

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 študij geodezije,
Geodezija

Kandidat:

Tilen Urbančič

Določitev vertikalnih premikov v višinski geodetski mreži na območju Ljubljanske kotline

Diplomska naloga št.: 841

Mentor:

doc. dr. Božo Koler

Somentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Ljubljana, 2010

Stran za popravke, Errata

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **TILEN URBANČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»DOLOČITEV VERTIKALNIH PREMIKOV VIŠINSKE GEDETSKE MREŽE NA
OBMOČJU LJUBLJANSKE KOTLINE«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 3.9.2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji geodetske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.33(497.4)(043.2)

Avtor: Tilen Urbančič

Mentor: doc. dr. Božo Koler

Somentor: izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Naslov: Določitev vertikalnih premikov v višinski geodetski mreži na območju Ljubljanske kotline

Obseg in oprema: 73 str., 15 preg., 11 sl., 51 en., 3 pril.

Ključne besede: izravnava, nivelmanska mreža, vertikalni premiki, deformacijska analiza, statistično testiranje, Ljubljanska kotlina

Izvleček:

V diplomski nalogi so predstavljeni postopek, rezultati in ugotovitve določitve vertikalnih premikov reperjev višinskih geodetskih mrež na območju Ljubljanske kotline. Vertikalne premike, ki jih pripisujemo geotektonskemu dogajanju, lahko enostavno določimo s postopkom niveliranja, ki je najnatančnejša metoda določevanja višinskih razlik med geodetskimi točkami. Vertikalni premiki reperjev mestne nivelmanske mreže Ljubljana, ki obsega Ljubljano s širšo okolico, so določeni s primerjavo štirih terminskih izmer. Predstavljeni so postopek in rezultati izravnave posameznih nivelmanskih mrež oz. nivelmanskih poligonov, rezultati določitve nestabilnih reperjev s programom PREMİK ter rezultati statističnega testiranja stabilnosti nivelmanske mreže po postopku deformacijske analize Hannover z uporabo programa DAH.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.33(497.4)(043.2)

Author: Tilen Urbančič

Supervisor: Assist. Prof. Božo Koler

Co-supervisor: Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič

Title: The determination of the vertical displacements in the levelling networks on the area of the Ljubljana basin

Notes: 73 p., 15 tab., 11 fig., 51 eq., 3 ann.

Key words: adjustment, levelling network, vertical displacements, deformation analysis, statistic testing, Ljubljana basin

Abstract:

In graduate thesis proceedings, results and ascertainments of determination of the vertical displacements in levelling networks on the area of the Ljubljana basin are presented. Vertical displacements are consequence of geotectonic movements and can be measured with leveling method. This is the most accurate and very easy method for determination of height difference between two geodetic points. Vertical displacements of Ljubljana city levelling network are determine with comparison between four term measurements. The Ljubljana city leveling network includes the city of Ljubljana with its surroundings. Adjustment proceedings and results of individual leveling networks or leveling lines are presented. Results of adjustment are processed with two softwares. Unstable vertical points are determined in software PREMIK, stability of leveling network is statistically tested with software DAH (Deformation Analysis Hannover).

ZAHVALA

Za pomoč, nasvete in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Božu Kolerju in somentorju izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču.

Zahvalil bi se tudi staršema, Mateji in ostalim sošolcem za vzpodbudo ter zabavno in prijetno preživljanje študentskih let.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 TEORETIČNE OSNOVNE	3
2.1 Nivojske ploskve	3
2.1.1 Mareograf	4
2.1.2 Vertikalni datum nivelmanske mreže Slovenije	5
2.2 Višinski sistemi	6
3 KLASIFIKACIJA NIVELMANA	12
3.1 Razdelitev nivelmanskih mrež	12
3.2 Stabilizacija nivelmanskih točk	13
3.3 Oštevilčba nivelmanskih točk	15
3.4 Razdelitev reperjev po namenu	16
4 DOPUSTNA Odstopanja in ocena natančnosti	18
4.1 Dopustna odstopanja	18
4.2 Ocena natančnosti	18
5 IZMERE NIVELMANSKIH MREŽ NA OBMOČJU LJUBLJANSKE KOTLINE ...	21
5.1 Izmere nivelmanskih mrež višjih redov na območju Republike Slovenije	21
5.1.1 Avstro-ogrski nivelman	21
5.1.2 Prvi nivelman velike natančnosti – I. NVN	22
5.1.3 Drugi nivelman velike natančnosti – II. NVN	23
5.1.4 Niveliranje posameznih nivelmanskih poligonov višjih redov po letu 1980	24

5.2 Izmere mestnih nivelmanskih mrež Ljubljana	25
5.2.1 Izmere v času Avstro-ogrske	25
5.2.2 Izmere v letih 1940 in 1941.....	27
5.2.3 Izmera mestne nivelmanske mreže med leti 1962 in 1965	28
5.2.4 Izmera nivelmanske mreže na območju Medvod.....	32
5.2.5 Izmera in dopolnitev mestne nivelmanske mreže v letih 1971 do 1976	32
5.2.6 Prvi del sanacije mestne nivelmanske mreže leta 1994	33
5.2.7 Drugi del sanacije mestne nivelmanske mreže leta 2000.....	35
5.2.8 Ocena natančnosti izmer mestne nivelmanske mreže Ljubljana.....	35
6 IZRAVNAVA NIVELMANSKIH MREŽ.....	37
6.1 Metoda najmanjših kvadratov.....	38
6.1.1 Uteži opazovanj	38
6.2 Pogojna izravnava	39
6.3 Posredna izravnava	41
6.4 Izravnava s programom VimWin.....	43
6.4.1 Izravnava mestne nivelmanske mreže izmerjene v letih 1962 do 1965	44
6.4.2 Izravnava mestne nivelmanske mreže izmerjene v letih 1971 do 1976	47
6.4.3 Izravnava izmere dela mestne nivelmanske mreže izmerjene leta 1994	49
6.4.4 Izravnava izmere dela mestne nivelmanske mreže izmerjene leta 2000	49
6.4.5 Urejanje datotek.....	50
7 DEFORMACIJSKA ANALIZA	52
7.1 Določitev vertikalnih premikov s programom PREMIK	53
7.1.1 Določitev premikov s programom PREMIK med izmero med leti 1962 in 1965 ter izmero med leti 1971 in 1976.....	56

7.1.2 Določitev premikov s programom PREMIK med izmero med leti 1962 in 1965 ter izmero leta 1994	58
7.1.3 Določitev premikov s programom PREMIK med izmero med leti 1962 in 1965 ter izmero leta 2000	60
7.1.4 Določitev premikov s programom PREMIK med izmero med leti 1971 in 1976 ter izmero leta 1994	61
7.1.5 Določitev premikov s programom PREMIK med izmero med leti 1971 in 1976 ter izmero leta 2000	62
7.1.6 Določitev premikov s programom PREMIK med izmero med leti 1971 in 1975 ter izmerama leta 2007 in 2009	65
7.2 Deformacijska analiza Hannover	66
7.2.1 Uporaba deformacijske analize – program DAH	68
7.2.2 Predstavitev in ocena rezultatov	69
8 ZAKLJUČEK	72
VIRI.....	74

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Nivelmanski poligoni avstro-ogrske izmere na območju Ljubljanske kotline .	22
Preglednica 2: Nivelmanski poligoni I. NVN na območju Ljubljanske kotline.....	23
Preglednica 3: Nivelmanski poligoni II. NVN na območju Ljubljanske kotline	23
Preglednica 4: Nivelmanski poligoni državne mreže višjih redov izmerjeni po letu 1970	25
Preglednica 5: Natančnosti obeh izmer (Breznikar et al., 1994, Vidmar et al., 1994)	34
Preglednica 6: Oceno natančnosti posameznih izmer mestne nivelmanske mreže Ljubljana .	36
Preglednica 7: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank (1962-1965)	46
Preglednica 8: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank (1971-1976)	48
Preglednica 9: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1962-65 in 1971-76	56
Preglednica 10: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1962-65 in 1994.....	59
Preglednica 11: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1962-65 in 2000.....	60
Preglednica 12: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1971-76 in 1994.....	61
Preglednica 13: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1971-76 in 2000.....	63
Preglednica 14: Primerjava št. premaknjenih reperjev – PREMİK in PREMİK2.5	64
Preglednica 15: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1971-75 in 2007-09.....	65

KAZALO SLIK

Slika 1: Nevzporednost nivojskih ploskev	3
Slika 2: Mehanska postaja Koper	5
Slika 3: Normalni reper nivelmanske mreže Republike Slovenije	6
Slika 4: Višinski sistemi	9
Slika 5: Tipi reperjev – dimenzije so v cm (RGU, 1981)	14
Slika 6: Nivelmanski poligoni avstro – ogrskega nivelmana leta 1896 (Vodopivec, 1972)....	26
Slika 7: Precizni mestni nivelman iz leta 1941 (Vodopivec, 1972)	27
Slika 8: Mestna nivelmanska mreža iz let 1962-1965 (Vodopivec, 1972)	30
Slika 9: Skica lokacije fundamentalnega reperja FR 4 (FR 1014)	31
Slika 10: Fundamentalni reper FR 4 (FR 1014)	32
Slika 11: Območja premikov v mestni nivelmanski mreži Ljubljana.....	64

1 UVOD

Območje Ljubljanske kotline leži na potresno oz. geodinamično aktivnem območju. V preteklosti so bile na območju mesta Ljubljane ter ostalega dela Ljubljanske kotline opravljene številne raziskave in analize geodinamičnega dogajanja. Geotektonski premiki nastajajo vzdolž tektonskih prelomnic. Spremljanje in določevanje velikosti enodimenzionalnih, dvodimenzionalnih in trodimenzionalnih premikov, ki so nastali zaradi geodinamičnega dogajanja, lahko opravimo tudi z geodetskimi meritvami.

Vertikalne premike lahko zelo natančno in relativno poceni določimo s primerjavo večih terminskih izmer nivelmanskih mrež ali nivelmanskih poligonov višjih redov, ki potekajo preko potresnega območja. Postopek niveliranja je najnatančnejša metoda določanja višinskih razlik med višinskimi geodetskimi točkami – reperji. S primerjavo in statistično analizo rezultatov izravnave dveh terminskih izmer, lahko določimo stabilnost nivelmanske mreže oz. nestabilne reperje v njej, velikosti vertikalnih premikov posameznih reperjev ter hitrosti vertikalnih premikov reperjev glede na izbrani časovni interval.

Osnovni namen naloge je torej določiti vertikalne premike na območju Ljubljane s širšo okolico, za potrebe izdelave seizmotektonskega modela Ljubljanske kotline, s primerjavo terminskih izmer mestne nivelmanske mreže Ljubljana. Na območju Ljubljane smo imeli na voljo podatke petih izmer mestne nivelmanske mreže: med leti 1962 – 1965, med leti 1971 – 1976, leta 1994, leta 2000 ter med leti 2007 in 2009. Prvi dve izmeri zajemata celotno območje takratne mestne nivelmanske mreže, druge izmere pa le posamezne dele mestne nivelmanske mreže.

Zbrane podatke smo najprej pregledali in pred začetkom izravnave iz njih odstranili morebitne grobe pogreške. Posamezne izmere nivelmanskih mrež smo izravnali s programom VimWin. Pri določevanju vertikalnih premikov reperjev s programom PREMİK je potrebno vse izravnave nivelmanskih mrež navezati na identičen dani reper. Za izravnavo meritev mestne nivelmanske mreže smo predpostavili, da je fundamentalni reper FR 4 (oznaka v mestnih nivelmanskih mrežah) oz. FR 1014 (oznaka v državnih nivelmanskih mrežah) v Črnučah stabilen in mrežo navezali nanj. Drugi del določevanja stabilnih reperjev v

nivelmanskih mrežah smo opravili s statističnim testiranjem nivelmanskih mrež in poligonov po postopku deformacijske analize Hannover – program DAH. Ker so vhodni podatki za primerjavo dveh terminskih izmer s programom DAH rezultati izravnave nivelmanske mreže kot proste, smo vse mreže izravnali tudi na ta način.

Rezultat so torej določeni nestabilni reperji na osnovi primerjave posameznih terminskih izmer. Na premik reperja vplivajo geodinamično delovanje ter lastni premiki reperja. Za kvalitetnejše analiziranje rezultatov določevanja premikov, ki imajo izvor v geodinamiki, je potrebno izločiti vse reperje, pri katerih lahko sklepamo o prisotnosti lastnih premikov.

2 TEORETIČNE OSNOVNE

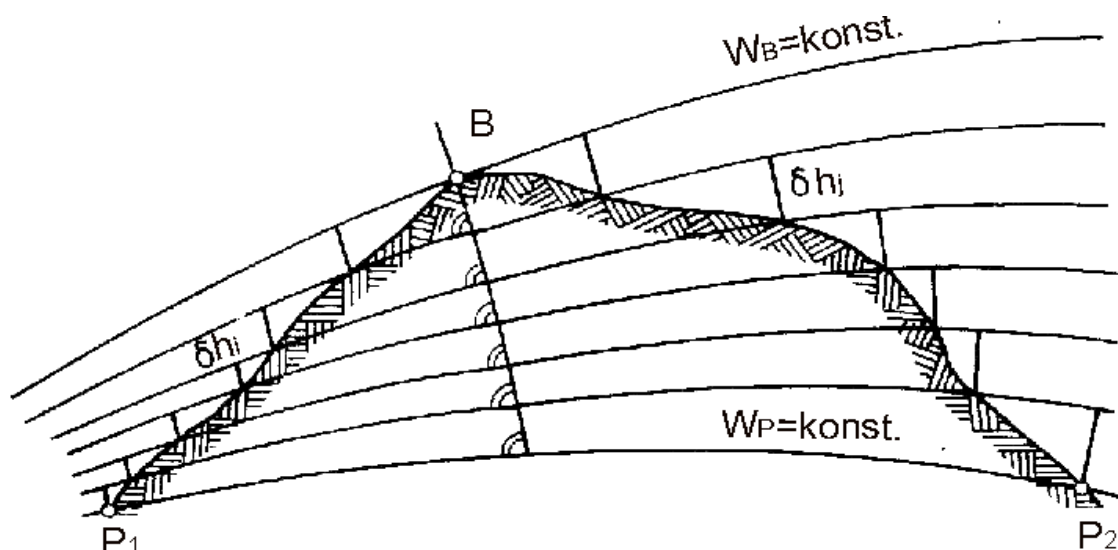
2.1 Nivojske ploskve

Nivojske ploskve ali ekvipotencialne ploskve so ploskve s konstantnim potencialom:

$$W(x, y, z) = C = \text{konst.} \quad (1)$$

Za premik po nivojski ploskvi ni potrebno vložiti nikakršnega dela, torej so nivojske ploskve ploskve ravnotežja. L. Durang Clay je podal naslednjo definicijo nivojske ploskve (Kotar – Rajnar, 2000 cit. po Kuhar, 1998):

Nivojska ploskev je ploskev, ki jo lahko prehodimo brez vzpenjanja ali spuščanja in na kateri je potemtakem delo sile teže za materialno točko, ki se po njej giblje, enako nič in so med seboj nevzporedne. Ta ploskev je v vseh svojih točkah pravokotna na smer sile teže (slika 1). To smer imenujemo navpičnica.



