1994 in 1996 smo pridobili iz že sestavljenih datotek za izravnavo, za mrežo iz leta 2000 pa smo podatke pridobili iz že obdelane datoteke meritev (upoštevani sistematični pogreški lat). Tu je bilo potrebno zgolj izračunati višinske razlike in razdalje med reperji.

Da lahko določimo vertikalne premike, moramo vse izmere nivelmanske mreže navezati na isti izhodiščni reper, ki mora biti stabilen. Pogoj stabilnosti izpolnjujejo fundamentalni reperji. Tako je bil za navezovalni reper izbran fundamentalni reper FR5, ki je stabiliziran v Vnanjih gorinah. Ta reper je bil izbran tudi zato, ker je vključen v vseh obravnavanih izmerah, kar nam omogoča medsebojno primerjavo dveh terminskih izmer.

Pred izravnavo smo preverili ali so v izmerah prisotni grobi pogreški. To smo storili z zapiranjem posameznih zank in nato primerjali dejanska odstopanja z dopustnimi odstopanji. Vsota niveliranih višinskih razlik pri sklenjeni nivelmanski zanki mora biti enaka nič oziroma mora biti znotraj dopustnega odstopanja. V nivelmanskem obrazcu številka 2 (izmera 1992) se kontrolira tudi razlika obojestransko merjenih nivelmanskih linij, ki mora biti prav tako znotraj dopustnega odstopanja. To kontrolo smo opravili tudi za izmero iz leta 2000. Obe enačbi za izračun dopustnega odstopanja (glej poglavje 3.5) sta podani v Pravilniku o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981).

Za izravnavo s programom VimWin smo glede na navodila za uporabo (Ambrožič et al., 1999) v urejevalniku besedila sestavili vhodno datoteko s potrebnimi podatki. V datoteki smo podali višine danih in novih reperjev, merjene višinske razlike in razdalje med posameznimi reperji. Nujna je uporaba decimalnih pik.

Program nam pripravi štiri izhodne datoteke:

- datoteko z rezultati izravnave \*.rez,
- datoteko za deformacijsko analizo \*.def (vhodna datoteka za program DAH),
- datoteko za S-transformacijo \*.str,
- datoteko za izračun ocene natančnosti premika: \*.koo (vhodna datoteka za program Premik).

Z izravnavo smo dobili izravnane nadmorske višine reperjev s pripadajočo oceno natančnosti višin v posamezni terminski izmeri. Datoteka \*.rez vsebuje poleg izravnanih višin ter standardnih odklonov določitve višin reperjev še naslednje podatke:

- enačbe popravkov višinskih razlik,
- izračunane popravke višinskih razlik,
- izračun občutljivosti višinske mreže,
- referenčni standardni odklon  $\hat{\sigma}_0$  izračunan na osnovi popravkov višinskih razlik (a posteriori ocena natančnosti).

Rezultati izravnave posamezne terminske izmere so v prilogi (datoteke bar\_92.rez, bar\_94.rez, bar\_96.rez, bar\_00.rez).

V preglednici 3 so zbrane vrednosti referenčnih standardnih odklonov  $\hat{\sigma}_0$ , ki jih dobimo po izravnavi novo oblikovane mreže in oceni natančnosti določitve višine reperjev. Podani so tudi podatki o številu vseh reperjev in zank v posamezni izmeri. Če primerjamo te standardne odklone s standardnimi odkloni iz poročil o izmerah nivelmanske mreže I. reda na Ljubljanskem barju (tudi podani v preglednici), lahko vidimo da so si natančnosti v posameznih terminskih izmerah podobne. Izjema je izmera iz leta 2000, kjer smo zaradi slabega zapiranja zanke 4, le-to prekinili in jo izravnali kot slepi poligon ter tako dobili boljšo oceno natančnosti po izravnavi  $\hat{\sigma}_0$ . Siceršnje razlike med natančnostmi bi lahko pripisali drugačni navezavi na fundamentalne reperje v novo oblikovanih nivelmanskih mrežah in drugačnemu obsegu meritev.

Preglednica 3: Vrednosti referenčnih standardnih odklonov  $\hat{\sigma}_0$  in natančnosti določitve višine reperjev  $\sigma_H$ , število zank in reperjev v posamezni terminski izmeri

	Izmera 1992	Izmera 1994	Izmera 1996	Izmera 2000
Referenčni standardni odklon $\hat{\sigma}_0$ [mm/km]	1,03	0,58	1,13	1,33
Najmanjša vrednost $\sigma_H$ [mm]	0,13	0,05	0,14	0,17
Največja vrednost $\sigma_H$ [mm]	3,18	1,66	4,57	6,27
Referenčni standardni odklon $\hat{\sigma}_0$ iz poročil [mm/km]	0,97	0,77	0,98	0,86
Število zank	15	15	2	2
Število reperjev	329	331	128	129

Iz preglednice je razvidno, da imata največji standardni odklon določitve višine reperja  $\sigma_H$  terminska izmera 2000 (problematično zapiranje zanke 4 – glej poglavje 4.3.1) in terminska izmera 1996. Relativno veliko vrednost le-tega pri terminski izmeri 1992 lahko pripišemo raznovrstni natančnosti te izmere (glej poglavje 4.3.1, slika 21). Tudi vrednosti referenčnih standardnih odklonov  $\hat{\sigma}_0$  sta za izmeri 1996 in 2000 večji od ostalih, kar kaže na slabšo natančnost teh izmer.

**b) Izravnava nivelmanskih mrež terminskih izmer od 1992 do 2000 z navezavo na dane fundamentalne reperje iz izmer pred letom 1992**

Za namen določitve vertikalnih premikov za nivelmanske izmere pred letom 1992, smo ločeno od prejšnje izravnave s programom VimWin ponovno izravnali izmere iz leta 1992 do 2000. Tako smo za vsako terminsko izmero 1978, 1984 oziroma 1989/90 pripravili štiri vhodne datoteke za program VimWin.

Rezultati ponovne izravnave terminskih izmer 1992, 1994, 1996 in 2000 so v prilogi (datoteke 78\_92, 94, 96, 00.rez, datoteke 84\_92, 94, 96, 00.rez, datoteke 89\_92, 94, 96, 00.rez).

V preglednici 4 so zbrane vrednosti višin fundamentalnih reperjev iz poročil o izmeri posamezne nivelmanske mreže ter iz izravnave nivelmanskih izmer od 1992 do 2000 z navezavo na FR5. Znak “/” v preglednici pomeni, da fundamentalni reper ni bil vključen v izravnavo. Za terminske izmere 1978, 1984 in 1989/90, so v oklepaju napisani fundamentalni reperji (FR) na katere so vezali posamezno izmero – na te reperje smo torej navezali izmere iz let 1992 do 2000. Pri izmeri 1978 smo

iz navezave izpustili fundamentalni reper FR3, saj nam je kvaril oceno natančnosti  $\hat{\sigma}_0$  pri ponovni izravnavi termenske izmere 1996 ( $\hat{\sigma}_{0\ 1996} = 1,26$  mm/km). V preglednici so podane tudi razlike višin fundamentalnih reperjev  $\Delta$  v milimetrih.

Preglednica 4: Višine fundamentalnih reperjev v metrih, razlika višin  $\Delta$  v milimetrih

Leto izmere	Izmere - podatki iz poročil			Izravnavo na FR5			
	1978 (FR-3, 5, 6, 7)	1984 (FR-5, 6, 7)	1989/90 (FR-5, 6, 7)	1992	1994	1996	2000
FR5	296,8047	296,8047	296,8047	296,8047	296,8047	296,8047	296,8047
	$\Delta_{FR5}$			0,0	0,0	0,0	0,0
FR3	302,7745	302,7699	302,7119	302,7726	302,7709	302,7685	302,7749
FR6	293,9652	293,9652	293,9652	293,9649	293,9658	293,9637	293,9693
	$\Delta_{FR6}$			-0,3	0,6	-1,5	4,1
FR7	297,7311	297,7311	297,7311	/	297,7340	297,7273	297,7353
	$\Delta_{FR7}$			-	2,9	-3,8	4,2
FR9	/	/	/	295,9463	295,9441	/	/
FR10	/	/	/	295,4640	295,4589	/	/

Kot je razvidno iz preglednice 4 se v izmerah 1978, 1984 in 1989/90 spreminja zgolj višina fundamentalnega reperja FR3, ostale višine pa se ne spreminjajo. Višine fundamentalnih reperjev FR6 in FR7 so se spremenile za -0,3 do 4,2 milimetrov, kar so relativno velike spremembe višin fundamentalnih reperjev. Višina FR5 se ni spremenila, saj smo izravnavo opravili z navezavo na ta reper.

Rezultati izravnavo so zbrani v spodnji preglednici. Vse izmere smo vezali na iste fundamentalne reperje, zato dobimo enotno oceno natančnosti za vse izmere, kot je razvidno iz preglednice 5.

Preglednica 5: Vrednosti referenčnih standardnih odklonov  $\hat{\sigma}_0$  in natančnosti določitve višine reperja  $\sigma_H$  za izravnavo na dane FR iz leta 1978, 1984 in 1989/90

	Izmera 1992	Izmera 1994	Izmera 1996	Izmera 2000
Referenčni standardni odklon $\hat{\sigma}_0$ [mm/km]	1,00	0,60	1,01	1,08
Najmanjša vrednost $\sigma_H$ [mm]	0,1	0,1	0,1	0,1
Največja vrednost $\sigma_H$ [mm]	2,1	1,6	2,1	3,1

Vrednosti referenčnih standardnih odklonov  $\hat{\sigma}_o$  so primerljive pri vseh izmerah, pri tem pa ima najmanjšo vrednost le-tega terminska izmera 1994, ki ima tudi najmanjši standardni odklon določitve višine reperja  $\sigma_H$ . Največjo vrednost standardnega odklona določitve višine reperja  $\sigma_H$  ima terminska izmera 2000, sledita pa izmeri 1992 in 1996.



## 5 DOLOČITEV VERTIKALNIH PREMIKOV IN ANALIZA STABILNOSTI REPERJEV

Geodetske metode omogočajo določanje recentnih tektonskih premikov zemeljske skorje, lokalnih premikov zemeljske površine (plazovi, posedanje, ugrezanje zaradi rudarjenja, izsuševanja, črpanja podtalnice) ter ugotavljanje premikov in deformacij zgrajenih objektov (prometnice, mostovi, vodne pregrade in strojne konstrukcije). Deformacije, ki jih izračunamo na podlagi premikov točk, so v primeru grajenih objektov informacija o lastnostih konstrukcij in materialov in podatek za analizo varnosti delovanja in/ali uporabe objekta. Pri naravnih objektih pa so izmerjeni premiki informacija o morebitni nevarnosti za okolico, presojo primernosti njihove ekonomske izrabe ipd. (Savšek et al., 2010).

V praksi spremljamo in ugotavljamo velike in tudi komaj zaznavne premike. Glede na velikost pričakovanih premikov uporabimo ustrezno stabilizacijo, signalizacijo, mersko opremo in metodo izmere, ki zagotavlja določitev premikov z ustrezno gotovostjo (Savšek et al., 2010). Osnova za ugotavljanje premikanja zgrajenega objekta ali naravnega dela površja je določitev spremembe položajev točk objekta oziroma dela površja. O premikih točk med dvema terminskima izmerama lahko sklepamo izključno za identične točke. Po izravnavi dveh ali več terminskih izmer lahko določimo premike točk s pripadajočimi merili natančnosti ocenjenih premikov, torej sprememb položajev točk. V primeru, da so ocenjeni premiki točk nekajkrat večji od natančnosti določitve le-teh, lahko iz razlike položajev točk sklepamo na verjetne premike. Pri mnogih inženirskih nalogah daje ocena razlike položajev točk med dvema terminskima izmerama popolnoma zadovoljive informacije o premikih. To velja v primeru zadostnega števila stabilnih točk ali če so premiki nekajkrat večji od natančnosti določitve premika (Savšek-Safić et al., 2003).

Na osnovi zgoraj opisanega principa deluje program Premik (ver. 1.0, Ambrožič, Turk, Stopar, 2007), ki smo ga uporabili za analizo stabilnosti reperjev v izmerah leta 1992, 1994, 1996 in 2000. Program nam v izhodni datoteki z indikatorjem označi reperje katerih premik je večji od trikratne vrednosti natančnosti določitve premika oziroma vse reperje, kjer razlika višine reperja v dveh terminskih izmerah preseže trikratno vrednost natančnosti določitve te višinske razlike.

Opisani postopek je v primerjavi z ostalimi metodami deformacijske analize enostavnejši. Podaja nam prvo informacijo o dogajanju v obravnavani geodetski oziroma nivelmanski mreži. Glede na zahtevnost naloge in posledice se odločimo ali bomo izvedli podrobno deformacijsko analizo po eni izmed znanih metod (Delft, Fredericton, Hannover, Karlsruhe, München idr.) ali to ni potrebno (Savšek-Safić et al., 2003). Deformacijska analiza vključuje uporabo metod statistične analize, s katerimi na podlagi geodetskih meritev odkrivamo in določamo premike točk v prostoru ter iz

premikov izhajajoče deformacije objekta. S postopkom deformacijske analize iz geodetskih meritev v dveh ali več terminskih izmerah ugotavljamo, ali se je med terminskimi izmerami spremenil položaj geodetskih točk, ki predstavljajo naraven ali zgrajen objekt. Obravnavani premiki so lahko zelo majhni oziroma enaki velikostnemu redu natančnosti meritev, zato je potrebno geodetske meritve, oceno natančnosti in statistično analizo izvesti zelo skrbno in pazljivo (Savšek, et al. 2010).

V našem primeru se za podrobnejšo deformacijsko analizo Hannover s programom DAH (ver 2.0, Ambrožič, 1997) nismo odločili. Program na začetku statistično testira homogenost natančnosti opazovanj dveh terminskih izmer. Tako je pri izmeri iz leta 1992 in 1994, kjer je število identičnih reperjev največje, program zaradi ugotovljene nehomogene natančnosti izmer prekinil analizo, saj ima deformacijska analiza bolj stroga merila in postopke za ugotavljanje nestabilnih točk. Natančnosti izmer so sicer med seboj primerljive (glej preglednico 3, poglavje 4.3.2) in jih je med seboj smiselno primerjati (program Premik). Ostale terminske izmere (1996 in 2000) se po obsegu precej razlikujejo od obsega omenjenih izmer, zato bi bila podrobnejša analiza ostalih terminskih izmer omejena le na majhen del nivelmanske mreže. Tako smo se odločili, da analizo stabilnosti reperjev izvedemo le s programom Premik.

### **5.1 Določitev vertikalnih premikov reperjev s programom Premik – terminske izmere od 1992 do 2000**

Glede na navodila za uporabo (Ambrožič et al., 2007), smo pripravili potrebne vhodne datoteke za program Premik. Vhodno datoteko z višinami in elementi matrike kofaktorjev reperjev nam ob izravnavi pripravi program VimWin (datoteka \*.koo). Sestavili smo še datoteko s seznamom imen datotek z višinami reperjev, kjer smo poleg imen datotek podali še:

- začetno vrednost za generator slučajnih spremenljivk,
- število iteracij za simulacijo porazdelitvene funkcije ter
- stopnjo značilnosti testa  $\alpha$

Program izpiše rezultate v datoteko s končnico \*.sez, ki vsebuje:

- pregled opazovanih reperjev v posamezni terminski izmeri,
- višinske razlike posameznih reperjev med terminskimi izmerami (med datotekami z višinami reperjev),
- natančnost določitve višinske razlike,
- velikost testne statistike,
- velikost kritične vrednosti, ki je odvisna samo od stopnje značilnosti testa,

- dejansko stopnjo značilnosti testa ter
- indikator pri višinskih razlikah, ko te presežejo trikratno vrednost natančnosti določitve višinske razlike

Testna statistika  $T$  je določena kot razmerje med premikom  $dH$  in pripadajočo natančnostjo premika reperja  $\sigma_{dH}$  (Savšek-Safić, 2008):

$$T = \frac{dH}{\sigma_{dH}}, \quad (17)$$

kjer vertikalni premik (višinsko razliko) izračunamo po enačbi:

$$dH = H_{t+\Delta t} - H_t, \quad (18)$$

natančnost določitve vertikalnega premika pa po enačbi:

$$\sigma_{dH} = \sqrt{\sigma_{H(t)}^2 + \sigma_{H(t+\Delta t)}^2}, \quad (19)$$

kjer je:

$\Delta t$  ... čas med dvema terminskima izmerama

$H_t, H_{t+\Delta t}$  ... višini reperjev v času izmere  $t$  oziroma  $t+\Delta t$

$\sigma_{H(t)}, \sigma_{H(t+\Delta t)}$  ... standardna odklona določitve višine reperja v času izmere  $t$  oziroma  $t+\Delta t$

Testno statistiko primerjamo s kritično vrednostjo, ki jo pridobimo na osnovi simulirane porazdelitvene funkcije ob izbrani stopnji značilnosti testa  $\alpha$ . Statistiko testiramo glede na postavljeno ničelno in alternativno hipotezo (Savšek-Safić et al., 2003):

$H_0: dH = 0$ ; reper miruje ter

$H_1: dH \neq 0$ ; reper se je premaknil.