Slika 1: Nevzporednost nivojskih ploskev

Nivojsko ploskev morja predstavlja površina morja, ki se zaradi raznih vzrokov dviga in spušča. Potrebno je določiti srednji nivo morja, ki nam podaja ničelno nivojsko ploskev, imenovano tudi geoid, za računanje nadmorskih višin. Srednji nivo morja je določen z mareografom na osnovi dolgoletnih opazovanj gibanja nivoja morja. Srednji nivo morja ni konstanten ne na isti točki v različnih časovnih obdobjih kakor tudi ne na različnih mestih obale. Na nihanje nivoja morja vplivajo različni dejavniki. Na nepravilno nihanje srednjega nivoja morja vpliva delovanje vetra, zračnega tlaka, razlika v temperaturi in količini soli v morski vodi. Vendar imajo slednji vzroki manjši vpliv na nihanje kot periodični vplivi. Periodična nihanja srednjega nivoja morja so posledica privlačne sile Sonca, Lune in Zemlje. Srednji nivo morja torej niha bolj ali manj periodično. Za določitev zanesljivega podatka o srednjem nivo morja, ki nam predstavlja vertikalni datum, moramo neprekinjeno opazovati nihanje nivoja morja vsaj 18,6 leta, kar je povezano z vozli Lunine tirnice (Koler, 1994).

2.1.1 Mareograf

Mareograf je naprava, s katero se določa srednji nivo morja. Konstrukcijsko obstaja več različnih vrst mareografov: mehanski, tlačni, akustični in radarski. Največ so v uporabi mehanski mareografi. Glavni sestavni deli mehanskega mareografa so:

- plovec, ki v določenem merilu preko mehanskega sistema zobnikov prenaša nihanje morske gladine na pero,
- pero beleži spremembe na papir, ki je navit na valj,
- valj se vrti na osnovi določitve časovne enote enega obrata – 24 ur, en teden ali drugem vnaprej določenem obdobju.

Plovec mora biti s primerno konstrukcijo mareografa zaščiten pred lokalnimi vplivi (veter, kratko periodični valovi, promet). Za zagotavljanje pravilne registracije dnevnih sprememb nihanja morske gladine je pomembno dobro vzdrževanje mareografa.

Za navezavo na državno nivelmansko mrežo se v bližini mareografa nahaja osnovni reper mareografa imenovan tudi normalni reper. Po dogovoru definira srednji nivo morja ničelno nivojsko ploskev in ima absolutno višino enako nič. Lega ničelne nivojske ploskve je

definirana z vertikalno oddaljenostjo od normalnega reperja, ki je stabiliziran na geološko stabilnem območju.

Posamezni mareografi so danes vzpostavljeni tudi kot kombinirane geodetske točke, kar pomeni, da se na njej nahaja permanentna postaja GNSS (slika 2), periodično pa se na njej opravlja visoko natančne nivelmanske in gravimetrične meritve (Kuhar, 2006).



Slika 2: Mehanska postaja Koper

2.1.2 Vertikalni datum nivelmanske mreže Slovenije

Višine vseh reperjev v slovenski nivelmanski mreži so izračunane v vertikalnem datumu Trst. Vertikalni datum predstavlja ničelna nivojska ploskev oziroma srednji nivo morja, ki je bil določen leta 1875 na osnovi enoletnih mareografskih opazovanj na pomolu Sartorio v Trstu. S problemom določitve vertikalnega datuma avstro ogrske nivelmanske mreže so se ukvarjali različni geodeti in geofiziki. V literaturi lahko zasledimo vrednosti o razliki položaja

primerjalne ploskve, ki je bila prevzeta za vertikalni datum avstro ogrske nivelmanske mreže, ki znašajo od 8,93 cm do 18,5 cm (Koler et al., 2007). Nivelmanska mreža Republike Slovenije je navezana na avstro-ogrski fundamentalni reper številka No 394 (FR 1049), ki je stabiliziran pod Pohorjem v bližini Ruš (slika 3).



Slika 3: Normalni reper nivelmanske mreže Republike Slovenije

2.2 Višinski sistemi

Lega točke v tridimenzionalnem prostoru je določena s tremi koordinatami, ki so med seboj neodvisne. Višine točk so določene v povezavi s težnostnim poljem Zemlje, torej so višine določene v enem od fizikalnih višinskih sistemov, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero.

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

Če povzamemo, so najvažnejši pogoji (Koler, 2007 cit. po Koler, 1998):

1. Višine točk morajo biti nedvoumno definirane in določljive neodvisno od poti niveliranja. Ker nivojske ploskve težnostnega polja niso med seboj vzporedne in ker sta uravnavanje libele in lega kompenzatorja nivelirja tesno povezana s težnostnim poljem, ta pogoj ni izpolnjen za višine točk, ki so določene samo na osnovi rezultatov geometričnega nivelmana.
2. Višine točk naj bi bile določene na osnovi merjenj na površini Zemlje in pri tem naj bi upoštevali čim manj različnih hipotez (na primer o gostoti in porazdelitvi mas v notranjosti Zemlje).
3. Popravki merjenih višinskih razlik, zaradi privzetega višinskega sistema, morajo biti tako majhni, da jih ne upoštevamo pri nivelmanskih mrežah nižjih redov, ker so navezane na nivelmanske mreže višjih redov.
4. Vse točke, ki ležijo na isti nivojski ploskvi, naj bi imele isto višino. Osnovo temu pogoju predstavlja spoznanje, da imata dve točki isto višino, kadar voda med njima miruje.
5. Višine točk naj bi izpolnjevale tudi sledeče:
 - 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.

Višino neke točke lahko podamo v različnih fizikalnih višinskih sistemih. Osnovo vsem fizikalnim višinskim sistemom predstavljajo **geopotencialne kote** C . Te določimo na osnovi merjenih višinskih razlik (postopek geometričnega nivelmana ali trigonometričnega višinomerstva) in podatkov o merjenem težnostnem pospešku, saj meritve izvajamo v težnostnem polju Zemlje. Primerjalno ploskev za določitev merjenih razlik potencialov in

višinskih razlik predstavlja geoid ali ničelna nivojska ploskev. 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).

Geopotencialne kote niso primerne za geodetsko izmero, ker jih ne moremo geometrično interpretirati. Povezavo med višino podano v metrih in geopotencialno koto podaja enačba:

$$dW = -g \cdot dH \quad (2)$$

Razlika potencialov med dvema nivojskima ploskvama je konstantna. Višinska razlika med dvema izmeniščema je δh . Višinsko razliko med dvedma točkama predstavlja vsota posameznih δh .

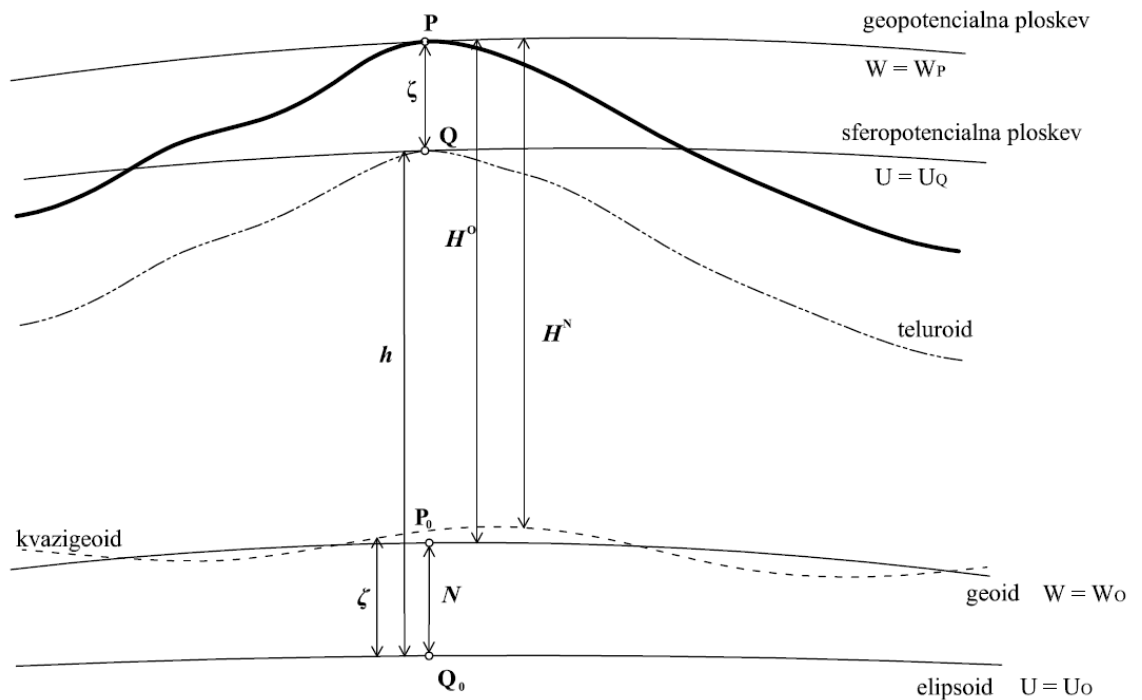
$$dH = \sum_{P_0}^P \delta h \quad (3)$$

Ekvipotencialne ploskve niso vzporedne, kar nam pove, da je nivelirana višinska razlika odvisna od poti niveliranja. Od poti niveliranja je neodvisna le razlika potencialov $W_S - W_P$. Če poznamo tudi vrednost težnosti na mestu stojišča inštrumenta, skupaj z meritvami geometričnega nivelmana dobimo geopotencialni nivelman. Razlika potencialov se izračuna po naslednji enačbi:

$$C = W_{P_0} - W_P = - \int_{P_0}^P g \cdot dH \quad (4)$$

Da dobimo višine točk, podane v metrih, je treba geopotencialno koto deliti s težnostnim pospeškom. Glede na to, s kakšno vrednostjo težnostnega pospeška delimo geopotencialne kote, poznamo različne vrste višin:

- dinamične višine H^D ,
- normalne višine H^N ,
- ortometrične višine H^O .



Slika 4: Višinski sistemi

Na sliki 4 so:

H^O – ortometrična višina

N – geoidna višina

H^N – normalna višina

h – elipsoidna višina

ζ – anomalija višine (višinska razlika med teluroidom in fizično površino Zemlje)

Če geopotencialne kote delimo s konstantno vrednostjo težnostnega pospeška, potem dobimo **dinamično višino** H^D .

$$H^D = \frac{C}{\gamma_0^{45}} \quad (5)$$

γ_0^{45} – vrednost težnega pospeška na nivoju elipsoida z geografsko širino 45° .

V praksi računamo dinamične višine po enačbi:

$$\Delta H_{PS}^D = \frac{C_S - S_P}{\gamma_0^{45}} \cong \frac{1}{\gamma_0^{45}} \sum_{P_0}^P g \cdot \delta h \quad (6)$$

Pri dinamičnih višinah predstavljata problem dejstvi, da so popravki niveliranih višinskih razlik lahko zelo veliki ter da višine nimajo geometričnega pomena. Točke na isti nivojski ploskvi imajo enako dinamično višino. Dinamičnih višin ni možno povezati z elipsoidnimi višinami.

Normalne višine H^N so določene na osnovi srednje vrednosti normalnega težnega pospeška na odseku normalne težiščnice. Srednjo vrednost normalnega težnega pospeška iščemo na odseku težiščnice v normalnem težnostnem polju med točko na elipsoidu ter točko na teluroidu. Višinska razlika med teluroidom in fizično površino Zemlje je anomalija višine ζ . Normalne višine predstavljajo oddaljenost točke na površini Zemlje od ploskve kvazigeoida. Kvazigeoid ni nivojska ploskev, vendar so odstopanja od geoida majhna, na morju pa sovpadata. Enačba za izračun normalne višine:

$$H^N = \frac{C}{\bar{\gamma}} \quad (7)$$

Srednja vrednost normalnega težnega pospeška:

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{H^N} \cdot \int_0^{H^N} \gamma \cdot dH^N \quad (8)$$

Višine točk naj bi bile podane v metrih in tako primerne za geodetsko izmero – možna geometrična interpretacija. Če geopotencialne kote delimo s srednjo vrednostjo težnega pospeška vzdolž težiščnice, dobimo **ortometrične višine** H^O . Težnostni pospešek ortometričnih višin je določen vzdolž prostorske krivulje, težiščnice, med točko na površini Zemlje in pripadajočo točko na geoidu. Ortometrično višino izračunamo z enačbo:

$$H^O = \frac{C}{\bar{g}} \quad (9)$$

Srednja vrednost težnega pospeška \bar{g} na odseku navpičnice med geoidom in točko na površju Zemlje izračunamo po enačbi:

$$\bar{g} = \frac{1}{H} \cdot \int_0^{H^0} g \cdot dH \quad (10)$$

Določitev srednje vrednosti težnega pospeška vzdolž težiščnice temelji na osnovi predpostavk različnih avtorjev (Helmert, Baranov, Ramsayer, Strang, Chen) o spreminjanju in definiranju gostote in razporeditve mas v notranjosti Zemlje, zato se lahko ortometrične višine med seboj precej razlikujejo.

Pri določitvi **elipsoidnih višin** h točk ne upoštevamo gravimetrične izmere. Njihov pomen se je povečal z razvojem GNSS-izmere. Elipsoidna višina je določena popolnoma geometrično in predstavlja najkrajšo razdaljo med točko na površju Zemlje in referenčnim elipsoidom. Za določitev ortometrične višine moramo poznati geoidna višino N , ki povezuje oba višinska sistema z enačbo:

$$H^0 = h - N \quad (11)$$

Za izračun **normalnih ortometričnih višin** potrebujemo poleg merjene višinske razlike tudi ortometrične popravke. Za izračun popravkov merjenih višinskih razlik se namesto izmerjenega težnostnega pospeška uporablja izračunane vrednosti oziroma t. i. normalni težnostni pospešek.

Na območju Slovenije je bil v letih 1999 in 2000 izveden preračun višinske mreže. Višine vseh reperjev so izračunane v vertikalnem datumu Trst. Pri tem je celotna nivelmanska mreža Slovenije navezana na star avstro-ogrski fundamentalni reper No. 374 oziroma FR-1049, stabiliziran pri Rušah leta 1878, kot avstrijski osnovni reper.

Višinska mreža Slovenije je po novem preračunu izravnana v sferoidnem (normalnem) ortometričnem višinskem sistemu in vsi reperji imajo normalne ortometrične višine. Vendar pa obstaja v Sloveniji tudi določeno število reperjev iz II. NVN, ki so bili izravnani v takratni sistem geopotencialnih kot in so tako vključeni v enotno Evropsko nivelmansko mrežo (UELN), ki je izravnana v sistemu geopotencialnih kot (Geodetska uprava Republike Slovenije, 2004).

3 KLASIFIKACIJA NIVELMANA

3.1 Razdelitev nivelmanskih mrež

Če povzamemo, so bile v zgodovini naslednje razdelitve nivelmanskih mrež (Koler, 1993):

a) Razdelitev do leta 1955

- precizni nivelman 1. reda,
- precizni nivelman 2. reda,
- precizni nivelman 3. reda,
- tehnični nivelman,
- dopolnilni nivelman.

b) Razdelitev po letu 1955

- nivelman z veliko natančnostjo,
- precizni nivelman,
- tehnični nivelman s povečano natančnostjo,
- tehnični nivelman,
- dopolnilni nivelman.

c) Razdelitev po letu 1981

Leta 1981 je bil sprejet Pravilnik o tehničnih normativih za mrežo temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981), ki je hkrati uveljavil novo razdelitev glede na metodo določanja, stopnjo natančnosti in gostoto točk. Pravilnik je uvedel naslednjo razdelitev:

- Višji red višinske temeljne geodetske mreže
 - nivelmanska mreža z veliko natančnostjo (v nadaljevanju NVN),
 - nivelmanska mreža 1. reda,

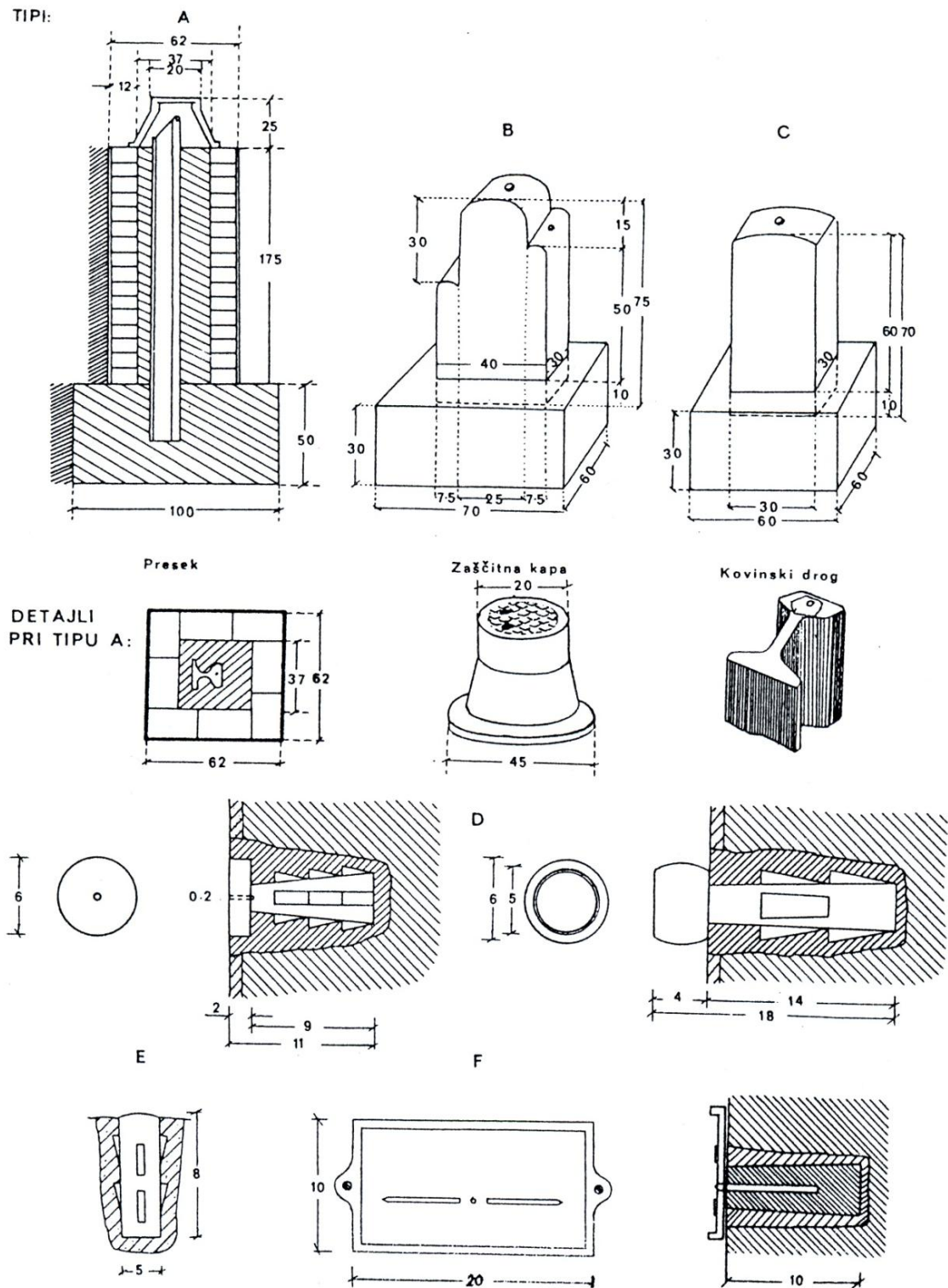
- nivelmanska mreža 2. reda,
 - mestna nivelmanska mreža 1. reda.
-
- Nižji red višinske temeljne geodetske mreže
 - nivelmanska mreža 3. reda,
 - nivelmanska mreža 4. reda,
 - mestna nivelmanska mreža 2. reda.

3.2 Stabilizacija nivelmanskih točk

S prej omenjenim pravilnikom je bila določena tudi vrsta stabilizacije točk v višinski temeljni geodetski mreži. Uporabljati se smejo izmeritvena znamenja predpisanih tipov in materialov.

Tipi in gradiva izmeritvenih znamenj so naslednji (slika 5):

- tip A: betonski steber s podložno ploščo, kovinskim drogom in zaščitno kapo,
- tip B: betonski ali kamniti dvojni steber s podložno ploščo in s pokončno vzidanim kovinskima čepoma,
- tip C: betonski ali kamniti steber s podložno ploščo in s pokončno vzidanim kovinskim čepom,
- tip D: vodoravno vzidan kovinski čep,
- tip E: pokončno vzidan kovinski čep,
- tip F: kovinska plošča z luknjo in marko.



Slika 5: Tipi reperjev – dimenzije so v cm (RGU, 1981)

3.3 Oštevilčba nivelmanskih točk

Vsaka točka v višinski temeljni geodetski mreži mora biti oštevilčena. Oštevilčba izmeritvenih znamenj – reperjev – je vse od prve vzpostavitve višinskih točk določena glede na red posamezne točke. Številka uničenega reperja se ne uporablja več.

Če povzamemo, so bile v zgodovini naslednje oštevilčbe reperjev (Koler, 1993):

a) Oštevilčba do leta 1955

Oštevilčba nivelmanov do leta 1955 je bila enotno določena znotraj meja bivše SFR Jugoslavije in sicer:

- precizni nivelman 1. reda: od 1 do 5000,
- precizni nivelman 2. reda: od 5001 do 7000,
- precizni nivelman 3. reda: od 7001 do 10000.

Za točke tehničnega in dopolnilnega nivelmana so se številke določevale znotraj trigonometričnih okrajev oziroma so ohranile cele številke trigonometričnih točk. Za točke tehničnega nivelmana, ki so bile postavljene znotraj nivelmanskih poligonov preciznih nivelmanov, so bile te točke oštevilčene v sistemu oštevilčbe poligonov preciznih nivelmanov z dodatno označbo iz malih črk abecede.

b) Oštevilčba med leti 1955 in 1970

Na novo postavljene točke v nivelmanskih mrežah z veliko natančnostjo preciznega in tehničnega nivelmana s povečano natančnostjo ter tehničnega nivelmana se po letu 1955 oštevilčuje na naslednji način:

- Reperji nivelmana z visoko natančnostjo:
 - s serijo od A do J in s številkami od 1 do 1000 so označeni reperji vzdani v objekte,
 - s serijo od K do Z in s številkami od 1 do 1000 so označeni talni reperji, pomožnim reperjem je v označbi serije dodana še črka P.

- Reperji preciznega in tehničnega nivelmana s povečano natančnostjo:
 - s serijo od a do j in s številkami od 1 do 1000 so označeni reperji, vzdani v objekte,
 - s serijo od k do z in s številkami od 1 do 1000 so označeni talni reperji.
- Reperji tehničnega nivelmana so oštevilčeni od 1 naprej v mejah trigonometričnih okrajev oziroma delovišč.

c) Oštevilčba po letu 1970

Oštevilčba novo postavljenih reperjev po letu 1970 je sledeča:

- Fundamentalnim reperjem v nivelmanski mreži NVN so poleg označbe FR in kraja, kjer je reper stabiliziran, dodane številke:
 - za vertikalno vzdane reperje od 1011 do 1999,
 - za horizontalno vzdane od 2001 do 2999,
 - za vertikalno vzdane reperje z globinskimi temelji od 3001 do 3999.
- V nivelmanskih mrežah 1., 2., 3. in 4. reda se izvede oštevilčba na novo postavljenih točk od 1 naprej v okviru nivelmanskih poligonov.
- V mestnih nivelmanskih mrežah 1. reda se fundamentalni reperji označijo s črkama FR in s številkami od ena naprej.
- Oštevilčba točk v mestni nivelmanski mreži 1. in 2. reda se izvede v mejah mesta začevši s številko 1.

3.4 Razdelitev reperjev po namenu

Reperje po namenu delimo na:

- normalne reperje,
- fundamentalne reperje,

- delovne reperje.

Normalni reperji določajo fizično izhodišče višinskega koordinatnega sistema neke države ali večjega območja. Lega ničelne nivojske ploskve je definirana z vertikalno oddaljenostjo od osnovnega reperja mareografa. Normalni reperji so kvalitetno stabilizirani v objektu mareografa ali v geološko stabilnih tleh. Pogosto so stabilizirani bližje morski obali, kadar teren ob morju ni dovolj stabilen pa v notranjosti. Višina normalnega reperja je določena glede na z mareografom izmerjenim srednjim nivojem morske gladine. Za kontrolo je v bližini mareografa vzpostavljen sistem mikro nivelmanske mreže.

Fundamentalne reperje uporabljamo kot izhodiščne točke za vse precizne izmere v okviru države. Vključeni so v mreže NVN ali v mreže mestne nivelmanske mreže I. reda. V lokalnih mrežah jih ne stabiliziramo. V Sloveniji je bilo stabiliziranih 17 takih reperjev (Kogoj, 2006). Tudi ti reperji so stabilizirani na geološko stabilnih tleh in predstavljajo fizično zavarovanje višinske mreže in zagotavljajo njeno stabilnost. Fundamentalnim reperjem višine določimo z navezavo na normalni reper. Osnovnemu reperju, ki je dodatno zaščiten, sta v bližini v stabilne objekte stabilizirana najmanj dva delovna reperja. Vsi reperji skupaj tvorijo t.i. mikromrežo fundamentalnega reperja. Osnovna cilja stabilizacije fundamentalnih reperjev sta:

- nivelmanska mreža je vezana na zadovoljivo število reperjev, ki so enakomerno porazdeljeni po nivelmanski mreži in veljajo za stabilne v geološkem in geodetskem smislu,
- fundamentalni reperji predstavljajo izhodiščno točko za morebitne kontrole ali ponovne izmere NVN.

Delovni ali navadni reperji so trajno stabilizirani in se uporabljajo v vsakdanjem geodetskem delu kot višinske navezovalne točke. Z njimi določamo višine poljubnim detajlnim točkam. Običajno so vzidani v objekte ob prometnicah. Objekt, v katerega je delovni reper vzidan, mora biti lokalno stabilen, reper mora biti varen pred uničenjem in enostavno dostopen vsakomur. Stabiliziramo jih tako, da je mogoča navezava na precizni reper. Poznamo tri tipe delovnih reperjev: nizki (lato postavimo nanj), visoki (nanj postavimo posebna merila ali se navežemo z inštrumentom, ki ima mikrometer), talni (kadar ni ustreznih objektov, ustrezno temeljenje masivne podlage v katero vgradimo kovinski čep).

4 DOPUSTNA Odstopanja IN OCENA NATANČNOSTI

4.1 Dopustna odstopanja

Opravljene meritve morajo izpolnjevati določene pogoje oz. morajo biti izvedene v okviru določenih odstopanj. S Pravilnikom o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk (RGU, 1981) so določene enačbe za izračun dopustnih odstopanj:

- dopustna odstopanja (Δ v mm) pri niveliranju nivelmanske linije z dolžino d (v km) tja in nazaj:

$$\text{- NVN:} \quad \Delta = \pm 2 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (12)$$

$$\text{- mestna nivelmanska mreža 1. reda:} \quad \Delta = \pm 4 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (13)$$

$$\text{- mestna nivelmanska mreža 2. reda:} \quad \Delta = \pm 6 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (14)$$

- dopustna odstopanja (f v mm) sklenjenih nivelmanskih zank z dolžino d (v km):

$$\text{- NVN:} \quad f = \pm 1 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (15)$$

$$\text{- mestna nivelmanska mreža 1. reda:} \quad f = \pm 2 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (16)$$

- dopustna odstopanja (f v mm) za nasprotje med merjeno in dano višinsko razliko na dolžini d (v km):

$$\text{- mestna nivelmanska mreža 2. reda:} \quad f = \pm 3 \cdot \sqrt{d + 0,04 \cdot d^2} \quad (17)$$

4.2 Ocena natančnosti

Kriterij za oceno natančnosti nam predstavljajo srednji pogoški oz. standardne deviacije (Breznikar et al., 1994).

Za nivelirane precizne nivelmanske mreže lahko ocenimo natančnost na osnovi različnih kriterijev. Najpogostejši način ocenjevanja natančnosti so – enačbe za oceno natančnosti (Breznikar et al., 1994):

- ocena na osnovi odstopanj pri niveliranju nivelmanskih linij v eno in drugo smer:

$$\sigma_L^2 = \frac{1}{4 \cdot n_L} \left[\frac{\rho^2}{d} \right] \quad (18)$$

σ_L ... standardna deviacija pri niveliranju nivelmanskih linij,

n_L ... število nivelmanskih linij,

ρ ... odstopanje posamezne nivelmanske linije,

d ... dolžina posamezne nivelmanske linije.