Če je testna statistika manjša od kritične vrednosti ob izbrani stopnji zaupanja  $\alpha$ , je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze preveliko. V tem primeru zaključimo, da premik reperja ni statistično značilen. Če je testna statistika večja od kritične vrednosti, je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze manjše od izbrane stopnje značilnosti  $\alpha$ . Ničelno hipotezo zato zavrnemo in potrdimo, da je

obravnani premik statistično značilen. Program Premik kot nestabilne oziroma premaknjene reperje označi vse reperje, kjer je vrednost testne statistike  $T$  večja od 3.

Program izračuna tudi dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze (dejansko stopnjo značilnosti testa), kar nam je lahko v pomoč pri odločitvi. Dejansko tveganje  $\alpha_{dej}$  se izračuna iz simulirane porazdelitvene funkcije pri izračunani vrednosti testne statistike  $T$ . Dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze primerjamo s stopnjo značilnosti testa  $\alpha$ . Kjer vrednost testne statistike nekajkrat preseže svojo kritično vrednost, je dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze minimalno in manjše od izbrane stopnje značilnosti testa  $\alpha$ . Obravnavamo dva primera (Savšek-Safić et al., 2003):

- $\alpha_{dej} < \alpha$ : zavrnemo ničelno hipotezo in potrdimo statistično značilen premik reperja ali
- $\alpha_{dej} > \alpha$ : ne zavrnemo ničelne hipoteze; premik reperja ni statistično značilen.

V spodnji preglednici so zbrani podatki o številu identičnih reperjev in številu reperjev, ki jih je program Premik določil kot premaknjene. Primerjali smo terminske izmere 1992, 1994, 1996 in 2000. V preglednici so prikazane tudi velikosti premikov v milimetrih, in sicer najmanjša in največja vrednost premika ter oznaka reperja, ki mu vrednost pripada.

Preglednica 6: Primerjava izmer 1992, 1994, 1996 in 2000

Primerjava izmer	Primerjava izmere 1992 z izmero			Primerjava izmere 1994 z izmero		Primerjava izmere 1996 z izmero
	1994	1996	2000	1996	2000	2000
Št. identičnih reperjev	316	120	94	124	99	81
Št. premaknjenih reperjev	59	33	30	35	30	5
Št. premaknjenih reperjev v %	18,7	27,5	31,9	28,2	30,3	6,2
Najmanjša velikost premika [mm]	4,2	-8,5	1,5	-0,5	1,4	1,9
Oznaka reperja	52/13	39/81	51/12	51/12	51/12	51/12
Največja velikost premika [mm]	-52,5	-126,4	-723,9	-74,0	-719,2	-40,7
Oznaka reperja	42/43	42/43	41/30	42/43	41/30	42/43

Iz zgornje preglednice je razvidno da odstotek premaknjenih reperjev raste z večanjem časovne razlike med dvema terminskima izmerama. V primerjavi terminske izmere 1996 in 2000 je program Premik kot premaknjene določil le 6,2 % reperjev, kar je glede na ostale primerjave terminskih izmer majhen odstotek. Razlog je v slabši natančnosti, ki je bila dosežena za izmeri 1996 ( $\hat{\sigma}_0 = 1,13$  mm/km) in 2000 ( $\hat{\sigma}_0 = 1,33$  mm/km). Zaradi tega so s slabšo natančnostjo določene tudi nadmorske višine reperjev (glej preglednico 3, poglavje 4.3.2). Tako so kot nestabilni določeni samo tisti reperji, ki imajo zelo veliko spremembo višine med terminskima izmerama.

Rezultati iz programa Premik so v prilogi. Primerjali smo izmere iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000 (datoteka premik\_skupaj.sez).

## 5.2 Določitev vertikalnih premikov reperjev za nivelmanske izmere pred letom 1992

Vertikalne premike reperjev za izmere pred letom 1992 (1978, 1984 in 1989/90), smo določili na osnovi višin reperjev, ki so bile zbrane v poročilih o posameznih izmerah nivelmanskih mrež. Za izmeri iz leta 1978 in 1984, nismo imeli na voljo ocene natančnosti določitve višine reperjev. Zato smo za oceno natančnosti določitve višin reperjev, prevzeli srednjo vrednost natančnosti določitve višin reperjev iz rezultatov izravnave izmer po letu 1992. Srednja vrednost natančnosti določitve višin reperjev znaša 1,7 mm. Za izmero izvedeno leta 1989/90 so bile ocenjene tudi natančnosti določitve višin reperjev.

Ponovno izravnane višine reperjev (od 1992 do 2000) smo nato primerjali z višinami reperjev v izmerah iz leta 1978, 1984 in 1989/90. Vertikalni premiki so izračunani po enačbi (18) in ocena natančnosti določitve vertikalnega premika po enačbi (19). Podobno kot pri programu Premik, smo kot premaknjene označili tiste reperje, kjer je višinska razlika reperjev  $dH$  v dveh terminskih izmerah, preseгла trikratno vrednost natančnosti določitve višine.

Rezultati, ki smo jih dobili na podlagi primerjave višin reperjev so v prilogi (preglednice primerjave terminskih izmer 1978, 1984 in 1989/90 z ostalimi izmerami).

V preglednici 7 so zbrani podatki o številu identičnih reperjev in številu reperjev, ki smo jih na podlagi primerjave višin reperjev določili kot premaknjene. Prikazane so tudi velikosti premikov v milimetrih, in sicer najmanjša in največja vrednost premika ter oznaka reperja, ki mu vrednost pripada.

Preglednica 7: Primerjava terminskih izmer 1978, 1984 in 1989/90 s terminskimi izmerami 1992, 1994, 1996 in 2000

Primerjava izmer	Primerjava izmere 1978 z izmero				Primerjava izmere 1984 z izmero				Primerjava izmere 1989/90 z izmero			
	1992	1994	1996	2000	1992	1994	1996	2000	1992	1994	1996	2000
Št. identičnih reperjev	134	128	76	61	153	148	89	71	304	299	109	87
Št. premaknjenih reperjev	76	81	48	44	62	69	38	38	54	105	46	47
Št. premaknjenih reperjev v %	56,7	63,3	63,2	72,1	40,5	46,6	42,7	53,5	17,8	35,1	42,2	54,0
Najmanjša velikost premika [mm]	-7,3	-6,02	-7,59	-8,4	-6,4	6,1	-7,5	-9,4	-5,93	-3,9	-3,6	-3,2
Oznaka reperja	113	51/7	51/7	217	113	41/12	51/3	40/6	51/6	2097	2097	42/13
Največja velikost premika [mm]	-474,5	-475,8	-207,6	-754,8	-468,7	-470,1	-263,2	-735,6	-467,5	-468,9	-214,9	-728,9
Oznaka reperja	17/43	17/43	41/4	41/30	17/43	17/43	42/43	41/30	17/43	17/43	40/31	41/30

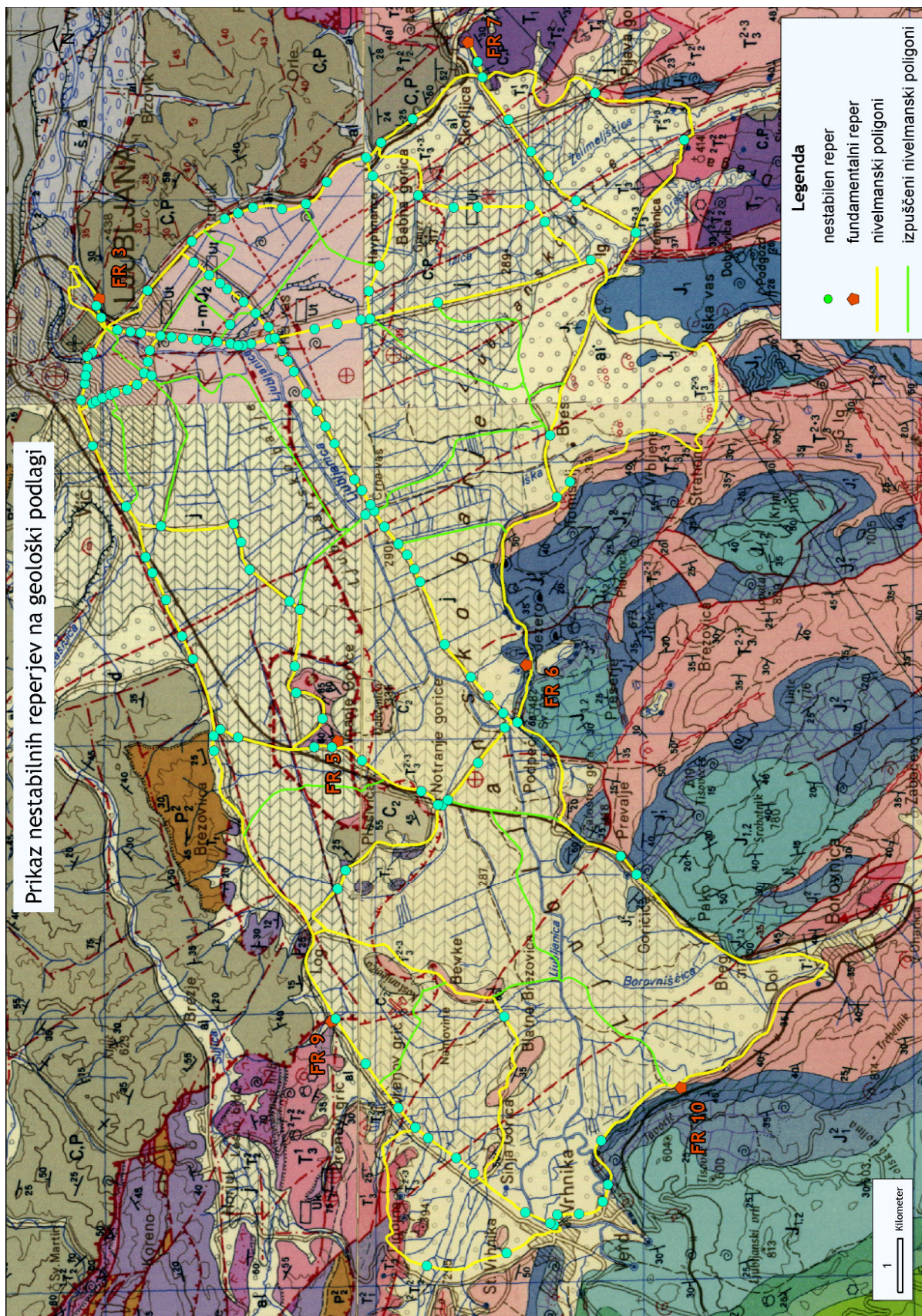
Če te rezultate oziroma ugotovitve primerjamo z ugotovitvami iz programa Premik, vidimo da so kljub primerjavi različnih terminskih izmer ugotovitve podobne. Odstotek premaknjenih reperjev raste z večanjem časovne razlike med dvema terminskima izmerama.

### 5.3 Izris nestabilnih reperjev na skici nivelmanske mreže

Na geološki podlagi Ljubljanskega barja so prikazani nestabilni reperji med terminskimi izmerami. Za nadaljnjo geološko interpretacijo je potrebno opraviti geološko analizo reperjev in določiti reperje, ki so primerni za interpretacijo geodinamičnega dogajanja na območju Ljubljanskega barja. Primernejši so reperji, ki so stabilizirani v objekte, ki so temeljeni na trdnih tleh. Za interpretacijo geodinamike je tudi ugodno, kadar nivelmanski poligon, ki te reperje povezuje preči geološke strukture čimbolj pravokotno (Rižnar, Koler, Bavec, 2007).

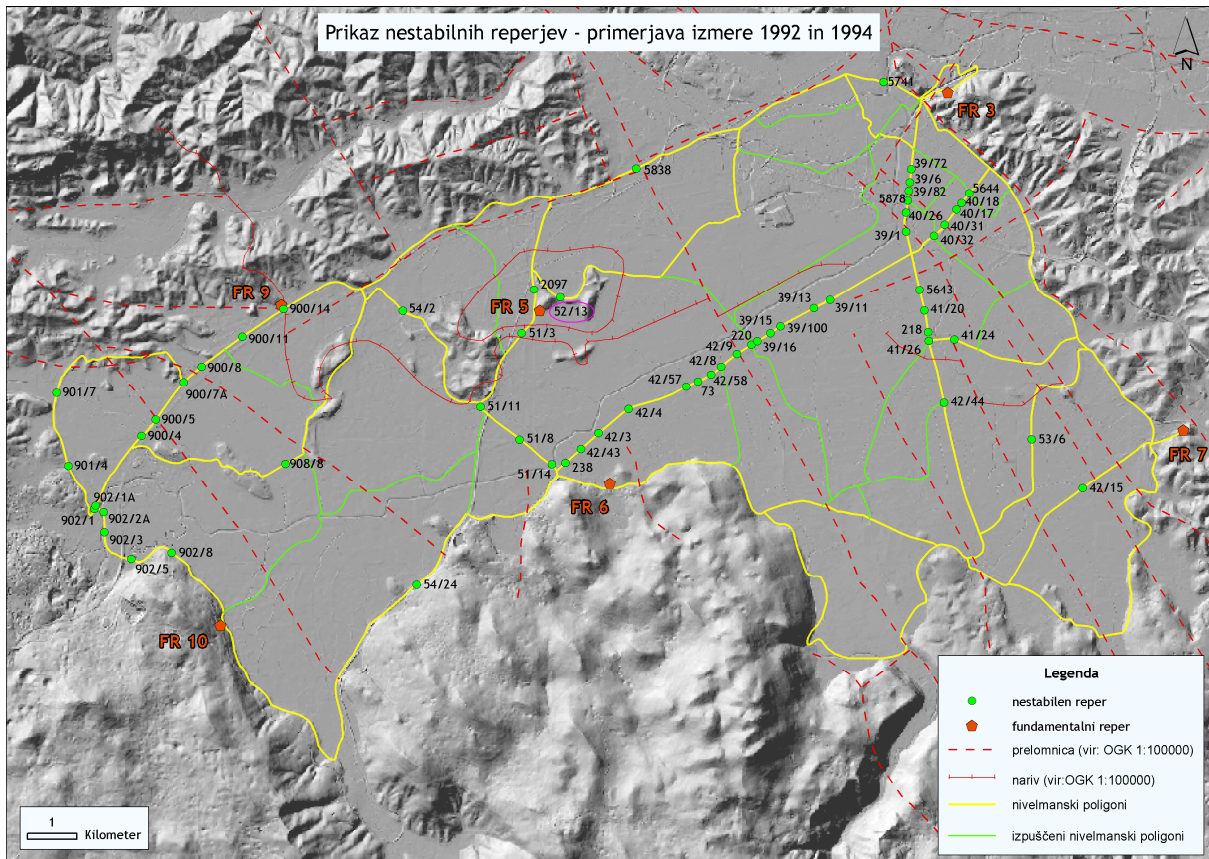
V nadaljevanju so prikazane skice premaknjenih reperjev, in sicer:

- prikaz vseh nestabilnih reperjev na geološki podlagi (Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Beograd, Zvezni geološki zavod),
- posamezen prikaz nestabilnih reperjev (primerjava dveh terminskih izmer), kjer smo za podlago uporabili digitalni model reliefa (DMR5, Atlas okolja, 2011). Reperje s pozitivnim premikom, smo označili z drugo barvo oziroma smo jih obkrožili.

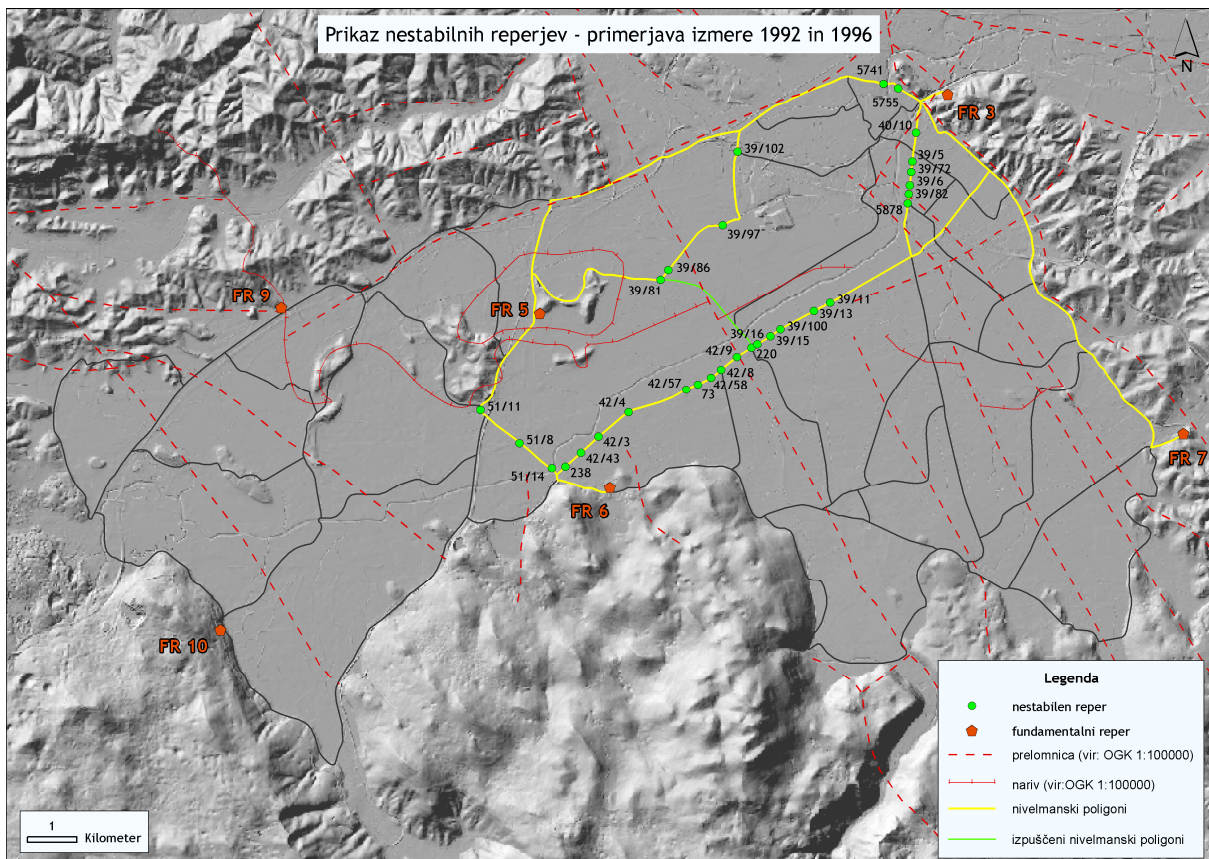


Slika 22: Prikaz nestabilnih reperjev na geološki podlagi

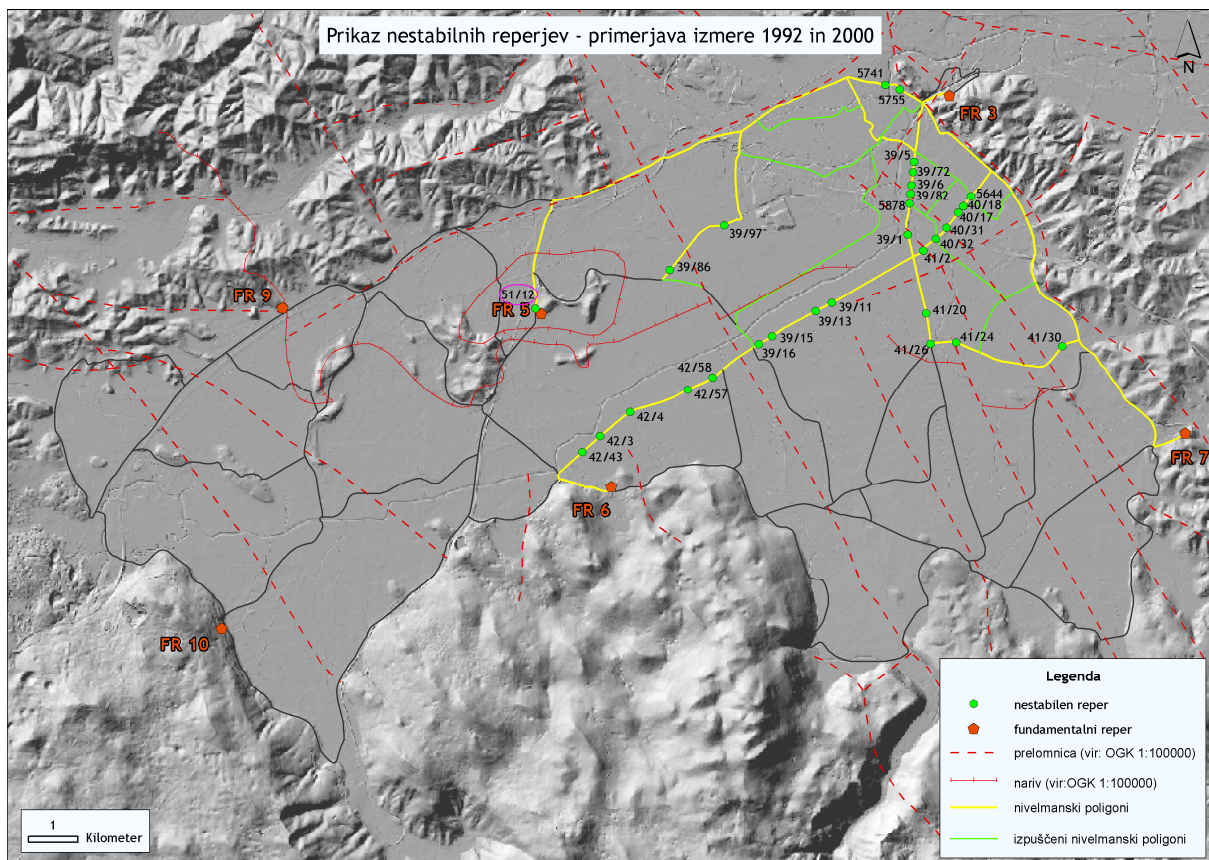




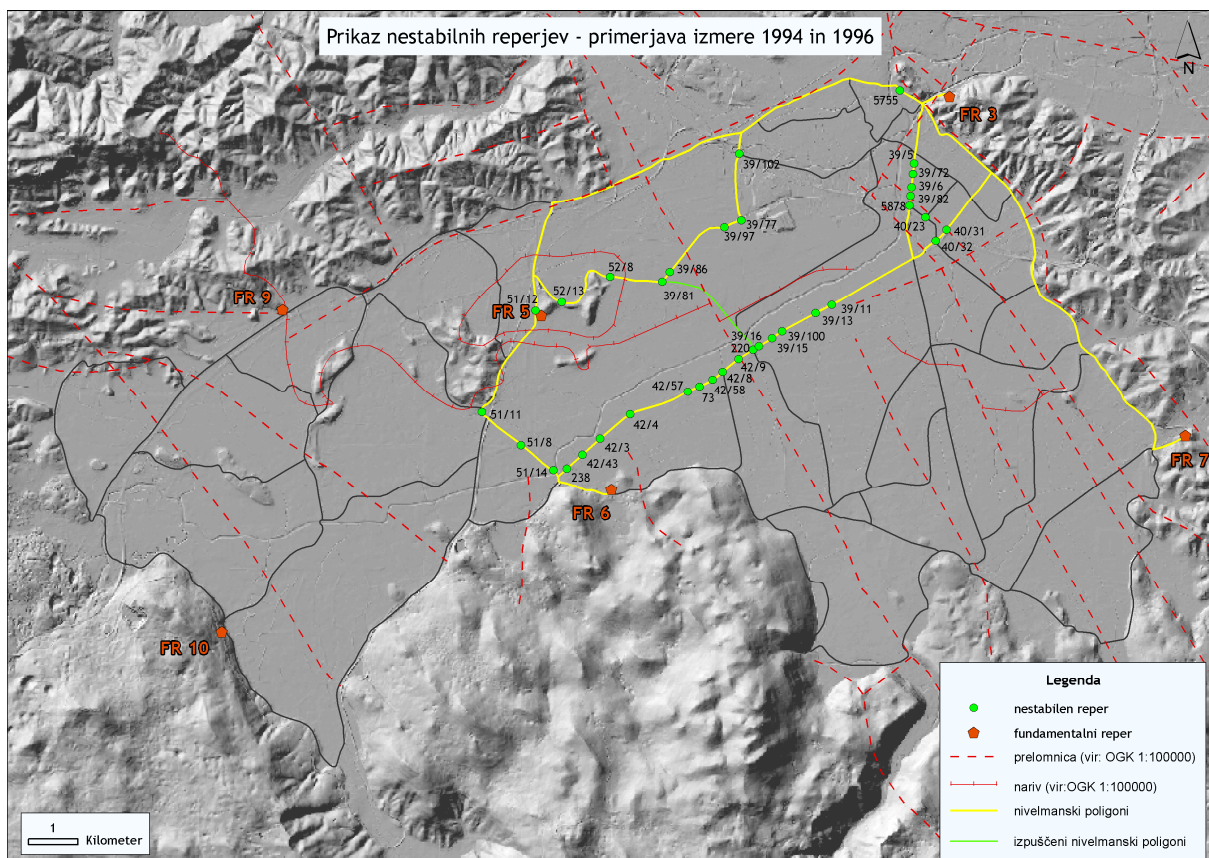
Slika 23: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1992 in 1994



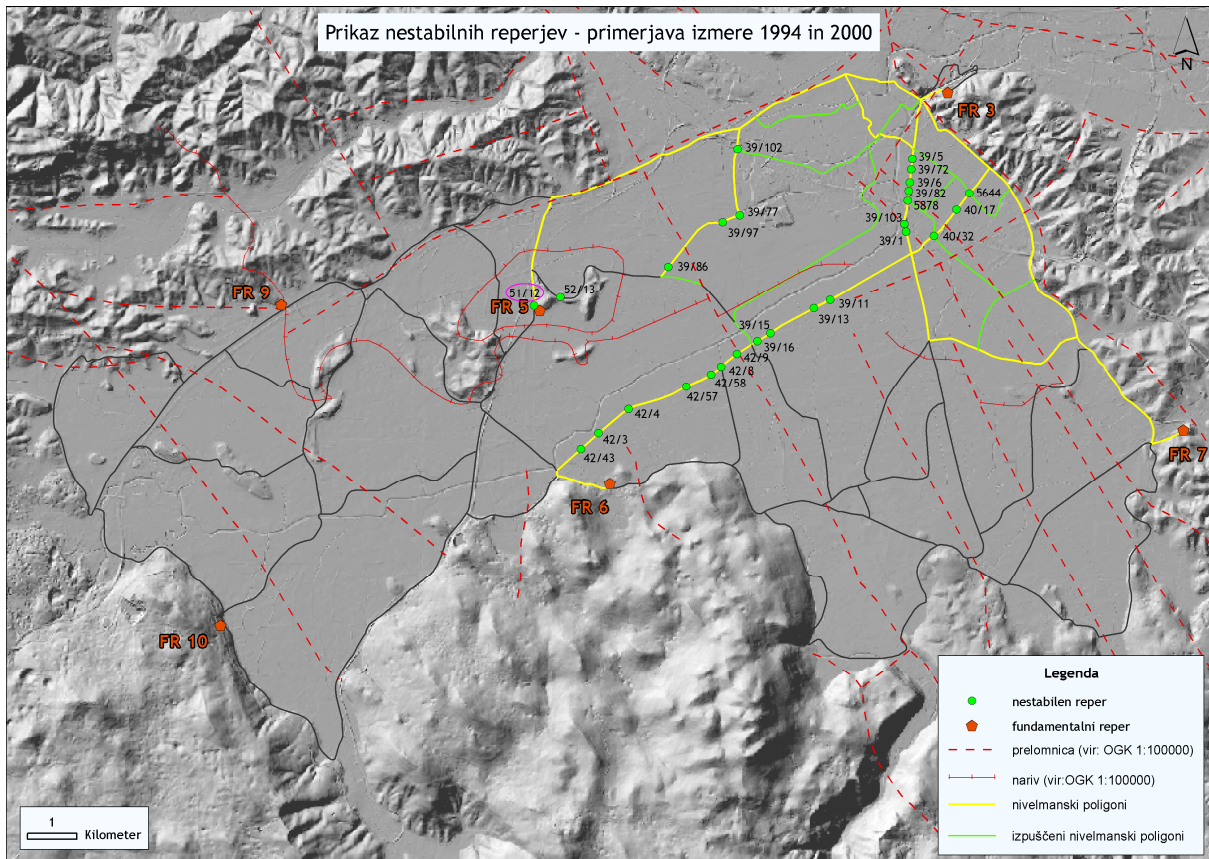
Slika 24: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1992 in 1996



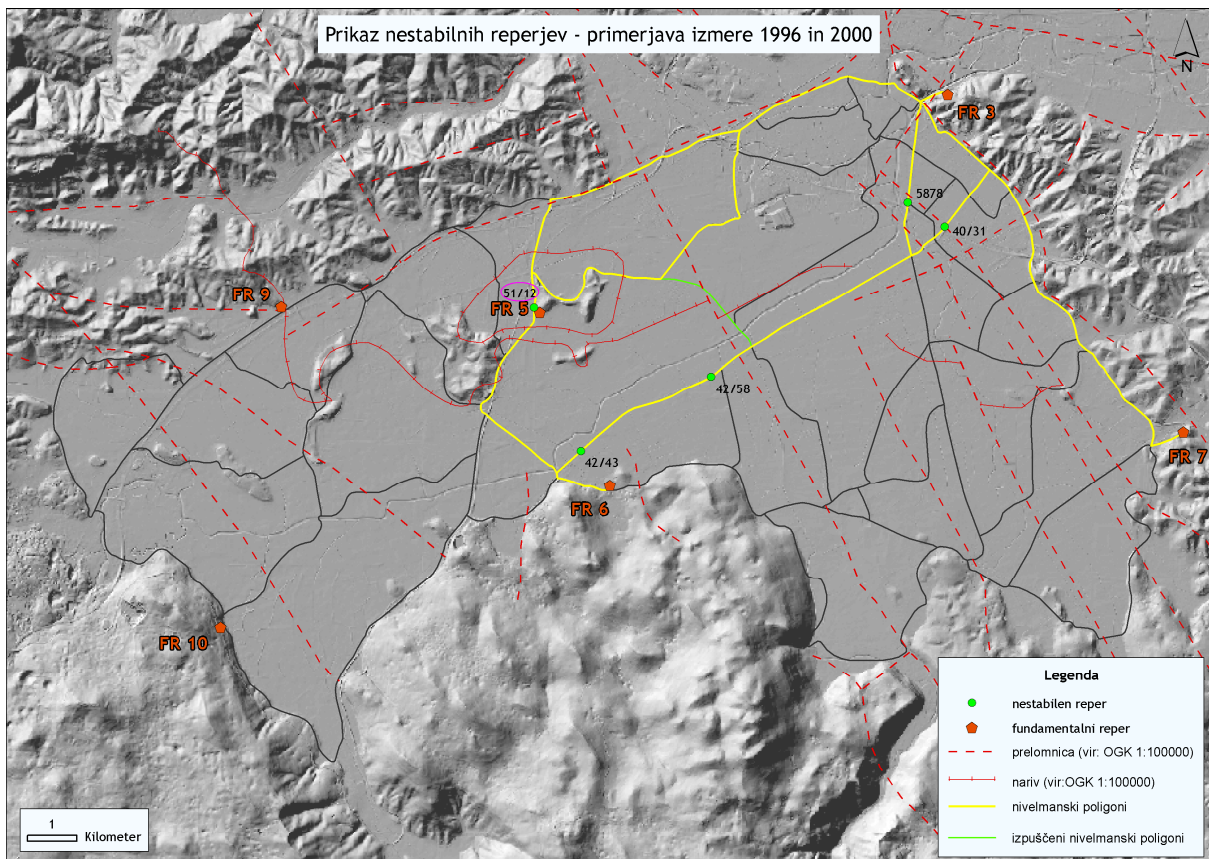
Slika 25: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1994 in 1996