- ocena na osnovi odstopanj pri niveliranju nivelmanskih poligonov:

$$\sigma_V^2 = \frac{1}{4 \cdot n_V} \left[\frac{\lambda^2}{d} \right] \quad (19)$$

σ_V ... standardna deviacija pri niveliranju nivelmanskih poligonov,

n_V ... število nivelmanskih poligonov,

λ ... odstopanje posameznega nivelmanskega poligona,

d ... dolžina posameznega nivelmanskega poligona.

- ocena na osnovi odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank:

$$\sigma_Z^2 = \frac{1}{4 \cdot n_Z} \left[\frac{f^2}{d} \right] \quad (20)$$

σ_Z ... standardna deviacija pri zapiranju nivelmanskih zank,

n_Z ... število nivelmanskih zank,

f ... odstopanje pri zapiranju nivelmanske zanke,

d ... dolžina nivelmanske zanke.

A posteriori ocena natančnosti se izračuna po izravnavi s sledečo enačbo:

- ocena na osnovi popravkov višinskih razlik po izravnavi :

$$\sigma_0^2 = \frac{[p \cdot v \cdot v]}{r} \quad (21)$$

σ_0 ... standardna deviacija popravkov višinskih razlik,

r ... število nadštevilnih opazovanj,

v ... popravki višinskih razlik po izravnavi,

p ... uteži merjenih višinskih razlik.

5 IZMERE NIVELMANSKIH MREŽ NA OBMOČJU LJUBLJANSKE KOTLINE

Nivelmanska mreža je osnovna geodetska višinska mreža. Služi kot geometrična osnova za višinsko detajlno izmero. Nivelman, kot višinska mreža, je materializiran s trajno stabiliziranimi geodetskimi točkami – reperji. Geodetska točka, ki ima določeno višino, ima včasih določen položaj tudi v horizontalnem smislu (predvsem v osnovnih mrežah z namenom določanja ploskve geoida). Reperje med seboj povezujemo z merjenjem višinskih razlik. Med seboj povezani reperji tvorijo nivelmanske linije, slednje pa nivelmansko mrežo. Nivelmanske mreže so samostojne geodetske mreže, ki niso direktno povezane s položajnimi mrežami (Kogoj, 2005).

5.1 Izmere nivelmanskih mrež višjih redov na območju Republike Slovenije

Na območju Republike Slovenije so bile izvršene naslednje izmere nivelmanskih mrež višjih redov:

- avstro – ogrski nivelman,
- prvi nivelman velike natančnosti SFRJ,
- drugi nivelman velike natančnosti SFRJ,
- nova nivelmanska mreža Republike Slovenije.

5.1.1 Avstro-ogrski nivelman

Prve izmere nivelmanskih mrež višjih redov na območju današnje Republike Slovenije so bile opravljene v času, ko je ozemlje spadalo pod Avstro-ogrsko monarhijo. Izvedel jih je Vojnogeografski inštitut z Dunaja v okviru sistematične višinske izmere takratnega Avstro-ogrskega ozemlja. Nivelmanska mreža je bila izmerjena od leta 1873 do 1895 (Kotar – Rajnar, 1998).

Normalni reper za navezavo avstro-ogrške nivelmanske mreže predstavlja reper na pomolu Sartorio v Trstu. Nadmorsko višino normalnega reperja je izračunal dr. Farofli. Določena je

bila na osnovi enoletnih opazovanj nihanja nivoja Jadranskega morja v letu 1875 in je znašala $3,352 \pm 0,01$ m.

Pred izmero so stabilizirali tudi 7 fundamentalnih reperjev, ki so bili enakomerno razporejeni po celotnem območju. V bližini Ruš, ob železniški progi Maribor – Dravograd, je bil leta 1878 stabiliziran fundamentalni reper z oznako Urnmarke No. 374 (danes FR 1049).

Po končani izmeri je Vojnogeografski inštitut z Dunaja leta 1899 izdal poročilo o preciznem nivelmanu jugovzhodnega dela Avstro-ogrske monarhije. Poročilo vsebuje podatke o:

- opis in obseg izmere,
- navezava na izhodiščni normalni reper,
- način razvijanja in izravnave celotne nivelmanske mreže,
- seznam nivelmanskih poligonov, ki vsebujejo vse reperje I. in II. reda z zaporedno številko, topografskim opisom in stacionažo.

Nivelmanske linije so potekale vzdolž železniških prog in le izjemoma ob cestah.

Na območju Ljubljanske kotline so bili izmerjeni sledeči deli nivelmanskih poligonov (preglednica 1) (Koler, 1993):

Preglednica 1: Nivelmanski poligoni avstro-ogrske izmere na območju Ljubljanske kotline

Leto izmere	Št. nivel. poligona	Od – do	Dolžina [km]
1873 - 84	5	Ježica – Kranj – Jesenice – Rateče	93
1874 - 85	6	Postojna – Vrhnika – Ježica	60
1874 - 97	14	Ježica – Trojane – Celje	71

Nivelmanski poligoni 5, 6 in 14 so imeli skupno vozlišče v Ježici pri Ljubljani.

5.1.2 Prvi nivelman velike natančnosti – I. NVN

Mreža nivelmana velike natančnosti I. reda je bila na območju Republike Slovenije prvič vzpostavljena v času nekdanje SFRJ. Izmera se je začela leta 1946 in je bila na območju nekdanje SFRJ sestavljena iz 49 zank, skupne dolžine 10 544 km. Poleg tega je obstajalo še 601 km nivelmanskih poligonov, ki so nivelmansko mrežo povezovali z nivelmanskimi

mrežami sosednjih držav. Skupna dolžina vseh nivelmanskih poligonov I. NVN je torej znašala 11 145 km. Na območju Ljubljanske kotline so bili v stabilizirani in izmerjeni sledeči poligoni preciznega nivelmana 1. in 2. reda (preglednica 2) (Koler, 1993):

Preglednica 2: Nivelmanski poligoni I. NVN na območju Ljubljanske kotline

Leto izmere	Št. reda	Št. nivel. poligona	Od – do	Dolžina [km]
1947	1. red	1	Ježica – Kranj – Jesenice – Rateče	87
/		2	Ježica – Trojane – Celje	70
/		3	Postojna – Vrhnika – Ježica	60
1947		4	Ljubljana – Novo mesto – Metlika – meja	136
1948	2. red	1	Ježica – Litija – Zidani most	72
1949		13	Domžale – Kamnik – Črna – Mozirje	23

V času izmere in izravnave nivelmanskih poligonov I. NVN na območju nekdanje SFRJ nismo imeli stabiliziranega normalnega reperja. Tako so nadmorske višine I. NVN navezane reperje avstro – ogrskega nivelmana (normalni reper na pomolu Sartorio v Trstu), kar pomeni, da imata avstro – ogrska nivelmanska mreža in mreža I. NVN isti vertikalni datum.

5.1.3 Drugi nivelman velike natančnosti – II. NVN

Osnovna naloga te nivelmanske izmere je bila, da zagotovi zanesljivo osnovo za razvoj mrež nižjega reda in da dobimo višine na območju cele države v enotnem višinskem sistemu. Poleg vseh praktičnih in neposrednih zahtev mora mreža NVN omogočati povezovanje z nivelmanski mrežami sosednjih držav ter omogočati znanstvena raziskovanja (Koler, 1993).

Na območju Republike Slovenije so bili v posameznem letu stabilizirani in izmerjeni naslednji nivelmanski poligoni II. NVN (preglednica 3) (Koler, 1993):

Preglednica 3: Nivelmanski poligoni II. NVN na območju Ljubljanske kotline

Leto izmere	Št. reda	Št. nivel. poligona	Od – do	Dolžina [km]
1971	1. red	4	Lesce – Jesenice – Podkoren – Rateče*	45
1971		5	Lesce – Kranj – Črnuče – Trojane – Arja vas	116

* - slepi nivelmanski poligon

Prva navezana na normalni reper, ki je bil stabiliziran na območju nekdanje SFRJ, je bila narejena pri izmeri II. NVN v letu 1971. Normalni reper so stabilizirali na geološko stabilnem območju v osrednjem delu nekdanje SFRJ v mestu Maglaj. Na vzhodni obali Jadranskega morja je postavljenih 7 mareografov: Koper, Rovinj, Bakar, Split – pristanišče, Split – Marjan, Dubrovnik in Bar. Vertikalni datum II. NVN oz. srednji nivoji morja na posameznih mareografih so določeni za 3.7.1971 iz podatkov registracije nihanja nivoja morja od 1962,2 do 1980,8. Na vseh mareografih razen v Baru, je bil srednji nivo morja določen na osnovi registracije nihanj nivoja morja za celo periodo – 18,6 let. Vsi mareografi razen mareografa v Baru (mareograf ni bil povezan z nivelmanskimi poligoni II. NVN) so bili povezani s preciznim nivelmanom in tako bili vključeni v izmero II. NVN. Nadmorska višina normalnega reperja je določena s skupno izravnavo merjenih višinskih razlik med mareografi in normalnim reperjem iz let 1962 – 1963, 1970 – 1973 in višinskih razlik med osnovnimi reperji mareografov, ki so določene iz mareografskih opazovanj (Koler, 1994).

V mrežo II. NVN je bilo vključenih 27 nivelmanskih zank skupne dolžine 9 824 km. Na območju Republike Slovenije ni stabilizirana nobena zaključena nivelmanska zanka, temveč je bilo stabiliziranih in izmerjenih le 7 nivelmanskih poligonov.

5.1.4 Niveliranje posameznih nivelmanskih poligonov višjih redov po letu 1980

Po letu 1980 so bili do leta 2006 na območju Republike Slovenije nivelirani le posamezni nivelmanski poligoni višjih redov.

Leta 2006 se je začela sistematična izmera nivelmanskih poligonov državne višinske geodetske mreže. Izmere nivelmanskih poligonov so izvajali Geodetska uprava Republike Slovenije, Geodetski zavod Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Letni plan izmer, ki je bil narejen leta 2006 in je predvideval izmero 120 km nivelmanskih poligonov na leto (Geodetski inštitut Slovenije, 2009, cit. po Geodetski inštitut Slovenije, Razvoj OGS 2006, 2006).

Na območju Ljubljanske kotline so bili nivelirani naslednji nivelmanski poligoni (preglednica 4) (Koler, 1993 in Geodetski inštitut Slovenije, 2009):

Preglednica 4: Nivelmanski poligoni državne mreže višjih redov izmerjeni po letu 1970

Leto izmere	Št. nivel. poligona	Od – do	Dolžina [km]
1989	I/22	Črnuče – Vrhnika – Postojna – Razdrto – Senožeče – Divača	90
1992	I/26	Ljubljana – Novo mesto – Brežice	125
2007	del NVN 5	Medvode – Črnuče	19
2008	del NVN 5 in del NVN 3	Kranj – Bled – Podbrdo – Most na Soči	72

5.2 Izmere mestnih nivelmanskih mrež Ljubljana

Mestne nivelmanske mreže predstavljajo eno izmed osnov za kvalitetno projektiranje posegov v prostor (Breznikar et al., 1994). Z mestnimi nivelmanskimi mrežami poskušamo zagotavljati višinsko usklajenost in s primerno gostoto višinskih točk enakomerno pokritost celotnega mestnega območja.

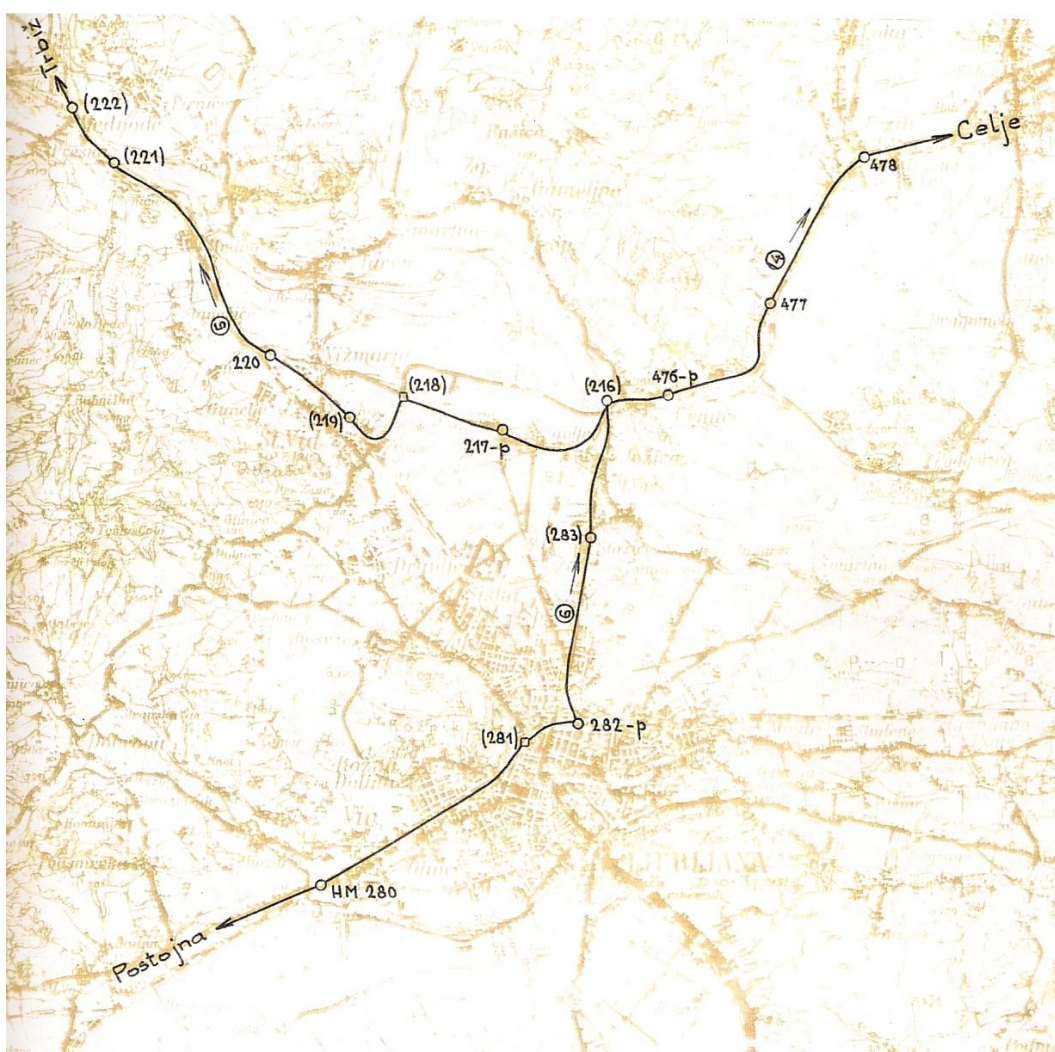
Mestne nivelmanske mreže so razvite v večjih mestih, kjer je potreba po višinskih točkah večja. Če je mesto zelo veliko, se poleg mestne nivelmanske mreže 1. reda razvijejo tudi mreže nižjih redov.

Mestne nivelmanske mreže običajno navezujemo na mestne fundametalne reperje, s čimer zagotovimo dobro stabilnost mreže. Po pravilu se mestne nivelmanske mreže navezuje tudi na fundamentalne reperje, ki imajo višine določene v okviru državne nivelmanske mreže. S tem imamo mestno nivelmansko mrežo določeno v istem višinskem koordinatnem sistemu kot državno nivelmansko mrežo.

5.2.1 Izmere v času Avstro-ogrske

Vojnogeografski inštitut na Dunaju je pričel s sistematično višinsko izmero takratnega Avstro-ogrskega ozemlja leta 1873 in jo končal leta 1898. Na današnjem ozemlju Slovenije so potekali trije poligoni tega nivelmana, ki so se stikali na Ježici pri Ljubljani (slika 6). Na takratnem območju mesta Ljubljane je bilo stabiliziranih 10 reperjev 1. reda in 5 reperjev 2. reda (Vodopivec, 1972).

Med leti 1895 in 1896 je bila izmerjena mestna nivelmanska mreža Ljubljane. Ohranjena je le skica za del mesta z vpisanimi nadmorskimi višinami na 0,1 mm natančno. Mreža je bila navezana na reper državne izmere na kurilnici železniške postaje. Stabiliziranih je bilo 263 reperjev. Ko so primerjali stare višine ohranjenih reperjev s kasnejšimi izmerami, so ugotovili, da so vsi višji za 0,1 m do 0,7 m. Razloge za tako velike spremembe višine lahko pripisujemo posledicam potresa leta 1896 ter dejstvu, da so bile ob izmeri kot višinske točke vzete stopnice ali pragovi pri vhodih v stavbe, pri kasnejših izmerah pa so bili upoštevani reperji, ki so bili vzdani v stavbe nekaj decimetrov višje (Vodopivec, 1972).



M ~ 1 : 100 000

Slika 6: Nivelmanski poligoni avstro – ogrskega nivelmana leta 1896 (Vodopivec, 1972)

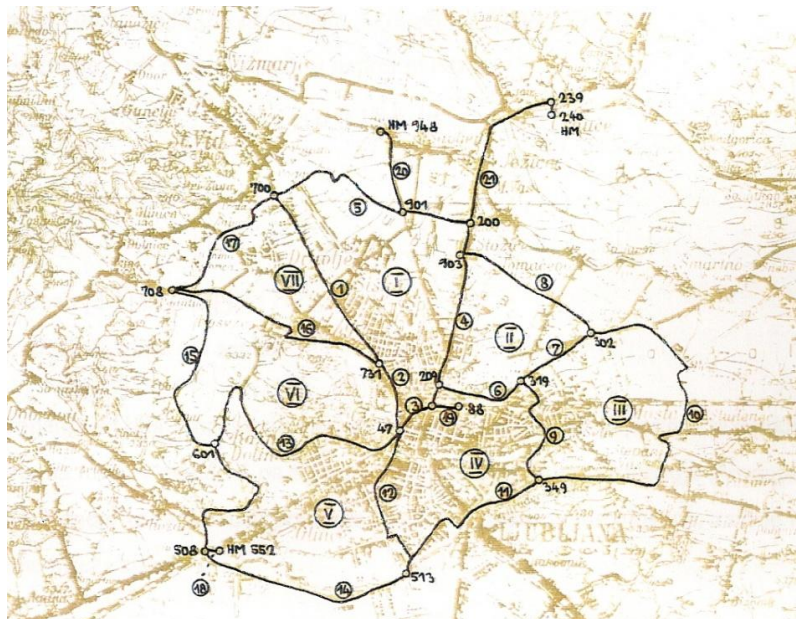
5.2.2 Izmere v letih 1940 in 1941

Mesto Ljubljana je bilo pokrito s sedmimi zankami reperjev 1. reda (slika 7), ki so bile zgoščene z nivelmanskimi poligoni reperjev 2. reda. Zanke so združevale 17 nivelmanskih poligonov v skupni dolžini 60,6 km. Mreža prvega reda je bila fizično določena s 70 reperji. S štirimi slepimi nivelmanskimi poligoni je bila mestna nivelmanska mreža navezana na stare avstro-ogrske reperje 1. reda. Oštevilčba reperjev se je za posamezno zanko začela z 1, ne glede na red (npr. v zanki V imajo reperji številke od 501 naprej) (Vodopivec, 1972).

Pri izmeri je bil uporabljen inštrument Zeiss Ni IIIB ter invar nivelmanska lata (3 m) z dvojno pol centimetrsko razdelbo.

S pravilnikom so bila določena dopustna odstopanja pri niveliranju linij ter zapiranju zank. V nekaterih zankah so bila odstopanja bistveno manjša od dopustnih, v zankah V in VI so bila na meji, v zanki III pa so celo presegla dopustna odstopanja (Vodopivec, 1972). Zaradi vojne blokade zanka ni bila ponovno nivelirana.

Mrežo so izravnali po pogojni izravnavi. Najprej mrežo 1. reda, reperje 2. reda pa po posameznih zankah, najprej vozlišča in nato ostale reperje.



Slika 7: Precizni mestni nivelman iz leta 1941 (Vodopivec, 1972)

LEGENDA:

M ~ 1 : 100 000

- ① ... številke nivelmanskih poligonov
- ① – ⑦ ... nivelmanske zanke 1. reda
 - 200 ...vozliščni reper

5.2.3 Izmera mestne nivelmanske mreže med leti 1962 in 1965

Leta 1962 so zasnovali novo mestno nivelmansko mrežo, ki je zajela območje mesta Ljubljane z vsemi priključenimi predmestji. Izmera je bila zaključena v naslednjem letu.

Vzroka sta bila v hitrem razvoju mesta ter da je bila po drugi svetovni vojni mestna nivelmanska mreža precej uničena. Zaradi nestabilnosti je bil izpuščen barjanski del (slika 8). Mrežo je sestavljalo 38 zank z 101 nivelmanskim poligonom v skupni dolžini 161 km. Nivelmanski poligoni so bili povezani v 67 vozlišč. Pri izmeri mreže 1. reda je bilo stabiliziranih in izmerjenih 493 reperjev, ki je bila zgoščena z mrežama 2. ter kasneje še 3. reda. Mreža 2. reda je v izmeri zajela 585 novih reperjev, v mreži 3. reda pa je bilo dodanih še 391 novih reperjev.

Reperji 1. reda so oštevilčeni od 101 naprej. Mreža je bila navezana na reper nivelmana visoke natančnosti MXXV na železniški postaji z nadmorsko višino 299, 6844 m. Ta višina mu je bila določena v okviru izmere avstro-ogrskega nivelmana. Navezavo na ta reper je priporočila Zvezna geodetska uprava, ker ni razpolagala z novejšimi podatki (Vodopivec, 1972).

Zaradi dodatne širitve mesta so v letih 1964 in 1965 prvotni mreži dodali še 6 zaključenih nivelmanskih zank in en slep nivelmanski poligon. Te meritve so navezali na predhodno izmero in samostojno izravnali.

Pri izmeri je bil najprej uporabljen nivelir Carl Zeiss Ni 04, ki pa se je izkazal kot neprimeren zaradi velike teže in časovno daljšega uravnavanja občutljive libele. Meritve so nadaljevali z nivelirjem Carl Zeiss KONI 007. Med izmero so bili inštrumenti večkrat preizkušeni in po

potrebi rektificirani. Kontrolirali so tudi dozne libele na letah. Ves nivelman je bil izmerjen z niveliranjem iz sredine, maksimalna dolžina vizur je znašala 40 m.

V času te izmere so bila s pravilnikom določena naslednja dopustna odstopanja:

- dovoljeno odstopanje pri niveliranju linij naprej in nazaj:

$$\text{- za } d < 1 \text{ km} \quad \rho = 2,8 \cdot \sqrt{d + (1,1 - d)} \quad (22)$$

$$\text{- za } d > 1 \text{ km} \quad \rho = 2,8 \cdot \sqrt{d} \quad (23)$$

kjer je:

d ... dolžina linije v kilometrih

- dovoljeno odstopanje pri zapiranju zank:

$$\rho = 2 \cdot \sqrt{d} \quad (24)$$

kjer je:

d ... dolžina zanke v kilometrih

Podatke izmerjene mreže so izravnali kot celoto. Mreža je uvrščena v razred najvišje natančnosti, kjer mora biti izpolnjen pogoj, da mora biti standardni odklon manjši od 1 mm/km. Dosežene natančnosti (Vodopivec, 1972):

- srednji pogrešek iz nesoglasja pri zapiranju zank:

$$\sigma_z = \pm 0,75 \text{ mm}$$

- srednji pogrešek iz popravkov višinskih razlik:

$$\sigma_0 = \pm 0,84 \text{ mm}$$

V letu 1964 so na območju mestne nivelmanske mreže postavili tudi 4 fundamentalne reperje. Med njimi je tudi reper FR 4, ki je hkrati fundamentalni reper v II. državni nivelmanski mreži s številko FR 1014 (sliki 9 in 10). Na ta fundamentalni reper so bili v diplomski nalogi opravljeni vsi preračuni in izravnave merjenih višinskih razlik.



Slika 8: Mestna nivelmanska mreža iz let 1962-1965 (Vodopivec, 1972)

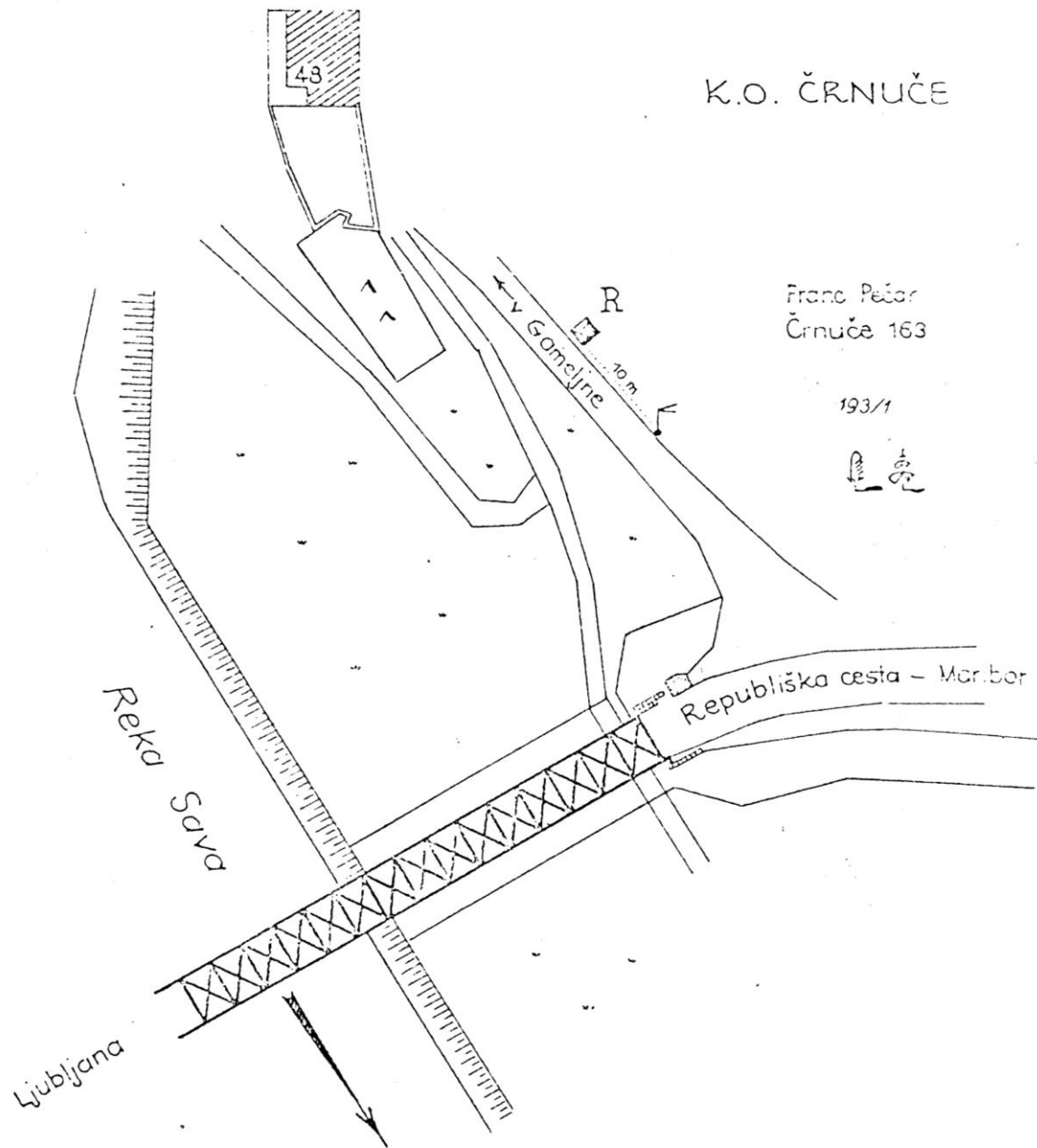
LEGENDA:

M ~ 1 : 100 000

① ... številka nivelmanske zanke v niv. mreži

1 – 102 ... številke nivelmanskih poligonov v niv. mreži

○ 200 ... vozliščni reper



M = 1 : 1 000

Slika 9: Skica lokacije fundamentalnega reperja FR 4 (FR 1014)



Slika 10: Fundamentalni reper FR 4 (FR 1014)

5.2.4 Izmera nivelmanske mreže na območju Medvod

V letu 1970 je bilo v naselju Medvode in okolici stabiliziranih 24 novih reperjev (Kotar – Rajnar, 1998). Reperji sestavljajo zanko številka 55 in je del mestne nivelmanske mreže. Zanka je sestavljena iz petih nivelmanskih poligonov v skupni dolžini 17,94 km. Novo izmerjeni del je bil na obstoječo mestno mrežo navezan s skupnimi reperji 207, 47/9 in 2728.