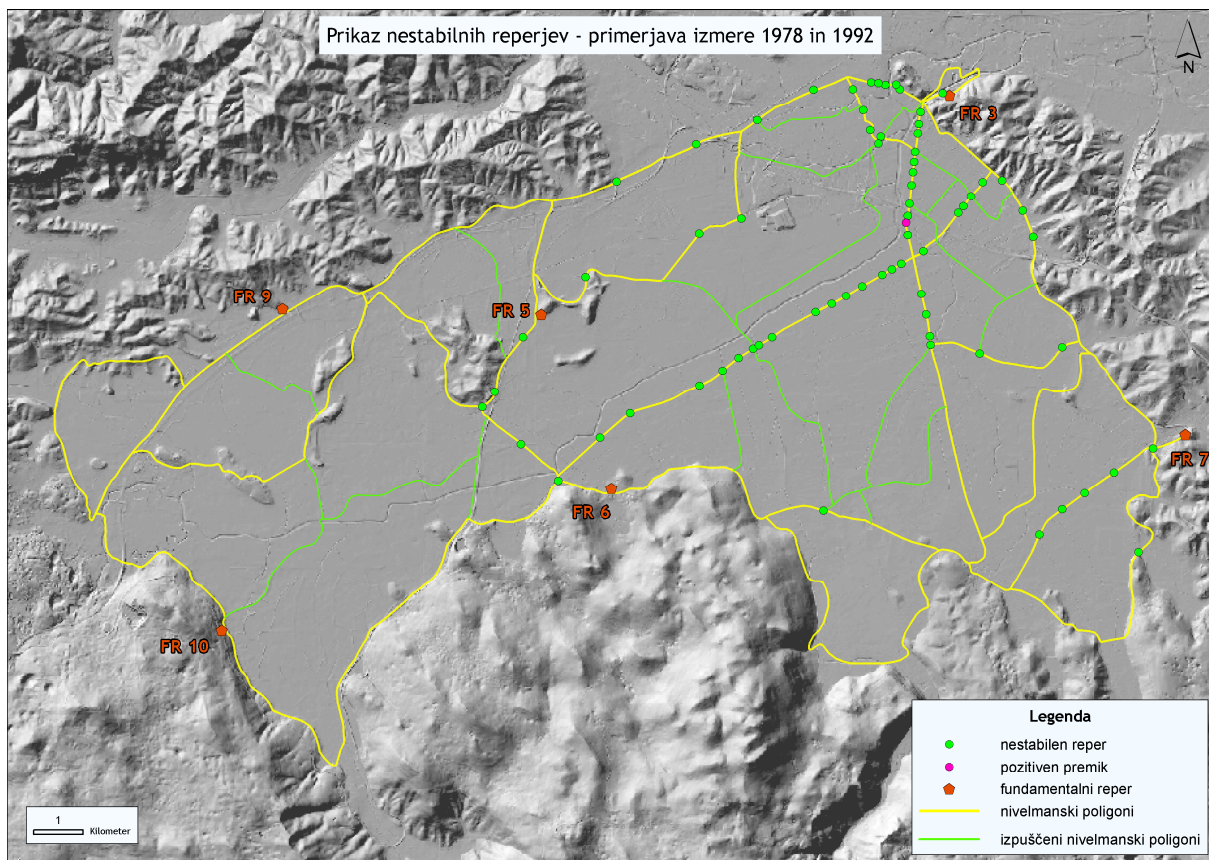
Slika 26: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1994 in 1996



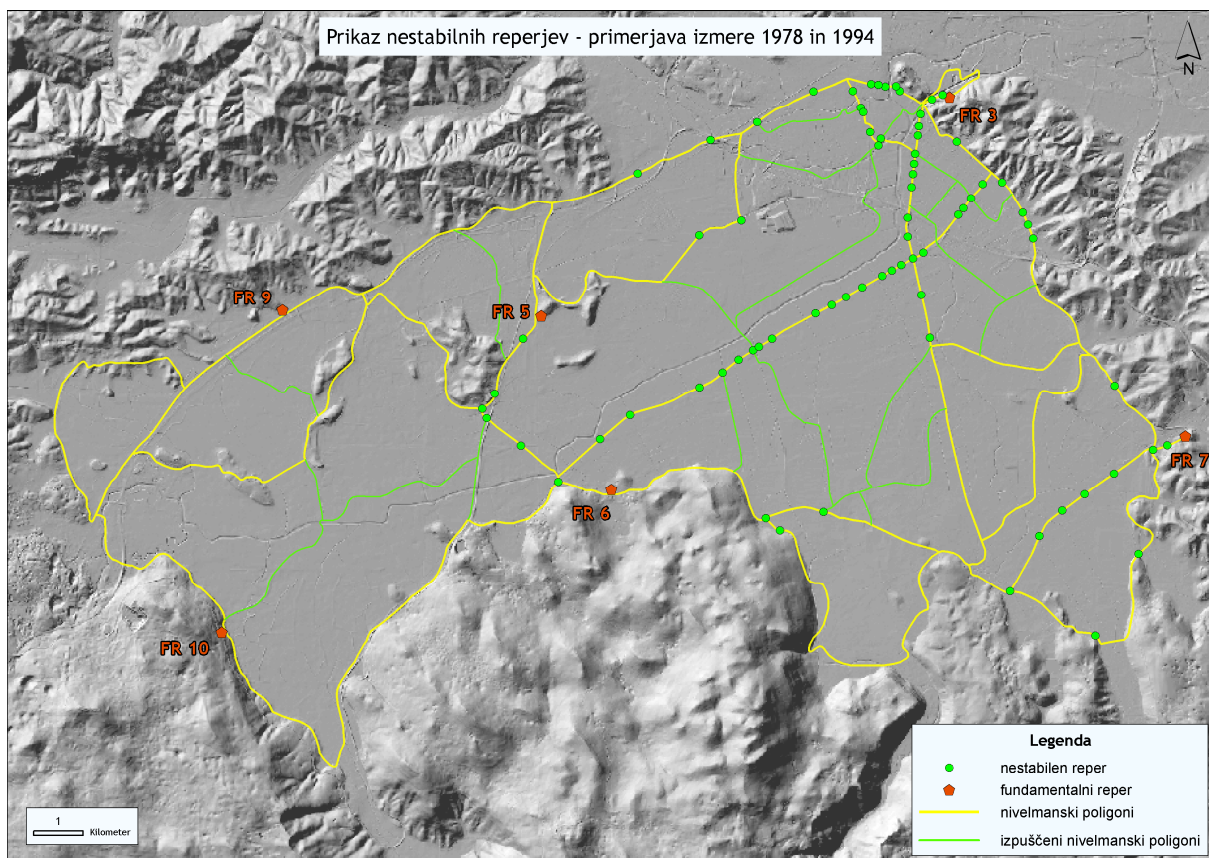
Slika 27: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1996 in 2000



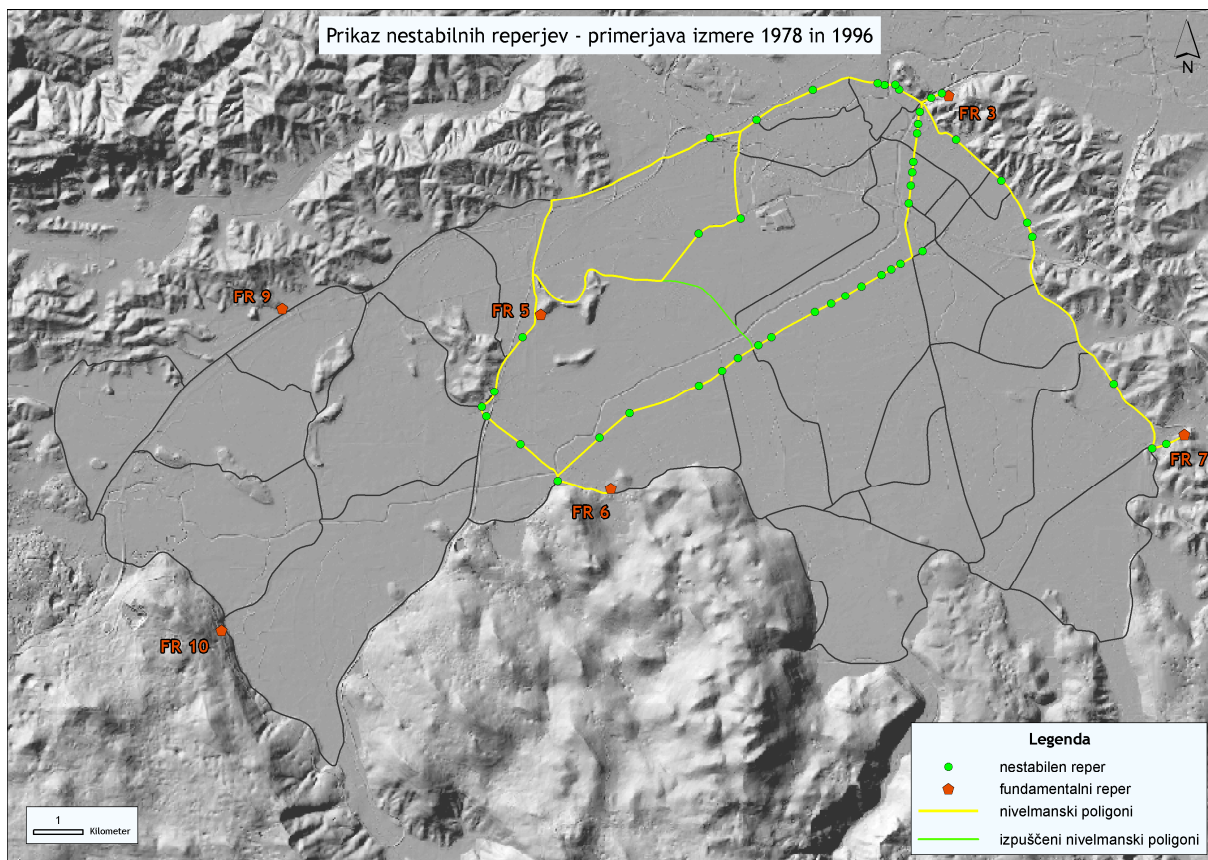
Slika 28: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termenske izmere 1996 in 2000



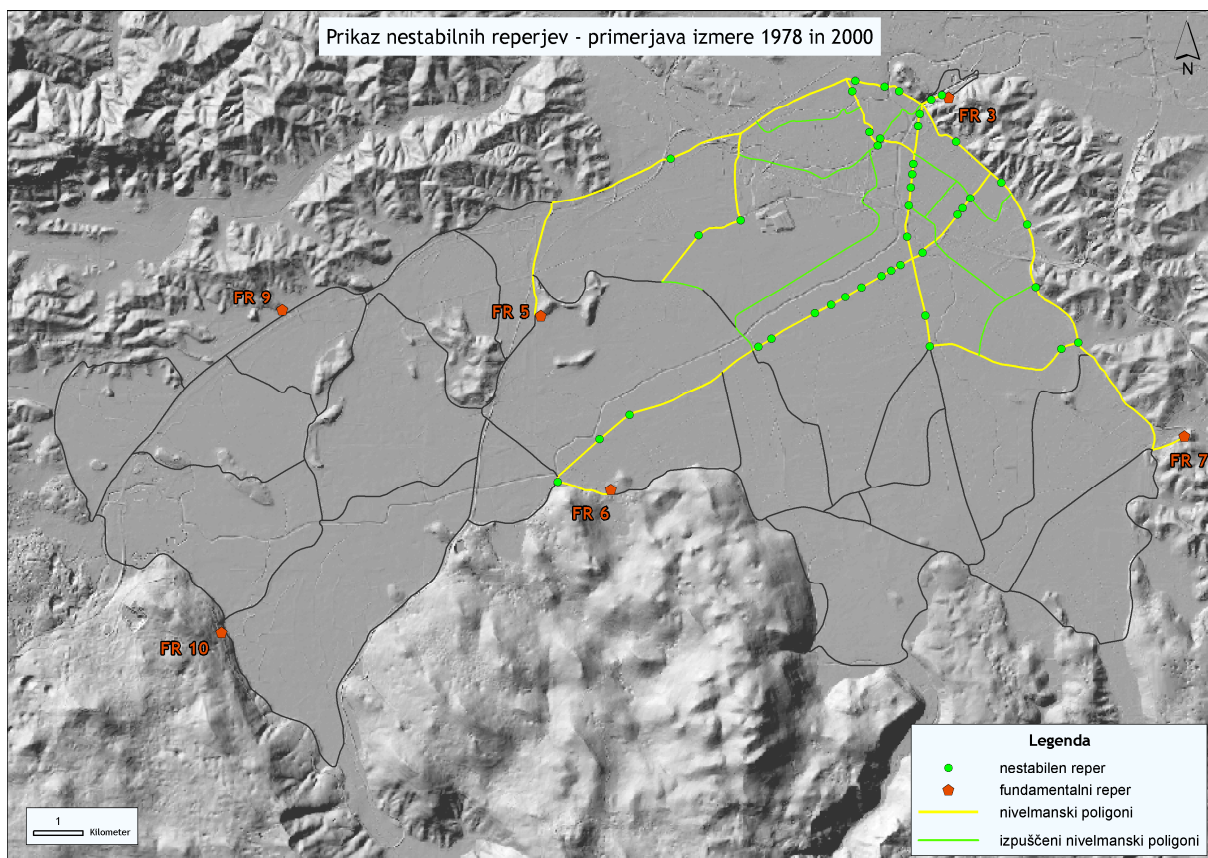
Slika 29: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termenske izmere 1978 in 1992