5.2.5 Izmera in dopolnitev mestne nivelmanske mreže v letih 1971 do 1976

Povod za dopolnitev in ponovno izmero mestne nivelmanske mreže Ljubljana je bilo raziskovalno delo Merjenje vertikalnih premikov stalnih točk na potresnem področju Ljubljane leta 1971 (Vodopivec, 1976). Pri pregledu podatkov prejšnjih izmer so ugotovili, da so uporabne le meritve, opravljene v izmeri med leti 1962 in 1965, ostale meritve pa so bolj ali manj netočne. Samo mesto se je z razvojem zopet razširilo in stara mestna nivelmanska mreža ni več zajemala vsega območja. Obstoječo mrežo so zopet razširili in ponovno izmerili, da bi dobili prve podatke o vertikalnih premikih točk na tem območju.

Mrežo je v tej izmeri sestavljalo 47 zaključenih nivelmanskih zank in 2 slepa nivelmanska poligona, (Vodopivec, 1972). V 133 poligonov v skupni dolžini 232 km je bilo vključenih 770 reperjev. Izmera je bila opravljena v samo 6 mesecih. Potekala je od junija do novembra s

prekinitvijo julija in avgusta zaradi vročine. Izmera je bila navezana na vse 4 fundamentalne reperje, ki so bili stabilizirani na območju Ljubljane.

Pri izmeri sta bila uporabljena dva nivelirja Carl Zeiss KONI 007 z dvema paroma invar lat (3 m) z dvojno polcentimetrsko razdelbo. Meritve sta opravljali dve skupini.

Pri obdelavi podatkov so bila dopustna odstopanja izračunana po istih enačbah kot pri izmeri med leti 1962 in 1965 (glej poglavje 5.2.3, enačbe 22, 23 in 24).

Novo mrežo, izmerjeno v razmeroma kratkem času, so pri izravnavi želeli navezati na fundamentalne reperje, ki pa so bili izmerjeni šele 3 leta po začetku prejšnje izmere. Tu je nastal problem, saj je pri navezavi nove izmere na fundamentalne reperje srednji pogrešek mreže po izravnavi znašal 0,94 mm/km, pri navezavi na reper pri železniški postaji s številko MXXV pa le 0,68 mm/km. Ugotovljeno je bilo večje odstopanje med reperji FR 2 in FR 4 ter FR 2 in FR 3. Sklepali so, da reper FR 2 ni stabilen in mrežo ponovno izravnali z navezavo le na reper MXXV. Po izravnavi so iz popravljenih višinskih razlik posameznih nivelmanskih poligonov izračunali višinske razlike ostalih fundamentalnih reperjev glede na FR 4. Po izračunu višin fundamentalnim reperjem, so kot končni rezultat izračunali aritmetične sredine starih in novih nadmorskih višin. Izvedli so ponovno izravnavo mreže, ki je bila navezana na vse 4 fundamentalne reperje. Vsi reperji so tako imeli dve višini. Višine reperjev, dobljene z navezavo na reper MXXV, so služile za nadaljevanje raziskovalnega dela, višine, dobljene z navezavo na fundamentalne reperje, pa so služile za geodetska dela.

V sklopu te izmere so bili stabilizirani 4 novi fundamentalni reperji. Na območju Ljubljanskega barja so stabilizirani fundamentalni reperji s številkami FR 5, FR 6 in FR 7, novi fundamentalni reper FR 8 pa je bil stabiliziran v Dolskem.

5.2.6 Prvi del sanacije mestne nivelmanske mreže leta 1994

Na območju mestnega nivelmana ni bilo do leta 1994 nobenih sistematičnih izmer. V tem letu je bila opravljena sanacija nekaterih zank. Izmero sta opravila dva izvajalca.

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo, je izmerila zanke 1, 2, 3, 5, 6 in 7. Pri rekognosciranju terena je bilo ugotovljeno, da je na območju naštetih zank 112 starih

uporabnih reperjev. Stabiliziranih je bilo 29 novih reperjev. Izmera je bila izvedena z navezavo na fundamentalna reperja FR 2 v Dolnicah in FR 4 v Črnučah. Omenjena reperja sta na obeh koncih mreže, s čimer je zagotovljena dobra stabilnost mreže. Pri izmeri je bil uporabljen eden najpreciznejših nivelirjev Carl Zeiss NI 002 ter dva para kompariranih invar nivelmanskih lat dolžine 3 m z dvojno polcentimetrsko razdelbo.

Drugi del območja sanacije je zajemal zanke 12, 13, 14 in novo zanko 56. Izmero teh zank je opravila geodetska organizacija EXPRO d.o.o. Pri izvedbi del je bilo na novo stabiliziranih 40 reperjev, skupaj pa je bilo v mreži izmerjenih 95 reperjev. Reperji tvorijo 27 nivelmanskih poligonov in 30 vozlišč. Uporabljen je bil enak inštrument kot pri izmeri FGG, t.j. Carl Zeiss NI 002.

Fundamentalni reper FR 2 je skupen obema izmerama in omogoča povezavo v skupno mrežo. V izravnavi sta izvajalca uporabila različni višini reperja FR 2:

- FGG: 319, 6056 m
- EXPRO: 319,6057 m

Izravnava celotne mreže je bila opravljena s programom VimWin, ki deluje po principu posredne izravnave. Natančnost izmere in izravnave prikazuje preglednica 2 (oznake so iste kot v poglavju 4.2).

Preglednica 5: Natančnosti obeh izmer (Breznikar et al., 1994, Vidmar et al., 1994)

	Izmera FGG [mm/km]	Izmera EXPRO [mm/km]
σ_L	0,46	0,20
σ_V	0,49	/
σ_Z	0,35	0,22
σ_0	0,41	0,43

5.2.7 Drugi del sanacije mestne nivelmanske mreže leta 2000

Sanacijo je opravil Geodetski zavod Slovenije med januarjem in majem leta 2000. V sanacijo so bile vključene nivelmanske zanke 22, 23, 24 in del zanke 4. Izmera je bila navezana na fundametalna reperja FR 3 in FR 4.

Na terenu so našli kar nekaj starih reperjev, uredili in dopolnili so topografije, zamenjali in nadomestili uničene reperje ter dodali po predloženem projektu nove reperje. Pri delu so v omenjenih zankah odkrili 82 uporabnih starih reperjev in stabilizirali 40 novih reperjev.

Niveliranje so izvedli z nivelirjem Leica NA 3003 po kriterijih za mestno nivelmansko mrežo 1.reda. Pri niveliranju so uporabljali nivelmanske invarne kodne late LEICA-GPCL3.

Izravnava je bila opravljena s programom Delta. Program ima omejitve, da lahko v eni izravnavi obravnava le 200 reperjev, zato je bila izravnava narejena v dveh delih (sanacija je skupaj vključevala 218 reperjev). Pri izravnavi prvega dela je srednji pogrešek iz popravkov višinskih razlik znašal $\pm 0,97$ mm/km, srednji pogrešek iz popravkov višinskih razlik po izravnavi drugega dela pa je bil $\pm 1,06$ mm/km.

Za potrebe določitve vertikalnih premikov v sklopu diplomske naloge smo meritve združili ter jih izravnali s programom VimWin. Srednji pogrešek iz popravkov višinskih razlik po izravnavi znaša $\pm 0,89$ mm/km.

5.2.8 Ocena natančnosti izmer mestne nivelmanske mreže Ljubljana

Oceno natančnosti posameznih izmer mestne nivelmanske mreže Ljubljana prikazujemo v preglednici 6 (črna barva – vrednosti prevzete iz tehničnih poročil, rdeča barva – vrednosti izračunane pri izravnavi merjenih vrednosti s programom VimWin).

Za določevanje vertikalnih premikov so uporabni rezultati preciznih izmer, katerih standardna deviacija po izravnavi ter ostale standardne deviacije znašajo manj od 1 mm/km. Rezultati v zgornji preglednici so vsi manjši od te vrednosti, kar nam potrjuje, da so bili v postopku določevanja vertikalnih premikov uporabljeni dovolj kvalitetni podatki.

Preglednica 6: Ocen natančnosti posameznih izmer mestne nivelmanske mreže Ljubljana

	σ_L [mm/km]	σ_V [mm/km]	σ_Z [mm/km]	σ_0 [mm/km]	σ_0 [mm/km]
1962 – 1965			0,75	0,84	0,79
1971 - 1976			0,72/0,66*	0,94/0,68*	0,82
1994	0,46/0,20**	0,49	0,35/0,22**	0,41/0,43**	0,42
2000				0,97/1,06***	0,89

* navezava na fundamentalne reperje / navezava na reper MXXV (poglavje 5.2.5)

** izmera FGG / izmera EXPRO (poglavje 5.2.6)

*** izravnava prvega dela mreže / izravnava drugega dela mreže (poglavje 5.2.7)

6 IZRAVNAVA NIVELMANSKIH MREŽ

Poglavja 6, 6.1, 6.1.1, 6.2 in 6.3 so povzeta po zapiskih predavanj pri predmetu Izravnalni račun I (Stopar, 2005).

V prvem koraku določimo število opazovanj, ki omogočajo izračun enolične rešitve problema n_0 . V praksi opravimo vedno več opazovanj, kot je nujno potrebno. V splošnem torej opravimo n opazovanj in velja $n > n_0$. Vsako opazovanje, ki presega minimalno število potrebnih opazovanj, imenujemo nadštevilno opazovanje. Z nadštevilnimi opazovanji torej odstranimo možnost, da bi grobi pogrešek v opazovanjih povzročil napačno rešitev problema.

Pri reševanju matematičnega modela ob množici opazovanj n , kjer imamo r nadštevilnih opazovanj, dobimo za vsako podmnožico n_0 opazovanj nekoliko različno rešitev. Med končnimi rezultati modela obstajajo majhne razlike. To navidezno neskladnost opazovanj z modelom odpravimo z zamenjavo tega niza opazovanj z nizom t.i. ocenjenih vrednosti opazovanj \hat{l} , tako da se novi niz opazovanj v celoti sklada z modelom. Z uvedbo ocenjenih opazovanj odstranimo neskladnosti v matematičnem modelu. Sedaj vsaka podmnožica n_0 opazovanj v celoti zagotavlja enolično rešitev matematičnega modela. Ocenjena opazovanja \hat{l}_i obravnavamo kot popravljen opazovanje, ki ga dobimo tako, da izmerjeni vrednosti l_i dodamo popravek v_i :

$$\hat{l}_i = l_i + v_i \quad (25)$$

Poprakov opazovanj v_i ne poznamo, zato jih je potrebno določiti predno izračunamo popravljen opazovanja \hat{l}_i . V splošnem obstaja za rešitev tega problema neskončno mnogo množic popravkov, ki zagotavljajo, da se popravljen opazovanja popolnoma skladajo z modelom. Izmed te množice pa nekatere množice izpolnjujejo določene dodatne zahteve v popravkih opazovanj.

Postopek iskanja množice ocenjenih – popravljenih opazovanj v skladu s določenimi pogoji imenujemo izravnava. V geodeziji je na vseh področjih uporabljen pogoj, da je vsota kvadratov popravkov opazovanj minimalna. Izravnava ob omenjenemu pogoju je izravnava po metodi najmanjših kvadratov.

6.1 Metoda najmanjših kvadratov

V primeru, ko imamo nadštevilna opazovanja, moramo za izračun enolične rešitve uporabiti izravnavo.

Za nekorelirana opazovanja enake natančnosti temelji izravnavo po metodi najmanjših kvadratov na kriteriju:

$$\Phi = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = \sum_{i=1}^n v_i^2 \rightarrow \min \quad (26)$$

Poleg popolne skladnosti popravljenih opazovanj z matematičnim modelom, morajo popravki opazovanj izpolniti zahtevo o minimalni vsoti kvadratov popravkov.

Opazovanja pa so navadno opravljena z različnimi natančnostmi. Vsakemu opazovanju zato pripada znana utež p_i . Za nekorelirana opazovanja različnih natančnosti je pogoj o minimalni vsoti kvadratov določen z enačbo:

$$\Phi = p_1 \cdot v_1^2 + p_2 \cdot v_2^2 + \dots + p_n \cdot v_n^2 = \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_i^2 \rightarrow \min \quad (27)$$

Pri izravnavi po metodi najmanjših kvadratov poznamo:

- pogojno izravnavo opazovanj,
- posredno izravnavo opazovanj.

6.1.1 Uteži opazovanj

Natančnost opazovanj podajata standardna deviacija opazovanj σ oz. varianca opazovanj σ^2 . Visoko natančnost opazovanja povezujemo z nižjo standardno deviacijo in obratno. Standardna deviacija in varianca sta merili natančnosti, ki sta obratno sorazmerni z natančnostjo. V praksi pogosto potrebujemo merila natančnosti, ki so v neposredni zvezi z natančnostjo. Tako merilo natančnosti je utež opazovanja p .

Opazovanje visoke natančnosti ima veliko utež in obratno. Definirana je kot količina, ki je obratno sorazmerna z varianco tega opazovanja.

$$p = \frac{k}{\sigma^2}, \quad (28)$$

kjer je:

k ... konstanta, ki jo običajno izberemo.

Konstanta k predstavlja opazovanje z utežjo 1:

$$1 = \frac{k}{\sigma_0^2} \rightarrow k = \sigma_0^2, \quad (29)$$

kjer je:

σ_0^2 ... referenčna varianca oz. variančni faktor.

Pri niveliranju je utež opazovanja višinske razlike med dvema reperjema enaka obratni vrednosti dolžine d med tema dvema reperjema.

$$p_i = \frac{1}{d[\text{km}]} \quad (30)$$

6.2 Pogojna izravnava

Postopek pogojne izravnave se uporablja, kadar so iskane količine neposredno merjene, njihove najverjetnejše vrednosti pa morajo zadostiti določenim matematičnim pogojem. S pogojno izravnavo torej v postopku izravnave določamo popravke merjenim količinam, brez uvedbe neznank. V pogojnih enačbah nastopajo opazovanja in konstante.

Pogojne enačbe zapišemo v obliki:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{f} = \mathbf{d} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{l}, \quad (31)$$

kjer so:

\mathbf{A} ... matrika koeficientov popravkov opazovanj (dimenzije rxn),

\mathbf{v} ... vektor popravkov opazovanj (dimenzije $nx1$),

f ... vektor odstopanj v pogojnih enačbah (dimenzije $rx1$),

d ... vektor konstant (dimenzije $rx1$),

l ... vektor opazovanj (dimenzije $nx1$),

n ... število opazovanj,

u ... število neznank,

$r = n - u$... število nadštevilnih opazovanj oz. število pogojnih enačb.

Za izpolnitev pogoja, da bo funkcija Φ minimalna in da bodo hkrati izpolnjeni pogoji v sestavljenih pogojnih enačbah, si pomagamo z uvedbo t.i. Lagrangeovih multiplikatorjev k_i . Število Lagrangeovih multiplikatorjev je enako številu nadštevilnih opazovanj oz. številu pogojnih enačb.

$$\Phi' = p_1 \cdot v_1^2 + p_2 \cdot v_2^2 + \dots + p_n \cdot v_n^2 - 2 \cdot k_r [\mathbf{A} \cdot \mathbf{v} - \mathbf{f}] \rightarrow \min. \quad (32)$$

V enačbi so neznanke poleg popravkov tudi Lagrangeovi multiplikatorji. Da bi zagotovili minimum funkcije Φ' , moramo parcialne odvode funkcije Φ' po neznankah izenačiti z nič.

$$\frac{\partial \Phi'}{\partial v} = 2 \cdot \mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} - 2 \cdot \mathbf{k}^T \cdot \mathbf{A} = 0, \quad (33)$$

$$\mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{k}, \quad (34)$$

kjer je:

P ... matrika uteži opazovanj.

Zadnji izraz vstavimo v osnovno enačbo pogojne izravnave in dobimo:

$$\mathbf{A} \cdot (\mathbf{Q} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{k}) = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{A}^T) \cdot \mathbf{k} = \mathbf{f}, \quad (35)$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{A}^T = \mathbf{Q}_e, \quad (36)$$

$$\mathbf{Q}_e \cdot \mathbf{k} = \mathbf{f}, \quad (37)$$

$$\mathbf{k} = \mathbf{Q}_e^{-1} \cdot \mathbf{f}, \quad (38)$$

kjer sta:

$\mathbf{Q} = \mathbf{P}^{-1}$... matrika kofaktorjev,

\mathbf{Q}_e ... matrika normalnih enačb pogojne izravnave.

Popravke izračunamo po enačbi:

$$\mathbf{v} = \mathbf{P}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{k} \quad (39)$$

6.3 Posredna izravnava

Neznanih oz. iskanih količin ne moremo vedno neposredno meriti. Opravimo meritve drugih količin, s katerimi lahko določimo neznane količine. Neznane količine se določijo na osnovi posrednih opazovanj oz. neznanke so funkcije merjenih količin.

Matrični zapis reševanja problema s posredno izravnavo ima obliko:

$$\mathbf{v} + \mathbf{B} \cdot \Delta = \mathbf{f} \quad (40)$$

Kjer so:

\mathbf{B} ... matrika koeficientov neznank (dimenzije nxu),

\mathbf{v} ... vektor popravkov opazovanj (dimenzije $nx1$),

Δ ... vektor neznank (dimenzije $ux1$),

\mathbf{f} ... vektor opazovanj (dimenzije $nx1$),

n ... število opazovanj,

u ... število neznank.

Zgornjo enačbo preuredimo v enačbo popravkov:

$$\mathbf{v} = \mathbf{f} - \mathbf{B} \cdot \Delta \quad (41)$$

Vstavimo jo v enačbo za utežno funkcijo:

$$\Phi = p_1 \cdot v_1^2 + p_2 \cdot v_2^2 + \dots + p_n \cdot v_n^2 \quad (42)$$

Dobljeno funkcijo odvajamo po posameznih členih – neznankah. Odvodi morajo biti enaki 0, da je izpolnjen pogoj o minimumu vsote popravkov.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta_1} &= 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta_2} &= 0, \\ &\vdots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta_u} &= 0, \end{aligned} \quad (43)$$

kjer so:

$\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_u$... neznanke.

Normalne enačbe lahko zapišemo v matrični obliki:

$$(\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{B}) \cdot \Delta = \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{f}, \quad (44)$$

$$\Delta = \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{t}, \quad (45)$$

kjer so:

$\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{N}$... matrika normalnih enačb,

$\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{f} = \mathbf{t}$... vektor stalnih členov,

Δ ... vektor neznank.

S podanim sistemom enačb izračunamo izravnane vrednosti opazovanih količin (pri niveliranju so to višinske razlike). Po enačbi $\mathbf{v} = \mathbf{f} - \mathbf{B} \cdot \Delta$ izračunamo popravke opazovanj. Popravki opazovanj so osnova za izračun natančnosti izravnave, iz diagonalnih členov kovariančne matrike pa lahko izračunamo oceno natančnosti posamezne opazovane količine.

<i>višina</i>	nadmorska višina reperja v metrih
<i>'enota_dolžin'</i>	enota merjenih dolžin (m ali km)
<i>'ime_reper_zadaj'</i>	ime reperja zadaj
<i>'ime_reper_spredaj'</i>	ime reperja spredaj
<i>mer_viš_razlika</i>	merjena višinska razlika med reperjema v metrih
<i>mer_dolžina</i>	merjena dolžina med reperjema v <i>'enoti_dolžin'</i>

Izhodne datoteke so:

- Enačbe popravkov višinskih razlik, izračune popravke višinskih razlik in definitivne višinske razlike, srednji pogrešek utežne enote, izračunane nadmorske višine reperjev ter občutljivost mreže so izpisani v datoteki *.rez,
- *.str vsebuje podatke za transformacijo S (vhodna datoteka za program STr),
- v datoteki *.koo so podatki za izračun premika in njegove natančnosti (vhodna datoteka za program PREMİK),
- v datoteki *.def so izpisani koeficienti normalnih enačb za izračun deformacijske analize (vhodna datoteka za program DAH).

6.4.1 Izravnava mestne nivelmanske mreže izmerjene v letih 1962 do 1965

V diplomski nalogi smo za določitev vertikalnih premikov uporabili podatke naslednjih izmer mestne nivelmanske mreže Ljubljana:

- izmera mestne nivelmanske mreže med leti 1962 in 1965,
- izmera mestne nivelmanske mreže med leti 1971 in 1976,
- izmera ob sanaciji mestne nivelmanske mreže v letih 1994 in 1999,
- izmera leta 2007 za potrebe priprave projektne dokumentacije in kasnejše izgradnje hidroelektrarn na srednji Savi,
- izmera leta 2009 za potrebe izdelave seizmotektonskega modela Ljubljanske kotline.

Količina podatkov v posamezni izmeri je zelo velika, zato je bilo potrebno pred izravnavo narediti pregled podatkov in izločiti morebitne grobe pogreške. Prisotnost grobih pogreškov je pri izravnavi nivelmanske mreže najlažje določiti z zapiranjem zank. Vsota merjenih višinskih razlik med posameznimi reperji znotraj zanke mora biti enaka nič oz. naj bi bila znotraj dopustnega odstopanja. Dopustno odstopanje za mestne nivelmanske mreže 1. reda je določeno z enačbo (RGU, 1981):

$$f = \pm 2 \cdot \sqrt{d + 0.04 \cdot d^2} \quad (46)$$

Pregled in kontrola podatkov je bila opravljena v programu Excel. Dopustna odstopanja za posamezno zanko lahko primerjamo z dejanskimi odstopanji (preglednica 7). V mreži so vključena opazovanja z različnih obdobj (med začetkom in koncem meritve so minila štiri leta). Kljub temu so dejanska odstopanja za vse zanke bistveno manjša od dopustnih.

V izravnavi mestne nivelmanske mreže izmerjene med leti 1962 in 1965 (reperji 1., 2. in 3. reda mestne nivelmanske mreže) je skupaj obravnavanih 1611 reperjev. Reperji so povezani v 44 nivelmanskih zank. Za določitev vertikalnih premikov moramo nivelmanske mreže navezati oz. preračunati na isti izhodiščni reper. Navezovalni reper mora izpolnjevati pogoj, da je stabilen. V obravnavani nivelmanski mreži je tak fundamentalni reper FR 4 v Črnučah. Pri navezavi in izravnavi obravnavanih mestnih nivelmanskih mrež je bila uporabljena nadmorska višina reperja 296,22738 m, ki je bila določena z izravnavo nivelmanske mreže Republike Slovenije. Z izravnavo dobimo višine vseh reperjev v mreži. Rezultati izravnavne izmere med leti 1962 in 1965 so v prilogi (datoteka t_1962_65.rez).

Preglednica 7: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank (1962-1965)

št. zanke	dolžina [km]	dejansko odstopanje [mm]	dopustno odstopanje [mm]
1	6,30	-1,90	5,62
2	7,94	-1,60	6,47
3	5,41	1,00	5,13
4	6,73	-0,40	5,85
5	6,37	1,90	5,65
6	6,13	0,10	5,53
7	5,72	0,30	5,30
8	10,41	-2,50	7,68
9	7,77	-3,00	6,38
10	7,59	-0,90	6,29
11	10,17	0,20	7,56
12	7,77	-5,00	6,38
13	7,37	-0,10	6,18
14	6,39	2,20	5,67
15	4,41	-0,20	4,56
16	5,17	0,50	5,00
17	4,28	1,10	4,48
18	5,24	-2,20	5,04
19	5,80	2,50	5,35
20	6,08	-1,00	5,50
21	5,94	-1,80	5,42
22	6,35	2,00	5,64
23	5,50	3,30	5,18
24	7,60	-2,90	6,30
25	6,58	1,40	5,77
26	7,40	0,60	6,19
27	5,47	0,70	5,16
28	8,52	0,70	6,76
29	8,48	2,40	6,74
30	6,56	4,00	5,76
31	6,20	0,40	5,56
32	5,97	0,40	5,44
33	8,43	-0,40	6,71
34	7,64	-3,90	6,32
35	7,31	-1,60	6,15
36	10,52	0,80	7,73
37	6,85	0,90	5,91
38	8,91	1,10	6,95
39	18,90	0,20	11,52
40	8,47	-1,50	6,73
41	12,40	3,80	8,61
43	7,76	2,10	6,38
44	7,30	-0,40	6,14
46	16,34	0,20	10,40

Pri nadaljnji obdelavi podatkov s programom DAH (poglavje 7.2) je bilo ugotovljeno, da je izvedba deformacijske analize in določevanje stabilnih reperjev mogoča, kadar imamo v vhodnih datotekah le opazovanja med identičnimi reperji v obeh izmerah. Za določitev premikov je bilo potrebno preurediti podatke posameznih izmer. Določitev identičnih reperjev, t.j. reperjev, ki nastopajo v dveh terminskih izmerah, je lahko brez primerne programske opreme dolgotrajen postopek. Pomagamo si lahko s programom PREMİK (poglavje 7.1), ki nam v datoteki rezultatov izpiše tudi pregled vseh reperjev in z indikatorjem označi tiste, ki nastopajo v posamezni izmeri.

Za obdelavo rezultatov izravnave v programu DAH je bilo potrebno pripraviti datoteki:

- za določitev stabilnih reperjev pri primerjavi izmere mestne nivelmanske mreže med leti 1962 in 1965 ter izmero leta 1994 (priloga: datoteka p63_94.pod),
- ter za določitev stabilnih reperjev pri primerjavi izmere mestne nivelmanske mreže med leti 1962 in 1965 ter izmero leta 2000 (priloga: datoteka p63_00.pod).

6.4.2 Izravnava mestne nivelmanske mreže izmerjene v letih 1971 do 1976

Leta 1972 je bila mreža mestnega nivelmana Ljubljana ponovno izmerjena, tej mreži pa so leta 1976 priključili še nekaj nivelmanskih poligonov ter meritve za določitev novih fundamentalnih reperjev. Vse te meritve smo obdelovali enotno, saj so odstopanja pri zapiranju zank (preglednica 8), ki združujejo meritve iz različnih obdobj, v dopustnih mejah.

Mreža vključuje 833 reperjev, ki so del 47 nivelmanskih zank ter dveh slepih nivelmanskih poligonov. Rezultati izravnave izmere med leti 1971 in 1976 so v prilogi (datoteka t_1971_76.rez).

Za nadaljnjo obdelavo je bilo potrebno preurediti datoteke z vsemi opazovanji v datoteke, ki vsebujejo le meritve med identičnimi reperji:

- za določitev stabilnih reperjev pri primerjavi izmere mestne nivelmanske mreže med leti 1971 in 1976 ter izmero leta 1994 (priloga: datoteka p76_94.pod),
- ter za določitev stabilnih reperjev pri primerjavi izmere mestne nivelmanske mreže med leti 1971 in 1976 ter izmero leta 2000 (priloga: datoteka p76_00.pod).

Preglednica 8: Odstopanja pri zapiranju nivelmanskih zank (1971-1976)

št. zanke	dolžina [km]	dejansko odstopanje [mm]	dopustno odstopanje [mm]
1	6,10	1,80	5,51
2	6,56	0,40	5,76
3	4,84	1,10	4,81
4	6,39	0,20	5,67
5	6,24	0,10	5,58
6	5,77	0,00	5,33
7	5,53	-2,20	5,20
8	10,16	2,70	7,56
9	7,68	-1,70	6,34
10	7,10	2,90	6,04
11	9,44	1,10	7,21
12	7,31	-0,40	6,15
13	7,42	-1,80	6,20
14	6,30	0,80	5,62
15	4,17	-1,40	4,41
16	4,89	-2,00	4,84
17	5,71	1,00	5,30
18	5,28	-3,70	5,06
19	5,73	2,30	5,31
20	6,08	-2,10	5,50
21	5,36	1,80	5,10
22	6,02	0,80	5,47
23	5,26	0,50	5,05
24	6,98	0,70	5,98
25	6,30	-0,20	5,62
26	7,30	-2,30	6,14
27	5,04	-1,40	4,92
28	8,17	-2,00	6,58
29	7,21	0,70	6,10
30	6,58	-2,80	5,77
31	6,14	-0,50	5,53
32	5,95	-0,60	5,43
33	8,72	-1,60	6,86
34	6,37	1,60	5,65
35	6,94	0,30	5,96
36	9,99	-0,70	7,48
37	6,54	-0,40	5,74
38	8,39	0,60	6,69
39	19,66	2,80	11,85
40	8,00	1,50	6,50
41	11,94	-3,70	8,40
43	22,23	0,80	12,96
44	7,10	3,00	6,04
45	14,70	-4,10	9,66
46	16,24	-1,00	10,35
48	14,32	-3,50	9,49
50	24,14	-2,40	13,78

6.4.3 Izravnava izmere dela mestne nivelmanske mreže izmerjene leta 1994

Leta 1994 je potekala izmera nivelmanskih zank št. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 12, 13, 14 in 56. Izmera je bila opravljena v dveh delih (dva izvajalca). Izmera zank 1, 2, 3, 5, 6 in 7 je bila opravljena z navezavo na FR 4 in FR 2, ostale štiri (12, 13, 14 in 56) pa na FR 2. Skupna izravnava obeh izmer z navezavo na FR 4 je bila možna, saj je bil v obeh izmerah opazovan fundamentalni reper FR 2. V sklopu sanacije dela mestne nivelmanske mreže je bilo zajetih 10 zank, ki vključujejo 240 reperjev. Srednji pogrešek iz popravkov višinskih razlik po izravnavi celotne mreže znaša 0,42 mm/km. Rezultati izravnave izmere leta 1994 so v prilogi (datoteka t_1994.rez).