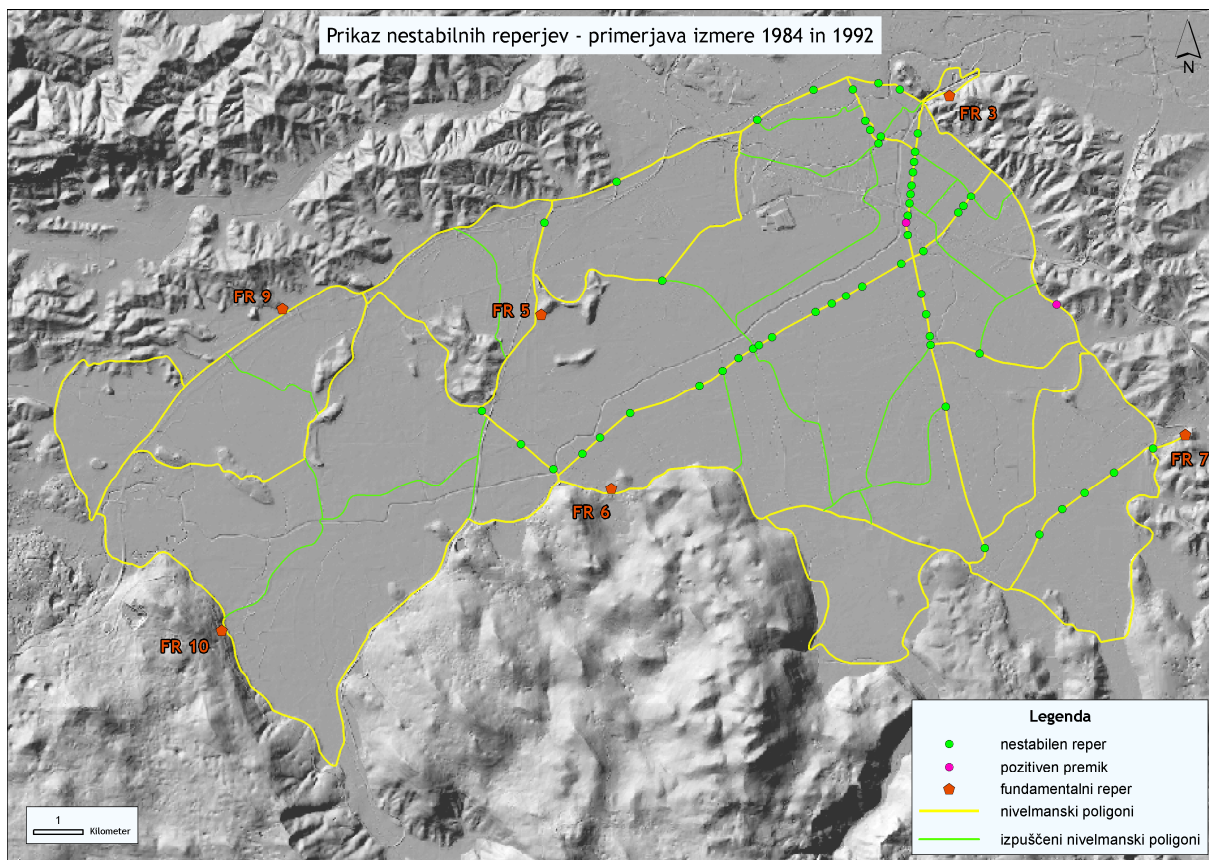
Slika 30: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1978 in 1994



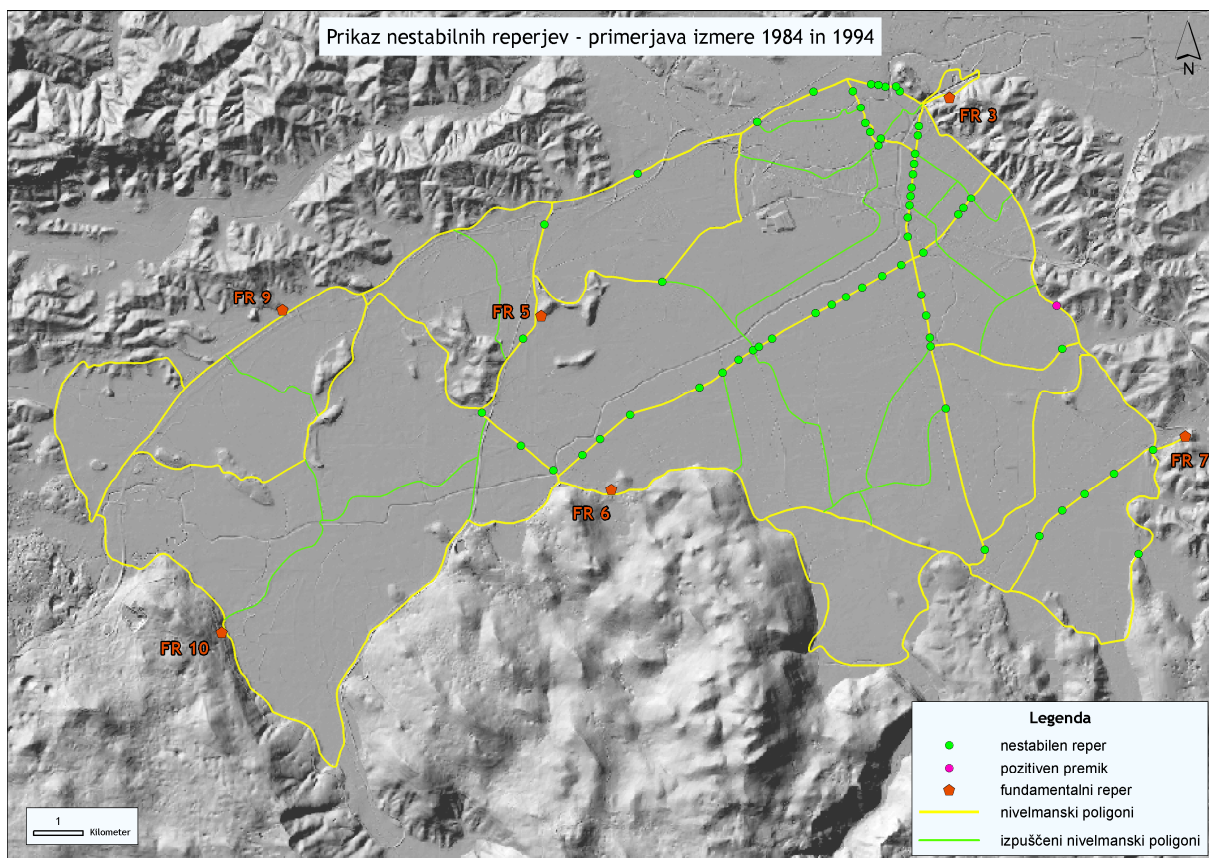
Slika 31: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1978 in 1996



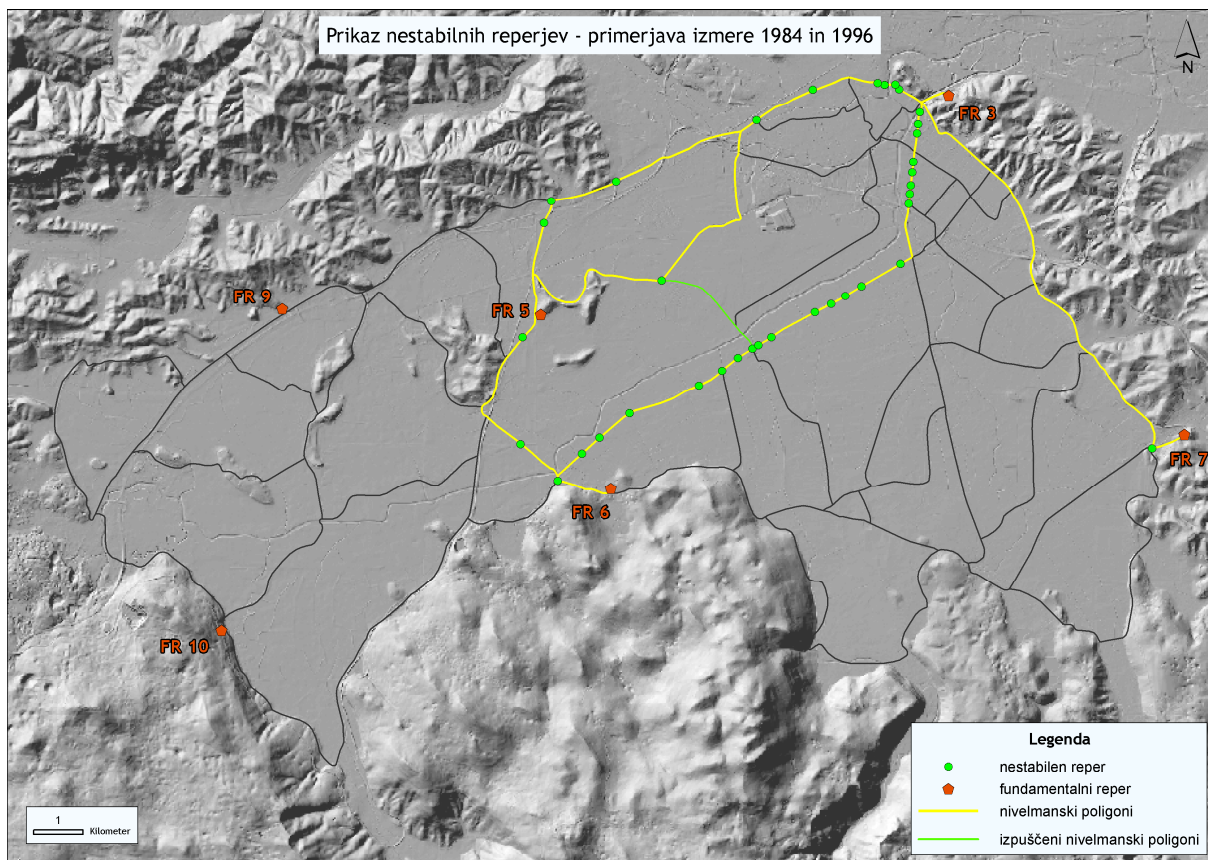
Slika 32: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1978 in 2000



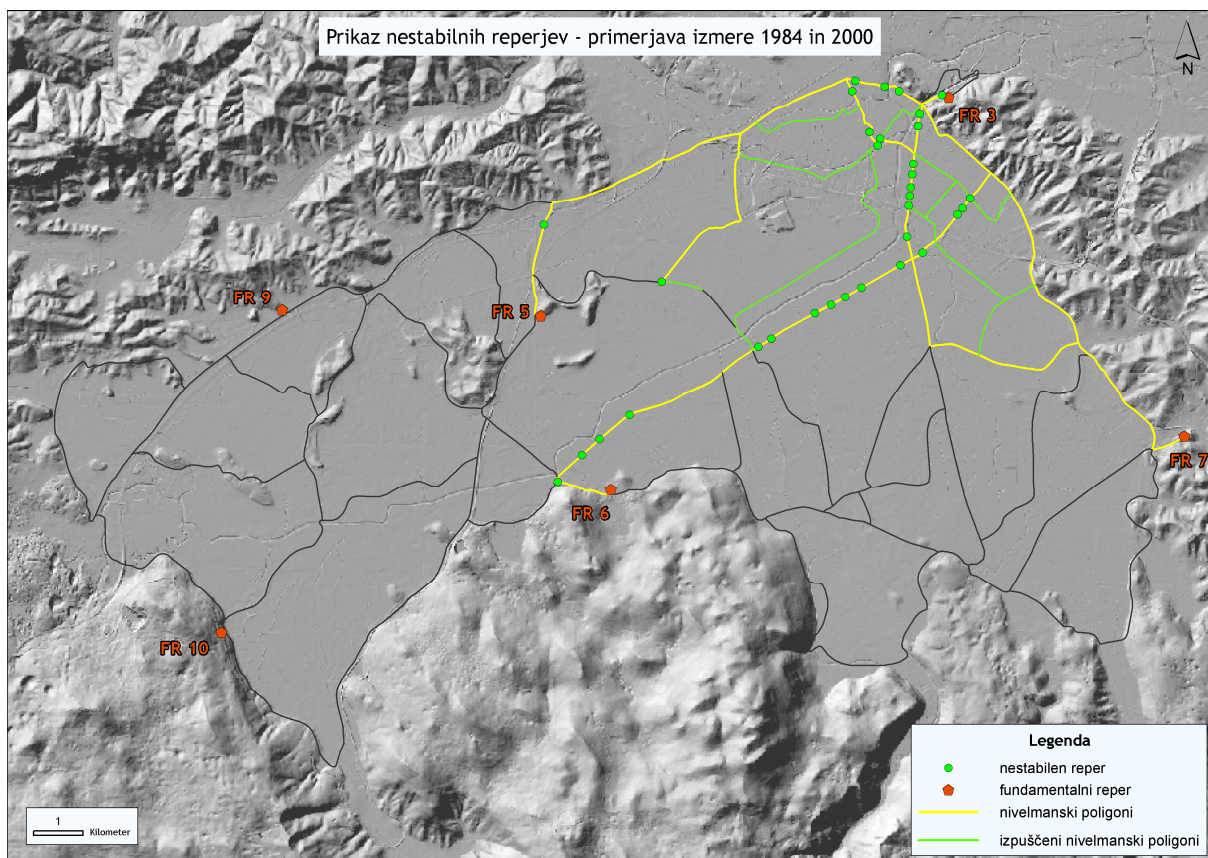
Slika 33: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1984 in 1992



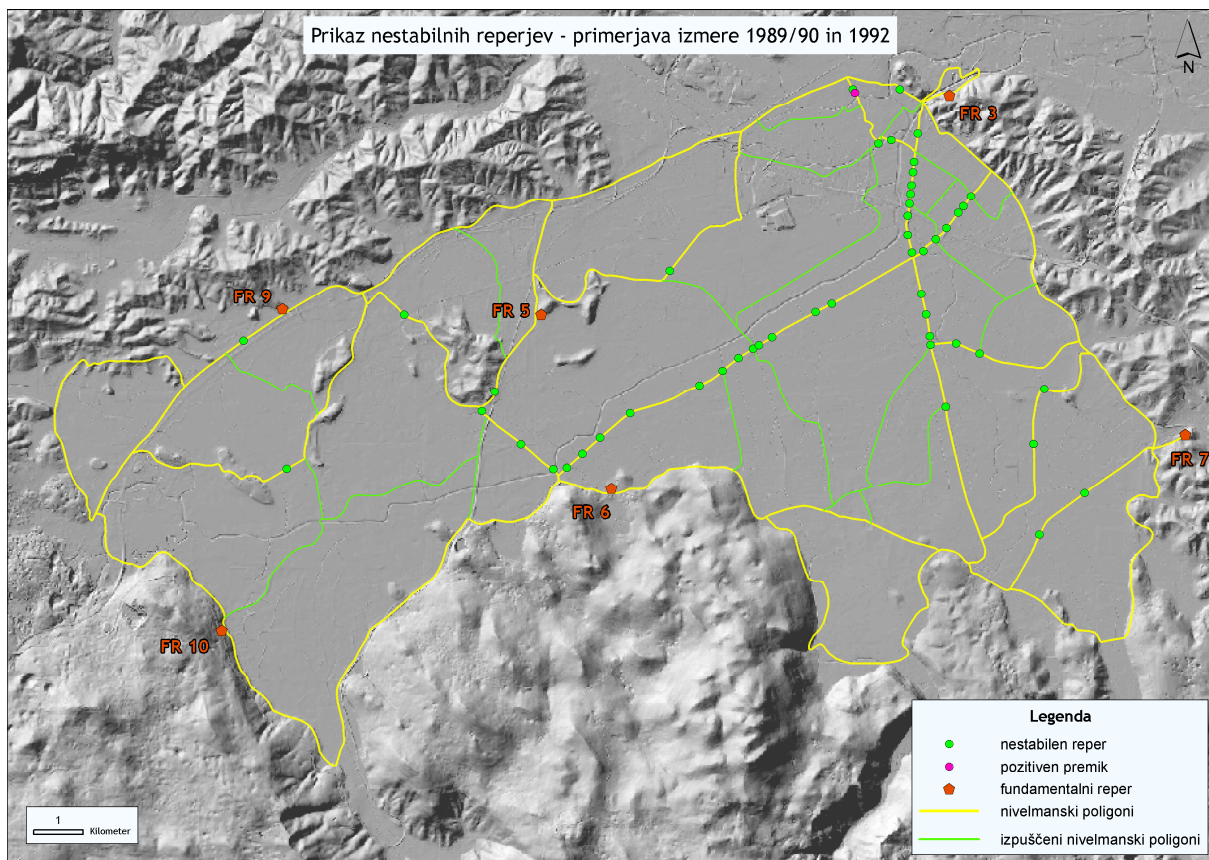
Slika 34: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1984 in 1994



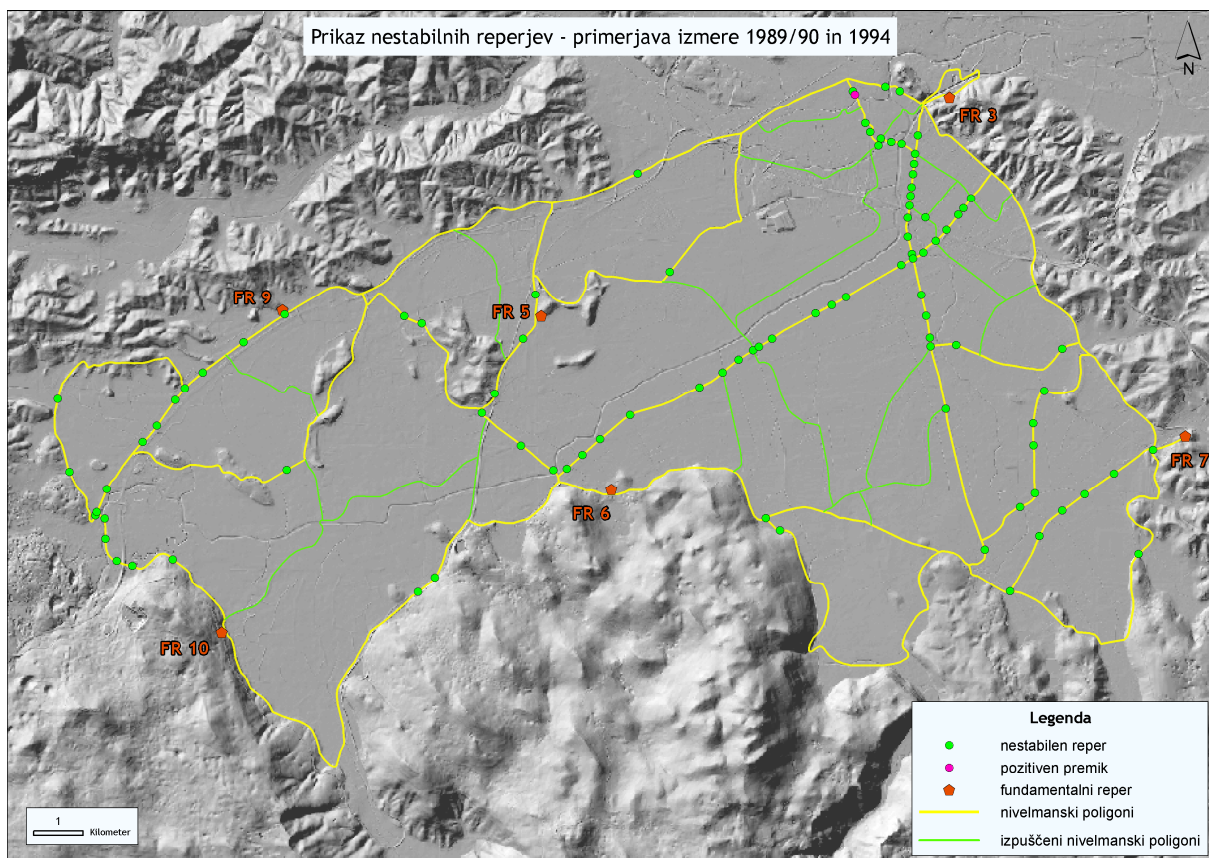
Slika 35: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1984 in 1996



Slika 36: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1984 in 2000

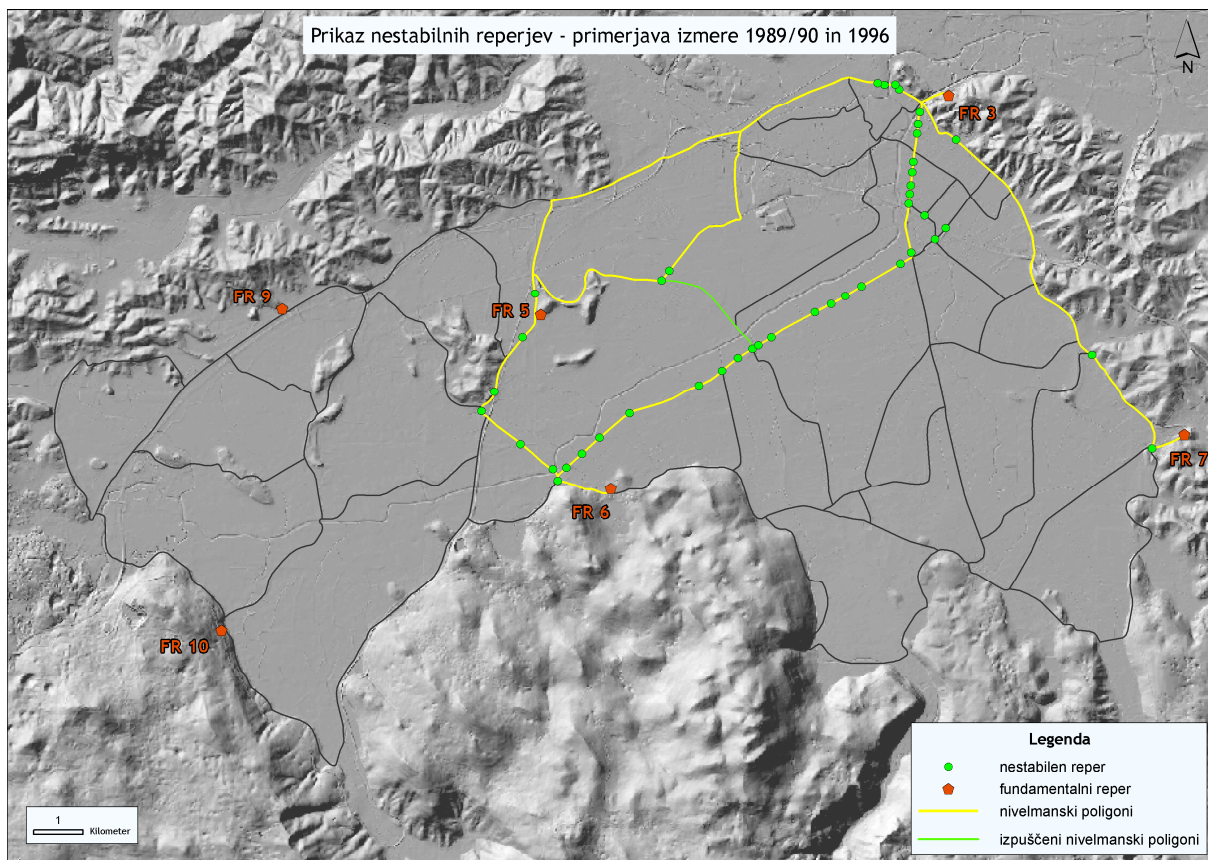


Slika 37: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1989/90 in 1992

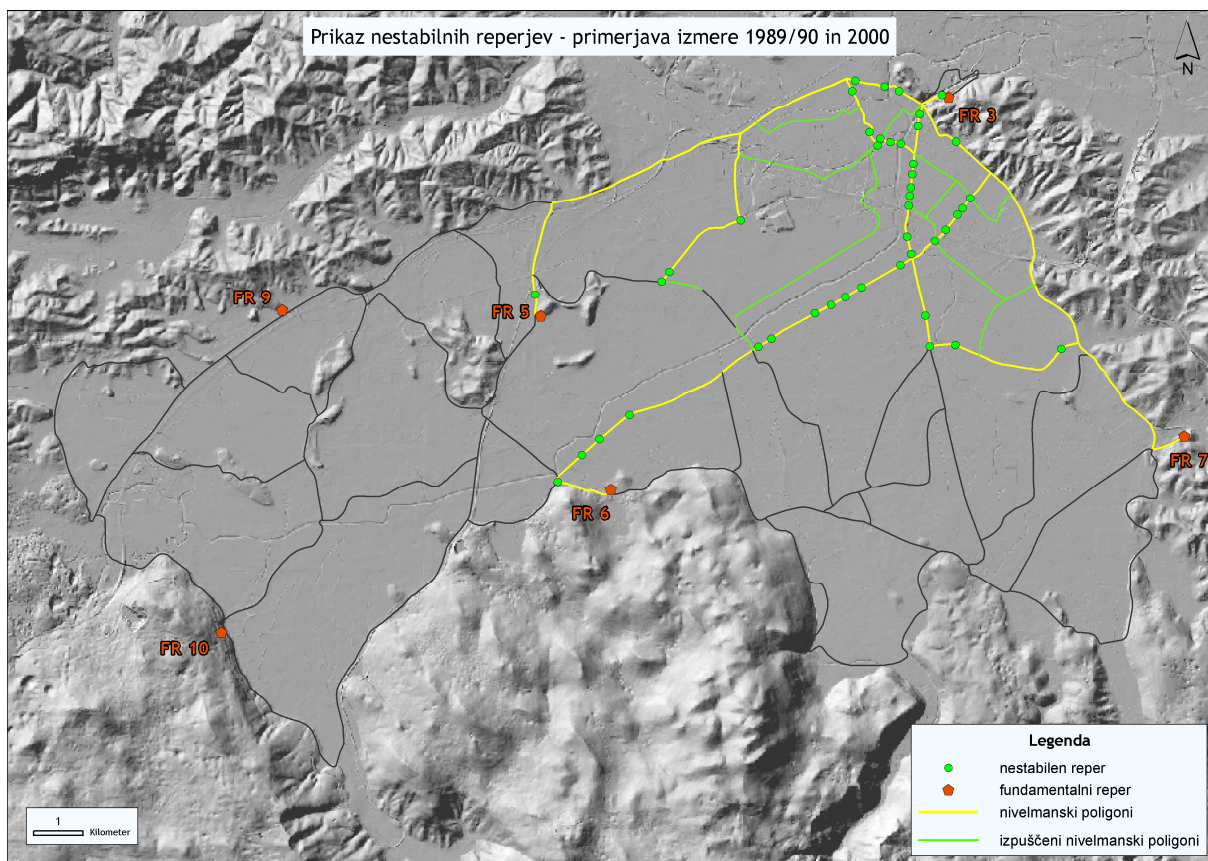




Slika 38: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1989/90 in 1994



Slika 39: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava termnske izmere 1989/90 in 1996



Slika 40: Prikaz nestabilnih reperjev – primerjava terminske izmere 1989/90 in 2000

## 6 ZAKLJUČEK

Vertikalne premike točk, določamo na osnovi izvedenih terminskih izmer nivelmanskih mrež. Po predhodni izravnavi opazovanj, lahko na podlagi izračunane višine reperja določimo vertikalne premike identičnih točk med dvema terminskima izmerama.

Za oceno stabilnosti reperjev, smo uporabili program Premik. Program določi nestabilne reperje na podlagi razmerja med vertikalnim premikom (razliko višin točk) in pripadajočo natančnostjo določitve tega premika. Kot nestabilne reperje označi tiste, pri katerih premik preseže trikratnik natančnosti določitve višinske razlike. Poleg velikosti, smo določili tudi natančnost določitve vertikalnega premika, ki je odvisna od uporabljenega instrumentarija oziroma natančnosti samih opazovanj.

Program Premik je kljub enostavni metodi določevanja vertikalnih premikov, učinkovito orodje za ugotavljanje nestabilnih reperjev. Za podrobnejšo deformacijsko analizo s programom DAH se nismo odločili, saj ta sloni na strogo določenih postopkih statistične analize. Tako je program pri statističnem testiranju homogenosti natančnosti opazovanj v primerjavi terminske izmere 1992 in 1994 prekinil deformacijsko analizo zaradi nehomogene natančnosti opazovanj. Zaradi razlike v obsegu terminskih izmer 1996 in 2000 glede na terminski izmeri 1992 in 1994, se za podrobnejšo analizo tako nismo odločili. Primerjava bi bila namreč omejena le na majhen del nivelmanske mreže.

Nestabilni reperji, ki smo jih določili, predstavljajo osnovo za nadaljnjo geološko interpretacijo geodinamičnega dogajanja. Reperji so stabilizirani v raznovrstne objekte, ki so podvrženi različnim vplivom okolja oziroma okolice (obnovitvena dela, "težek" promet v bližini objekta, ipd.). Zato sta za zanesljivo potrditev vertikalnega premika reperja potrebna terenski ogled geologa in njegova strokovna ocena primernosti objekta, v katerem je reper stabiliziran. Po opravljenem terenskem ogledu, bi tako lahko izločili nestabilne reperje, ki niso primerni za interpretacijo geodinamičnega dogajanja na območju Ljubljanskega barja. Po opravljeni geološki analizi, bi lahko izdelali tudi karto letnih poseданj, ki so posledica geodinamike na obravnavanem območju.

## VIRI

Ambrožič, T. 1996. Navodila za uporabo programa DAH, ver. 1.0, junij 1996. Interna izdaja, Ljubljana, UL FGG: 2 str.

Ambrožič, T. 2001. Deformacijska analiza po postopku Hannover. Geodetski vestnik 45, 1&2: 38-53. <http://www.geodetski-vestnik.com/45/gv45-12.pdf> (pridobljeno 12. 9. 2010).

Ambrožič, T., Turk, G. 2007. Navodila za uporabo programa VimWin, ver. 3.1, februar 1999. Interna izdaja, Ljubljana, UL FGG: 4 str.

Ambrožič, T., Turk, G., Stopar, B. 2007. Navodila za uporabo programa Premik, ver. 1.0, oktober 2007. Interna izdaja, Ljubljana, UL FGG: 3 str.

Atlas okolja. 2011.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (pridobljeno 12. 5. 2011).

Buser, S., 1969. Osnovna geološka karta SFRJ, list Ribnica, 1:100.000. Beograd, Zvezni geološki zavod.

Buser, S., Grad, K., Pleničar, M., 1967: Osnovna geološka karta SFRJ, list Postojna, 1:100.000. Beograd, Zvezni geološki zavod.

Grad, K., Ferjančič, L., 1974: Osnovna geološka karta SFRJ, list Kranj, 1:100.000. Beograd, Zvezni geološki zavod.

Kogoj, D. 2005. Geodezija II. Zapiski s predavanj. Ljubljana, UL FGG.

Kogoj, D., Stopar, B. 2008. Geodetska izmera. Strokovni izpit iz geodetske stroke. Matična sekcija geodetov.

[http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/Geodetska\\_izmera\\_2009.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Geodetska_izmera_2009.pdf)  
(pridobljeno 15. 4. 2010).

Koler, B. 1989. Analiza posedanj na Ljubljanskem barju na podlagi arhivskih podatkov višinskih izmer. Podiplomski študij. Ljubljana, UL FAGG, VTOZD gradbeništvo in geodezija, Katedra za geodezijo: 47 f.

Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. 2007. Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik 51, 4: 777-792.

Koler, B., Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Sterle, O., Stopar, B., Kogoj, D. 2010. Realizacija geodezije v geotehniki. Geodetski vestnik 54, 3: 450-468.

Kuhar, M. 2007. Geofizika. Študijski pripomoček. Ljubljana, UL FGG.

Lisec, A., Koler, B., Kuhar, M. 2003. Analiza vpliva težnostnega polja na določitev višin točk v različnih višinskih sistemih. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za geodezijo: 13 str.  
[http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG\\_04\\_Lisec\\_et\\_al.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Lisec_et_al.pdf) (pridobljeno 23. 2. 2011).

Mozetič, B., Kogoj, D., Ambrožič, T. 2006. Uporabnost izbranih metod deformacijske analize na praktičnih primerih geodetskih mrež. Geodetski vestnik 50, 4: 620-631.

Premru, U., 1983: Osnovna geološka karta SFRJ, list Ljubljana, 1:100.000. Beograd, Zvezni geološki zavod.

Republiška geodetska uprava. 1981. Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk, Uradni list SRS št. 18/1981.

Rižnar, I., Koler, B., Bavec, M. 2005. Identifikacija potencialno aktivnih struktur vzdolž reke Save na podlagi topografskih podatkov in podatkov nivelmanskega vlaka. Geologija 48, 1: 107-116

Rižnar, I., Koler, B., Bavec, M. 2007. Recentna aktivnost regionalnih geoloških struktur v zahodni Sloveniji. Geologija 50, 1: 111-120

Savšek-Safić, S. 2002. Optimalna metoda določanja stabilnih točk v deformacijski analizi. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 211 f.

Savšek-Safić, S. 2002. Ugotavljanje premikov z metodami deformacijske analize. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za geodezijo: 9 str.  
<http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Savsek2002.pdf> (pridobljeno 17. 5. 2010).

Savšek-Safić, S. 2008. Spremljanje stabilnosti Nuklearne elektrarne Krško. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za geodezijo: 13 str.  
[http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2008/SZZG2008\\_Savsek.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2008/SZZG2008_Savsek.pdf) (pridobljeno 23. 10. 2010).

Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži. Geodetski vestnik 47, 1&2: 7-17.

Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Sterle, O., Stopar, B. 2010. Geodezija v geotehniki. Geodetski vestnik 54, 1: 31-45.

Stopar, B. 2003. Izravnalni račun I. Zapiski s predavanj. Ljubljana, UL FGG.

Šepetavc, K. 2008. Izmera terestričnih geodetskih mrež na območju Krškega polja. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za geodezijo: 100 str.

Urbančič, T. 2010. Določevanje vertikalnih premikov v višinski geodetski mreži na območju Ljubljanske kotline. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za geodezijo: 75 str.

Vodopivec, F., Breznikar, A., Kogoj, D., Koler, B. 1990. Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UL FAGG, VTOZD gradbeništvo in geodezija, Katedra za geodezijo: 79 f.

Vodopivec, F., Jakljič, S. 2002. Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo: 42 str.

Vodopivec, F., Kogoj, D., Breznikar, A., Koler, B. 1992. Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UL FAGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo: 71 f.

Vodopivec, F., Kogoj, D., Goršič, J. 1985. Izmera barjanskega dela nivelmanske mreže I. reda Ljubljane. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UL FAGG, VTOZD gradbeništvo in geodezija, Katedra za geodezijo: 31 f.

Vodopivec, F., Koler, B., Breznikar, A. 1994. Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UL FAGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo: 58 f.

Vodopivec, F., Koler, B., Breznikar, A. 1997. Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo: 41 f.

## **PRILOGE**

**PRILOGA A: REZULTATI IZRAVNAVE – IZHODNE DATOTEKE PROGRAMA VIMWIN**

**PRILOGA B: REZULTATI IZ PROGRAMA PREMIK**

**PRILOGA C: DOLOČITEV VERTIKALNIH PREMIKOV ZA NIVELMANSKE IZMERE  
PRED LETOM 1992 (PREGLEDNICE)**

**PRILOGA D: DRUGE PRILOGE**

## **PRILOGA A: REZULTATI IZRAVNAVE – IZHODNE DATOTEKE PROGRAMA VIMWIN**

- A1 Izravnava terminske izmere 1992: bar\_92.rez
- A2 Izravnava terminske izmere 1994: bar\_94.rez
- A3 Izravnava terminske izmere 1996: bar\_96.rez
- A4 Izravnava terminske izmere 2000: bar\_00.rez
- A5 Ponovna izravnava terminske izmere 1992: datoteke 78\_92.rez, 84\_92.rez, 89\_92.rez
- A6 Ponovna izravnava terminske izmere 1994: datoteke 78\_94.rez, 84\_94.rez, 89\_94.rez
- A7 Ponovna izravnava terminske izmere 1996: datoteke 78\_96.rez, 84\_96.rez, 89\_96.rez
- A8 Ponovna izravnava terminske izmere 2000: datoteke 78\_00.rez, 84\_00.rez, 89\_00.rez

Izhodne datoteke z rezultati izravnave so na priloženi zgoščenci (CD).

## **PRILOGA B: DOLOČITEV VERTIKALNIH PREMIKOV ZA NIVELMANSKE IZMERE 1992 DO 2000**

B1 Izhodna datoteka programa Premik: premik\_skupaj.rez

Izhodna datoteka z rezultati iz programa Premik je na priloženi zgoščenki (CD).

B2 Povzetek izpisa iz programa Premik – preglednice nestabilnih reperjev



Preglednica B.1: Nestabilni reperji - primerjava terminskih izmer 1992 in 1994

Primerjava terminskih izmer 1992 in 1994						
Reper	dh	m_premik	T	T_krit	alfa_dej	3*m_prem.
2097	-0.0021	0.0007	-3.1565	1.96	0.16	*
218	-0.0168	0.0028	-5.9807	1.96	0	*
220	-0.0181	0.0028	-6.54	1.96	0	*
238	-0.0212	0.0022	-9.5112	1.96	0	*
39_1	-0.0112	0.0026	-4.2426	1.96	0	*
39_100	-0.0166	0.0028	-5.9614	1.96	0	*
39_11	-0.0094	0.0028	-3.4087	1.96	0.07	*
39_13	-0.01	0.0028	-3.5904	1.96	0.03	*
39_15	-0.0159	0.0028	-5.7098	1.96	0	*
39_16	-0.0162	0.0028	-5.8608	1.96	0	*
39_6	-0.0083	0.0026	-3.1262	1.96	0.18	*
39_72	-0.0081	0.0026	-3.0702	1.96	0.21	*
39_82	-0.0096	0.0027	-3.6116	1.96	0.03	*
40_17	-0.0166	0.0027	-6.0867	1.96	0	*
40_18	-0.0229	0.0027	-8.3512	1.96	0	*
40_26	-0.012	0.0027	-4.5114	1.96	0	*
40_31	-0.0416	0.0027	-15.267	1.96	0	*
40_32	-0.0363	0.0027	-13.4907	1.96	0	*
41_20	-0.0111	0.0028	-3.9986	1.96	0.01	*
41_24	-0.0128	0.0029	-4.4439	1.96	0	*
41_26	-0.0144	0.0028	-5.1084	1.96	0	*
42_15	-0.0127	0.0032	-3.9168	1.96	0.01	*
42_3	-0.0094	0.0024	-3.8763	1.96	0.01	*
42_4	-0.0174	0.0025	-6.8349	1.96	0	*
42_43	-0.0525	0.0023	-22.471	1.96	0	*
42_44	-0.0155	0.003	-5.2406	1.96	0	*
42_57	-0.0172	0.0027	-6.4189	1.96	0	*
42_58	-0.0332	0.0027	-12.2045	1.96	0	*
42_8	-0.0167	0.0027	-6.0998	1.96	0	*
42_9	-0.018	0.0028	-6.529	1.96	0	*
51_11	-0.0073	0.0017	-4.4023	1.96	0	*
51_14	-0.0095	0.0021	-4.5451	1.96	0	*
51_3	-0.0034	0.001	-3.5301	1.96	0.04	*
51_8	-0.0209	0.0019	-10.8596	1.96	0	*
52_13	0.0042	0.0013	3.1312	1.96	0.17	*
53_6	-0.0507	0.0031	-16.2218	1.96	0	*
54_2	-0.0155	0.0021	-7.2568	1.96	0	*
54_24	-0.0149	0.0029	-5.0865	1.96	0	*
5643	-0.0094	0.0027	-3.4497	1.96	0.06	*
5644	-0.0166	0.0027	-6.0599	1.96	0	*
5741	-0.0082	0.0026	-3.2016	1.96	0.14	*
5838	-0.0079	0.002	-3.9096	1.96	0.01	*
5878	-0.0139	0.0027	-5.2419	1.96	0	*
73	-0.0199	0.0027	-7.3837	1.96	0	*
900_11	-0.0208	0.0027	-7.638	1.96	0	*
900_14	-0.0213	0.0026	-8.2208	1.96	0	*
900_4	-0.0127	0.0029	-4.3395	1.96	0	*
900_5	-0.0092	0.0029	-3.1656	1.96	0.15	*

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice B.1

900_7A	-0.0154	0.0028	-5.4856	1.96	0	*
900_8	-0.0152	0.0028	-5.4302	1.96	0	*
901_4	-0.0119	0.0033	-3.5908	1.96	0.03	*
901_7	-0.0111	0.0033	-3.3989	1.96	0.07	*
902_1	-0.0122	0.0034	-3.6298	1.96	0.03	*
902_1A	-0.0108	0.0034	-3.2173	1.96	0.13	*
902_2A	-0.0122	0.0034	-3.6158	1.96	0.03	*
902_3	-0.0103	0.0034	-3.0393	1.96	0.24	*
902_5	-0.0115	0.0034	-3.3515	1.96	0.08	*
902_8	-0.0151	0.0035	-4.3543	1.96	0	*
908_8	-0.0132	0.0029	-4.5985	1.96	0	*

Preglednica B.2: Nestabilni reperji - primerjava terminskih izmer 1992 in 1996

Primerjava terminskih izmer 1992 in 1996						
Reper	dh	m_premik	T	T_krit	alfa_dej	3*m_prem.
220	-0.0479	0.0033	-14.5125	1.96	0	*
238	-0.0604	0.0029	-20.7523	1.96	0	*
39_100	-0.0341	0.0034	-9.9586	1.96	0	*
39_102	-0.0089	0.0028	-3.1546	1.96	0.16	*
39_11	-0.0235	0.0035	-6.6704	1.96	0	*
39_13	-0.0214	0.0035	-6.13	1.96	0	*
39_15	-0.0387	0.0034	-11.4768	1.96	0	*
39_16	-0.0443	0.0033	-13.458	1.96	0	*
39_5	-0.0169	0.0036	-4.6613	1.96	0	*
39_6	-0.024	0.0037	-6.5634	1.96	0	*
39_72	-0.0239	0.0036	-6.5761	1.96	0	*
39_81	-0.0085	0.0027	-3.1409	1.96	0.17	*
39_82	-0.0272	0.0037	-7.4202	1.96	0	*
39_86	-0.0105	0.0027	-3.8579	1.96	0.01	*
39_97	-0.0183	0.0028	-6.4977	1.96	0	*
40_10	-0.0115	0.0036	-3.1739	1.96	0.15	*
40_31	-0.1007	0.0037	-27.3137	1.96	0	*
40_32	-0.0755	0.0037	-20.6588	1.96	0	*
41_2	-0.0134	0.0036	-3.6969	1.96	0.02	*
42_3	-0.0242	0.0031	-7.8632	1.96	0	*
42_4	-0.032	0.0032	-10.0466	1.96	0	*
42_43	-0.1264	0.003	-42.0735	1.96	0	*
42_57	-0.036	0.0033	-10.9705	1.96	0	*
42_58	-0.0944	0.0033	-28.6151	1.96	0	*
42_8	-0.0373	0.0033	-11.3013	1.96	0	*
42_9	-0.0435	0.0033	-13.1821	1.96	0	*
51_11	-0.0152	0.0022	-6.7742	1.96	0	*
51_14	-0.0249	0.0028	-9.0008	1.96	0	*
51_8	-0.0447	0.0026	-17.4931	1.96	0	*
5741	-0.0165	0.0035	-4.736	1.96	0	*
5755	-0.0142	0.0035	-4.0306	1.96	0.01	*
5878	-0.0394	0.0037	-10.7552	1.96	0	*
73	-0.0365	0.0033	-11.1073	1.96	0	*

Preglednica B.3: Nestabilni reperji - primerjava terminskih izmer 1992 in 2000

Primerjava terminskih izmer 1992 in 2000						
Reper	dh	m_premik	T	T_krit	alfa_dej	3*m_prem.
39_1	-0.0314	0.0052	-6.06	1.96	0	*
39_11	-0.0328	0.0056	-5.8543	1.96	0	*
39_13	-0.028	0.0057	-4.9445	1.96	0	*
39_15	-0.0506	0.0058	-8.7694	1.96	0	*
39_16	-0.0582	0.0058	-9.9736	1.96	0	*
39_5	-0.0215	0.005	-4.3151	1.96	0	*
39_6	-0.0363	0.0051	-7.177	1.96	0	*
39_72	-0.0303	0.005	-6.0471	1.96	0	*
39_82	-0.0402	0.0051	-7.9051	1.96	0	*
39_86	-0.0145	0.0048	-3.0352	1.96	0.24	*
39_97	-0.0251	0.0045	-5.5575	1.96	0	*
40_17	-0.0569	0.0053	-10.7984	1.96	0	*
40_18	-0.0841	0.0053	-15.9728	1.96	0	*
40_31	-0.1274	0.0053	-24.223	1.96	0	*
40_32	-0.0861	0.0052	-16.4281	1.96	0	*
41_2	-0.0218	0.0052	-4.1876	1.96	0	*
41_20	-0.044	0.0055	-8.0508	1.96	0	*
41_24	-0.0512	0.0057	-8.987	1.96	0	*
41_26	-0.0581	0.0056	-10.4016	1.96	0	*
41_30	-0.7239	0.006	*****	1.96	0	*
42_3	-0.0415	0.0063	-6.6256	1.96	0	*
42_4	-0.0456	0.0062	-7.3636	1.96	0	*
42_43	-0.1672	0.0063	-26.4758	1.96	0	*
42_57	-0.0454	0.0061	-7.4945	1.96	0	*
42_58	-0.119	0.006	-19.8871	1.96	0	*
51_12	0.0015	0.0002	7.166	1.96	0	*
5644	-0.0472	0.0053	-8.9753	1.96	0	*
5741	-0.0174	0.0048	-3.6146	1.96	0.03	*
5755	-0.0161	0.0049	-3.3034	1.96	0.1	*
5878	-0.0582	0.0051	-11.3907	1.96	0	*

Preglednica B.4: Nestabilni reperji - primerjava terminskih izmer 1994 in 1996

Primerjava terminskih izmer 1994 in 1996						
Reper	dh	m_premik	T	T_krit	alfa_dej	3*m_prem.
220	-0.0298	0.0026	-11.313	1.96	0	*
238	-0.0392	0.0024	-16.141	1.96	0	*
39_100	-0.0176	0.0028	-6.3056	1.96	0	*
39_102	-0.0097	0.0024	-4.072	1.96	0	*
39_11	-0.0141	0.0029	-4.8359	1.96	0	*
39_13	-0.0114	0.0029	-3.9902	1.96	0.01	*
39_15	-0.0229	0.0027	-8.4038	1.96	0	*
39_16	-0.0281	0.0026	-10.7044	1.96	0	*
39_5	-0.0114	0.0031	-3.6787	1.96	0.02	*
39_6	-0.0157	0.0031	-5.0429	1.96	0	*
39_72	-0.0159	0.0031	-5.1016	1.96	0	*
39_77	-0.0071	0.0023	-3.0427	1.96	0.23	*
39_81	-0.0073	0.0023	-3.2003	1.96	0.14	*

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice B.2

39_82	-0.0176	0.0031	-5.6395	1.96	0	*
39_86	-0.0073	0.0023	-3.1943	1.96	0.14	*
39_97	-0.0126	0.0023	-5.381	1.96	0	*
40_31	-0.0591	0.0031	-18.96	1.96	0	*
40_32	-0.0392	0.0031	-12.6434	1.96	0	*
42_3	-0.0149	0.0025	-5.8421	1.96	0	*
42_4	-0.0146	0.0026	-5.6129	1.96	0	*
42_43	-0.074	0.0025	-29.6912	1.96	0	*
42_57	-0.0188	0.0027	-7.0851	1.96	0	*
42_58	-0.0612	0.0027	-23.0426	1.96	0	*
42_8	-0.0206	0.0027	-7.7807	1.96	0	*
42_9	-0.0255	0.0026	-9.6667	1.96	0	*
51_11	-0.0079	0.0019	-4.1417	1.96	0	*
51_12	-0.0005	0.0001	-3.5124	1.96	0.04	*
51_14	-0.0154	0.0023	-6.6298	1.96	0	*
51_8	-0.0238	0.0021	-11.0798	1.96	0	*
52_13	-0.0058	0.0015	-3.9382	1.96	0.01	*
52_8	-0.0068	0.0021	-3.2164	1.96	0.13	*
5755	-0.0101	0.003	-3.3492	1.96	0.08	*
5878	-0.0255	0.0031	-8.1737	1.96	0	*
73	-0.0166	0.0027	-6.2604	1.96	0	*
40_23	-0.0163	0.0031	-5.218	1.96	0	*

Preglednica B.5: Nestabilni reperji - primerjava terminskih izmer 1994 in 2000

Primerjava terminskih izmer 1994 in 2000						
Reper	dh	m_premik	T	T_krit	alfa_dej	3*m_prem.
39_1	-0.0201	0.0048	-4.1801	1.96	0	*
39_102	-0.0125	0.0038	-3.2819	1.96	0.1	*
39_11	-0.0234	0.0052	-4.4625	1.96	0	*
39_13	-0.0181	0.0053	-3.4055	1.96	0.07	*
39_15	-0.0348	0.0054	-6.4185	1.96	0	*
39_16	-0.042	0.0055	-7.6542	1.96	0	*
39_5	-0.016	0.0046	-3.4678	1.96	0.05	*
39_6	-0.028	0.0047	-5.9845	1.96	0	*
39_72	-0.0222	0.0046	-4.7906	1.96	0	*
39_82	-0.0306	0.0047	-6.5023	1.96	0	*
39_97	-0.0194	0.0042	-4.5815	1.96	0	*
40_17	-0.0402	0.0049	-8.2438	1.96	0	*
40_18	-0.0612	0.0049	-12.5654	1.96	0	*
40_31	-0.0858	0.0049	-17.5954	1.96	0	*
40_32	-0.0498	0.0049	-10.2218	1.96	0	*
41_2	-0.0165	0.0049	-3.4055	1.96	0.07	*
41_20	-0.0329	0.0051	-6.467	1.96	0	*
41_24	-0.0384	0.0053	-7.2354	1.96	0	*
41_26	-0.0437	0.0052	-8.3981	1.96	0	*
41_30	-0.7192	0.0056	*****	1.96	0	*
42_3	-0.0322	0.006	-5.3398	1.96	0	*
42_4	-0.0282	0.0059	-4.7741	1.96	0	*
42_43	-0.1147	0.0061	-18.8453	1.96	0	*

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice B.5

42_57	-0.0282	0.0057	-4.9156	1.96	0	*
42_58	-0.0858	0.0057	-15.1762	1.96	0	*
51_12	0.0014	0.0002	7.7068	1.96	0	*
5644	-0.0306	0.0049	-6.2989	1.96	0	*
5878	-0.0443	0.0047	-9.3555	1.96	0	*
39_103	-0.0639	0.0048	-13.3255	1.96	0	*
41_32	-0.0526	0.0058	-9.0184	1.96	0	*

Preglednica B.6: Nestabilni reperji - primerjava terminskih izmer 1996 in 2000

<b>Primerjava terminskih izmer 1996 in 2000</b>						
<b>Reper</b>	<b>dh</b>	<b>m_premik</b>	<b>T</b>	<b>T_krit</b>	<b>alfa_dej</b>	<b>3*m_prem.</b>
40_31	-0.0267	0.0055	-4.8797	1.96	0	*
42_43	-0.0407	0.0064	-6.3893	1.96	0	*
42_58	-0.0246	0.006	-4.1302	1.96	0	*
51_12	0.0019	0.0002	8.6048	1.96	0	*
5878	-0.0188	0.0054	-3.5075	1.96	0.05	*

**PRILOGA C: DOLOČITEV VERTIKALNIH PREMIKOV ZA NIVELMANSKE IZMERE  
PRED LETOM 1992 (PREGLEDNICE)**

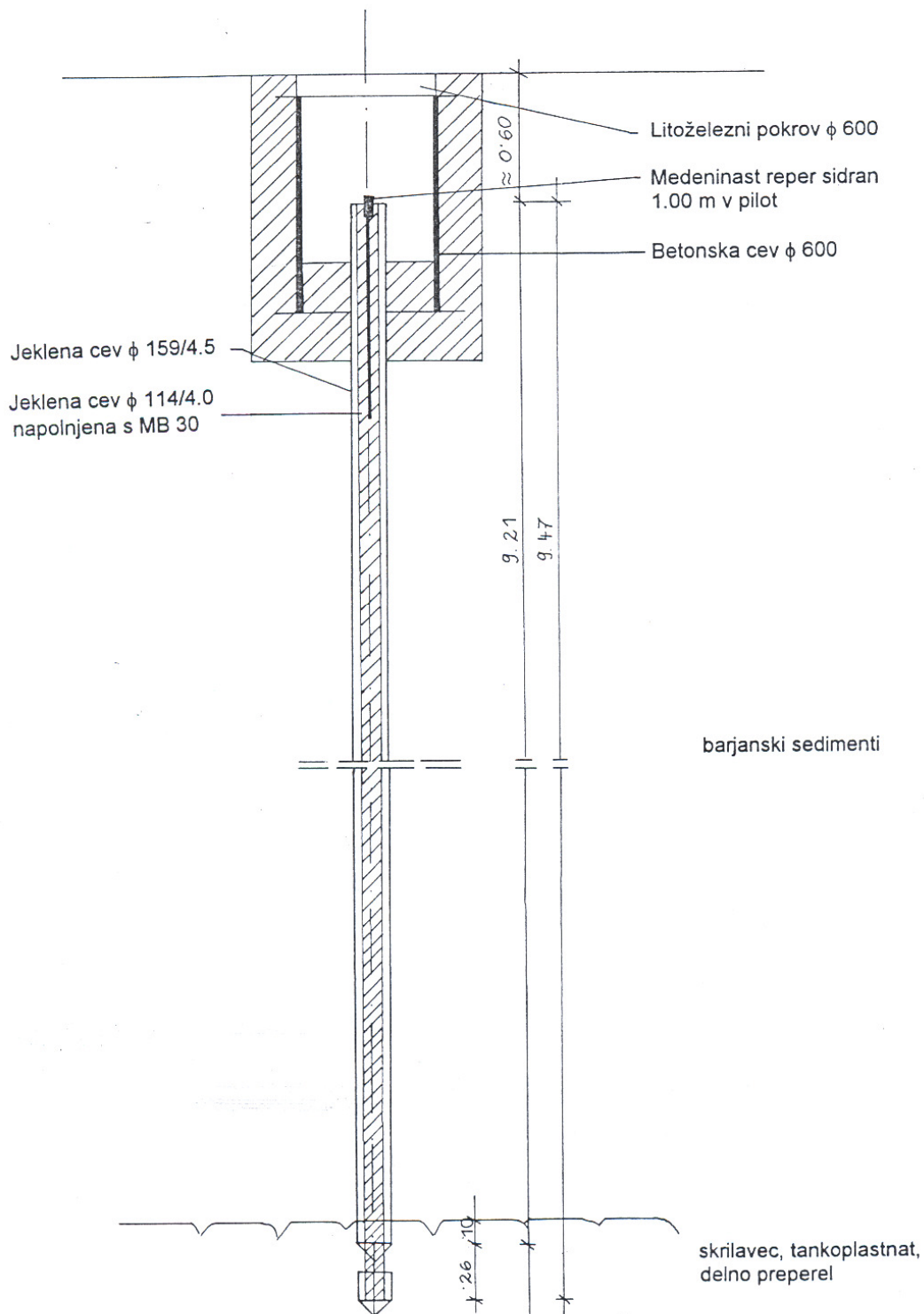
- C1 Primerjava terminske izmere 1978 z izmerami iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000
- C2 Primerjava terminske izmere 1984 z izmerami iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000
- C3 Primerjava terminske izmere 1989/90 z izmerami iz leta 1992, 1994, 1996 in 2000

## **PRILOGA D: DRUGE PRILOGE**

### D1 Skice repernih pilotov – globinski reperji R1, R2 in R3

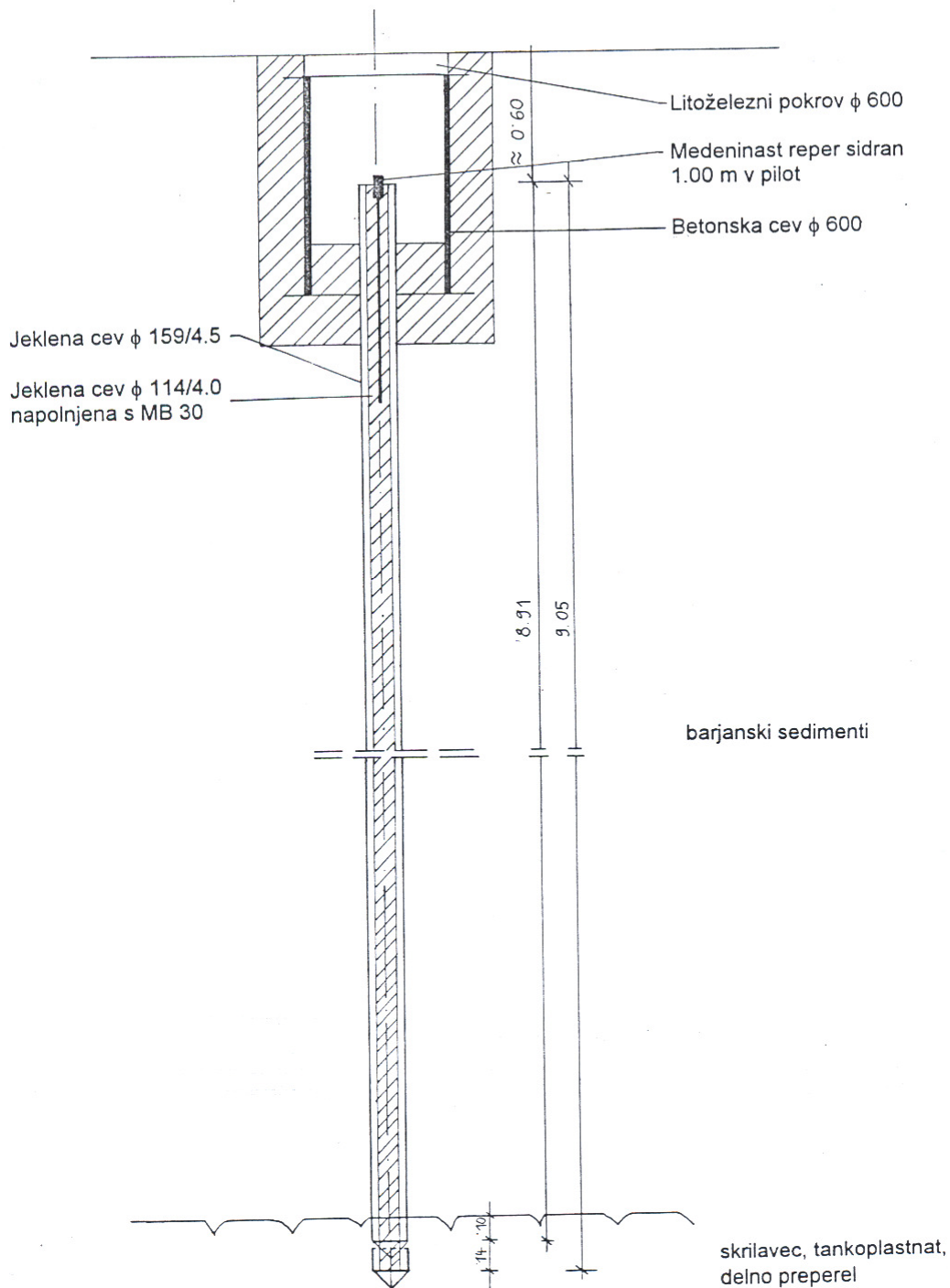
Globinski reperji so stabilizirani s pomočjo takoimenovanih repernih pilotov. Globinska reperja R1 in R2 sta stabilizirana na križišču Ižanske in Jurčkove ceste, globinski reper R3 pa je stabiliziran ob vznožju brežine priključka Peruzzijeve ceste na avtocesto – smer Zagreb.

### REPERNI PILOT R1 JURČKOVA LEVO M 1:25



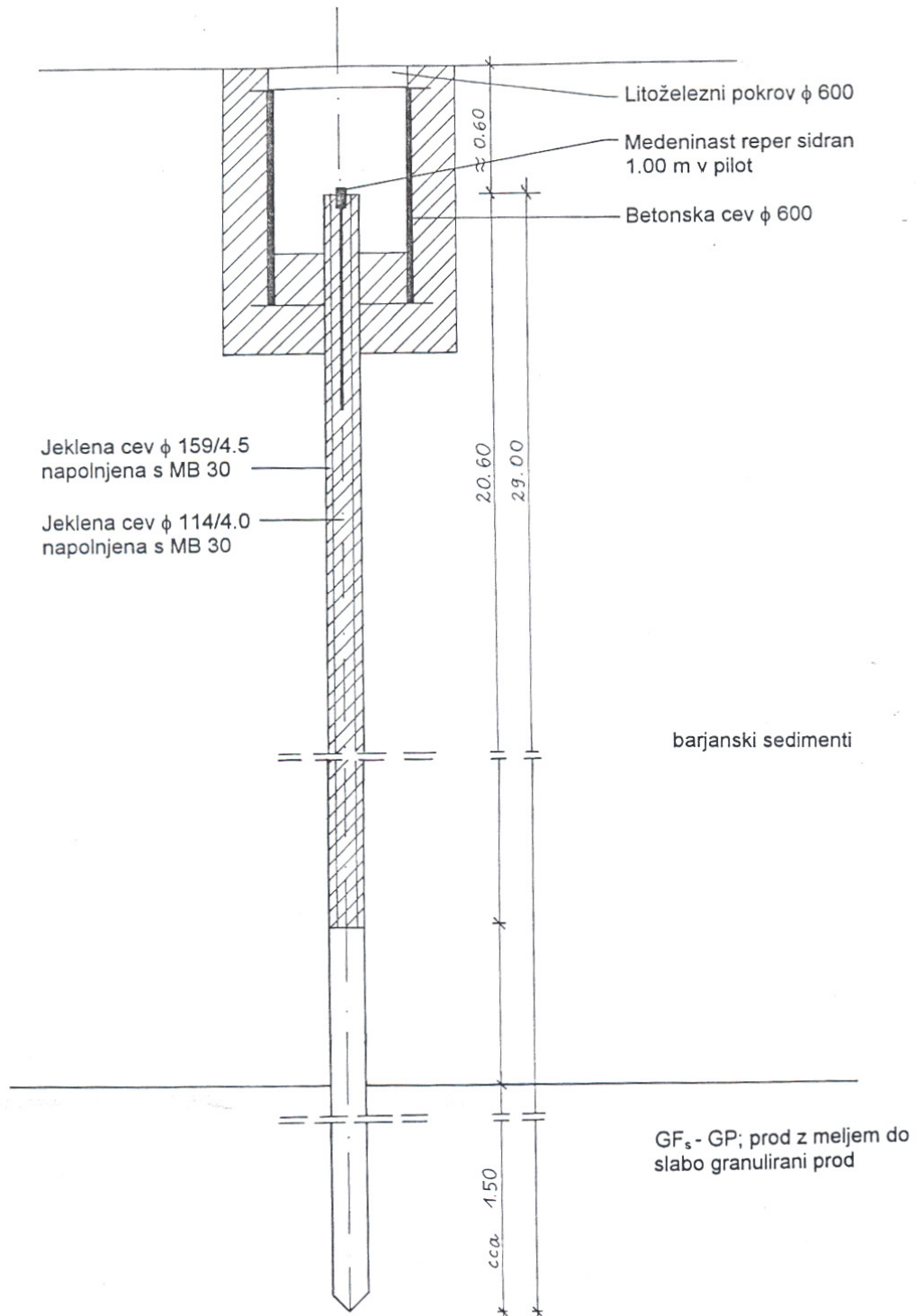
Slika E.1: Globinski reper R1



REPERNI PILOT R2 JURČKOVA DESNO  
M 1:25

Slika E.2: Globinski reper R2

### REPERNI PILOT R3 PERUZIJEVA - AVTOCESTA M 1:25



Slika E.3: Globinski reper R3