Po zgledu iz izmer mestnih nivelmanskih mrež Ljubljane med leti 1962 in 1965 ter med leti 1971 in 1976, je bilo potrebno urediti novi datoteki, ki vsebujeta le reperje, ki nastopajo v obeh kombinacijah primerjave izmer:

- za določitev stabilnih reperjev pri primerjavi izmere dela mestne nivelmanske mreže leta 1994 ter izmero med leti 1962 in 1965 (priloga: datoteka p94_63.pod),
- ter za določitev stabilnih reperjev pri primerjavi izmere dela mestne nivelmanske mreže leta 1994 ter izmerama med leti 1971 in 1976 (priloga: datoteka p94_76.pod).

6.4.4 Izravnava izmere dela mestne nivelmanske mreže izmerjene leta 2000

Izmera leta 2000 je vključevala nivelmanske zanke 22, 23, 24 in del zanke 4. Izmera je bila navezana na fundametalna reperja FR 3 in FR 4. Mreža je skupaj z novo stabiliziranimi reperji vključevala 218 reperjev. Standardna deviacija po izravnavi znaša $\pm 0,89$ mm/km. Rezultati izravnave izmere leta 2000 so v prilogi (datoteka t_2000.rez).

Za nadaljnjo obdelavo je bilo potrebno preurediti datoteko z vsemi opazovanji v datoteki, ki vključujejo le reperje, ki so identični v obeh terminskih izmerah:

- za določitev vertikalnih premikov med izmero dela mestne nivelmanske mreže leta 2000 ter izmero med leti 1962 in 1965 (priloga: datoteka p00_63.pod),

- ter za določitev vertikalnih premikov med izmero dela mestne nivelmanske mreže leta 2000 ter izmero med leti 1971 in 1976 (priloga: datoteka p00_76.pod).

6.4.5 Urejanje datotek

Pri izravnavi podatkov s programom VimWin in postopku določevanja premikov s programom PREMIK, smo v podatkih odkrili nekaj napak ter pomanjkljivosti.

- Podatki meritev izmere med leti 1962 in 1965 so bili zbrani v treh datotekah, glede na posamezni red mestne nivelmanske mreže. Pri združitvi meritev v eno datoteko smo po izravnavi dobili standardno deviacijo 1,44 mm/km, kar je veliko več od pričakovane vrednosti. Narediti je bilo potrebno kontrolo in analizo podatkov izmere o možni prisotnosti grobih pogreškov. Na osnovi postopnega izločanja posameznih merjenih višinskih razlik je bilo ugotovljeno, da so bile najverjetneje storjene napake pri izmeri dopolnilnega 3. reda mestne nivelmanske mreže. Iz odstopanj pri zapiranju nivelmanskih zank, ki so nastale z novimi vozliščnimi reperji, dodanimi v izmeri 3. reda, gre sklepati, da so bile slabo izmerjene višinske razlike oz. odčitek pri navezavi nivelmanskih poligonov na reperje 1. reda z luknjico. Nekaj reperjev 3. reda je zato v mreži določenih s slepimi nivelmanskimi poligoni. V izravnavo so bile vzete merjene višinske razlike, kjer je bila absolutna razlika med višino novega reperja, določenega z izravnavo mreže vseh merjenih višinskih razlik ter višino novega reperja, izračunanega kot vsoto višine navezovalnega reperja in merjene višinske razlike, manjša. Srednji pogrešek iz popravkov višinskih razlik po izravnavi, je s preureditvijo in izločitvijo nekaterih merjenih višinskih razlik veliko manjši in znaša 0,93 mm/km.
- V posameznih izmerah so določeni reperji dobili nove predpone v obliki ene ali več črk. Med rezultati izravnav je bilo potrebno pogledati njihove višine in določiti ali gre za isti reper oz. ali je bil star reper uničen in na približno enakem mestu stabiliziran nov. Primer je reper C_35 iz izmere med leti 1962 in 1965, ki ima v izmeri med leti 1971 in 1976 številko NVTC_35. S primerjavo višin po izravnavi smo ugotovili, da gre za identične reperje, le da so jim v kasnejših izmerah določili nove oznake.
- Pri določevanju velikosti višinskih razlik dveh terminskih izmer s programom PREMIK, je bilo med rezultati več reperjev, kjer je bil premik veliko večji od

pričakovanih nekaj centimetrov – velikosti tudi več kot pet metrov. Možnih vzrokov je več. Sklepamo lahko, da je prišlo do lastnega premika reperja, da je bil morda reper uničen, kasneje pa na približno istem mestu stabiliziran nov oz. da je bil pri izmeri opazovan drug reper, številka pa je ostala enaka. Pri obdelavi podatkov vseh izmer je bilo takih reperjev deset: 5878, 5779, 5979, 5647, 5_1, 5824, 135, 5853, 14_8 in 5607. Prvim šestim reperjem smo številko spremenili v datoteki t_1963.pod. Obstoječi številki smo dodali črko a, torej so nove oznake reperjev: 5878a, 5779a, 5979a, 5647a, 5_1a in 5824a. Ostali štirje reperji imajo na isti način spremenjeno oznako v datoteki t_1994.pod: 135a, 5853a, 14_8a in 5607a.

7 DEFORMACIJSKA ANALIZA

Poleg izmere geodetske mreže točk, so v geodeziji pomembne tudi raziskave metod statistične analize odkrivanja in določanja premikov ter deformacij v geodetskih mrežah. Te metode so poimenovali metode deformacijske analize. Z deformacijsko analizo ugotavljamo premike in deformacije zemeljskega površja ter zgrajenih objektov, zaradi globalnih ali lokalnih vplivov v prostoru in času. Osnovna naloga deformacijske analize je ugotavljanje stabilnosti točk, ki so domnevno stabilne, in določanje značilnih premikov nestabilnih točk. V postopku testiranja značilnih premikov se uporabljajo metode statistične analize (Ambrožič, 1996).

S postopkom deformacijske analize iz geodetskih meritev v dveh ali več terminskih izmerah ugotavljamo, ali se je med dvema ali večimi terminskimi izmerami spremenil položaj geodetskih točk. Obravnavani premiki so lahko veliki, lahko pa tudi zelo majhni oziroma po velikosti primerljivi s še določljivo velikostjo premikov glede na natančnost meritev, zato je treba geodetske meritve, oceno natančnosti in statistično analizo izvesti zelo skrbno in pazljivo (Savšek et al., 2010).

Če povzamemo, poznamo za ugotavljanje stabilnosti geodetskih (nivelmanskih) mrež več metod oz. deformacijskih analiz (Savšek Safić, 2002). Nekatere med njimi so:

- metoda Delft,
- metoda Fredericton,
- metoda Karlsruhe,
- metoda Hannover.

Poleg določitve vertikalnih premikov s programom PREMİK, smo za obdelavo podatkov ter določitev stabilnosti mreže uporabili tudi program DAH, ki stabilnost mreže testira po postopku deformacijske analize Hannover.

7.1 Določitev vertikalnih premikov s programom PREMİK

Poglavje je povzeto po navodilih za uporabo (Ambrožič et al., 2007).

Določitev velikosti vertikalnih premikov reperjev in definiranje stabilnih točk nivelmanske mreže je možno npr. z zgoraj opisanimi deformacijskimi analizami, lahko pa postopamo tudi enostavneje s primerjavo velikosti premika oz. višinske razlike posameznih reperjev med terminskimi izmerami in natančnostjo določitve te višinske razlike.

Vertikalni premiki reperjev med dvema terminskima izmerama so določeni po sledeči enačbi:

$$\Delta_H = H_i - H_j, \quad (47)$$

kjer sta:

Δ_H ... vertikalni premik reperja med dvema terminskima izmerama,

H_i, H_j ... višina reperja v času izmere i oz. j .

Standardno deviacijo vertikalnega premika reperja izračunamo po enačbi:

$$\sigma_{\Delta_H} = \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_j}^2}, \quad (48)$$

kjer sta:

σ_{Δ_H} ... standardna deviacija določitve vertikalnega premika reperja,

$\sigma_{H_i}^2, \sigma_{H_j}^2$... standardni deviaciji določitve višine reperja v času i oz. j .

Ker je med posameznimi nivelmanskimi izmerami, ki so bile izvedene na obravnavanem območju preteklo različno časa, je potrebno izračunati hitrost vertikalnega premika, da dobimo primerljive podatke. Hitrost vertikalnega premika je izračunana iz spremembe višine in časa, ki je potekel med posameznima izmerama. Hitrost vertikalnega premika smo v nalogi določili glede na fundamentalni reper FR 4.

$$v_{\Delta_H} = \frac{\Delta_H}{t}, \quad (49)$$

kjer sta:

v_{Δ_H} ... hitrost vertikalnega premika reperja v času t ,

t ... čas, ki je minil med izmerama v času i in j .

Standardna deviacija hitrosti vertikalnega premika $\sigma_{v_{\Delta_H}}$ je določena na osnovi natančnosti določitve vertikalnega premika in časa, ki je potekel med izmerama.

$$\sigma_{v_{\Delta_H}} = \frac{\sigma_{\Delta_H}}{t}. \quad (50)$$

Program PREMİK uporablja za odkrivanje premikov reperjev testno statistiko T :

$$T = \frac{\Delta_h}{\sigma_{\Delta_h}}. \quad (51)$$

Ta testna statistika ne upošteva statističnih povezav v mreži. Statistična analiza stabilnost reperjev v mreži se določi le na osnovi podane stopnje značilnosti. Program med vsemi reperji v rezultatih z indikatorjem označi tiste, kjer razlika višin med terminskima izmerama presega trikratno vrednost natančnosti določitve razlike višin.

$$d_h > 3 \cdot \sigma_{d_h} \rightarrow \text{reper se je premaknil}$$

Program omogoča hkratno obdelavo podatkov za več terminskih izmer (do 30). Datoteke *.KOO z višinami reperjev in elementi matrike kofaktorjev reperjev, ki so vhodni podatek, ob izravnavi pripravi program VimWin. Če so elementi matrike kofaktorjev podani, program lahko izračuna natančnost premika, sicer pa ne.

Oblika datoteke s seznamom imen datotek z višinami reperjev (*.PRE):

naslov_slike

avtor_slike

merilo_premik

ime1_datoteke

ime2_datoteke

...

*Z Začetna vrednost za generator slučajnih spremenljivk ($0 < \text{začetna_vrednost} < 1$)

začetna_vrednost

*I število Iteracij za simulacijo porazdelitvene funkcije

število_iteracij

*A stopnja značilnosti testa α

alfa

*K **K**onec

Pomen parametrov:

naslov_slike naslov slike

avtor_slike ime avtorja slike

merilo_premika merilo premikov

ime1_datoteke imena datotek z višinami reperjev in elementi matrike kofaktorjev

začetna_vrednost začetna vrednost za generator slučajnih spremenljivk

število_iteracij število iteracij za simulacijo porazdelitvene funkcije

alfa stopnja značilnosti testa α

Rezultati so izpisani v datoteki *.SEZ. Izpis vsebuje:

- izpisan pregled opazovanj reperjev,
- razlike višin posameznih reperjev med terminskimi izmerami (med datotekami z višinami reperjev),
- natančnost določitve razlike višin,
- velikost testne statistike,
- velikost kritične vrednosti (ki je odvisna samo od stopnje značilnosti testa),
- dejanska stopnja značilnosti testa in
- indikator pri višinskih razlikah, ko te presežejo trikratno vrednost natančnosti določitve višinske razlike.

7.1.1 Določitev premikov s programom PREMİK med izmero med leti 1962 in 1965 ter izmero med leti 1971 in 1976

Izmera med leti 1962 ni 1965 je bila prva novo zasnovana mestna nivelmanska mreža na območju Ljubljane z vsemi vključenimi predmestji po drugi svetovni vojni. Izpustili so barjanski del zaradi nestabilnosti. V razširjeni mreži (mesto se je v tem času zopet razširilo in zadnje meritve niso več zajele vsega območja) so v izmeri med leti 1971 in 1976 izmerili 47 zank in 2 slepa nivelmanska poligona. Med izmerama je minilo slabih 15 let in število identičnih reperjev v obeh terminskih izmera, ki so se ohranili na območju mestne nivelmanske mreže Ljubljana, je zato kar veliko. V obeh izmerah je bilo izmerjenih 655 identičnih reperjev. Izmeri sta bili navezani na fundamentalne reperje mestne nivelmanske mreže I. reda.

Izravnava in preračun izmer je opravljen na fundamentalni reper FR 4. Število reperjev, ki so v postopku obdelave rezultatov izravnave s programom PREMİK določeni kot premaknjeni, je 81 (12,4%) (preglednica 9).

V mreži obravnavamo tudi nivelmanske zanke, ki potekajo po robu območja Ljubljanskega barja. Večji del reperjev, pri katerih je bil zaznan premik, je stabiliziranih na tem območju. Takih reperjev je 60 in so v spodnji preglednici označeni s svetlo rumeno barvo.

Na območju mesta je torej le 21 (3,2%) reperjev, kjer njihova razlika višin med obema terminskima izmerama presega trikratno vrednost natančnosti določitve razlike višin. Večina teh reperjev se nahaja na območju dveh delov Ljubljane – Bežigrada in Šiške. Na tem območju pa sta bili izvedeni tudi izmeri leta 1994 in 2000.

Izpis celotnih rezultatov je v prilogi (datoteka pre.sez).

Preglednica 9: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1962-65 in 1971-76

Reper	d_h [m]	σ_{d_h} [m]	T	T kritična [%]	α dejanski
39_53	-0,0242	0,0023	-10,3907	1,96	0
35_13	-0,0143	0,0024	-6,0104	1,96	0
21_39	0,0528	0,0020	25,7725	1,96	0
18_30	0,0110	0,0022	5,0641	1,96	0
17_42	-0,0074	0,0022	-3,4309	1,96	0,06
15_7	-0,0083	0,0024	-3,5086	1,96	0,05
2_11	-0,0177	0,0023	-7,6904	1,96	0

106	-0,0083	0,0022	-3,7037	1,96	0,02
111	-0,0154	0,0023	-6,7077	1,96	0
120_2	-0,0099	0,0022	-4,4001	1,96	0
216	-0,0078	0,0026	-3,0461	1,96	0,23
5745	-0,0089	0,0021	-4,1358	1,96	0
5755	-0,0182	0,0021	-8,4843	1,96	0
5749	-0,0078	0,0023	-3,4401	1,96	0,06
164	-0,0258	0,0023	-11,3092	1,96	0
18_14	-0,0129	0,0023	-5,6611	1,96	0
5751	-0,0081	0,0023	-3,5407	1,96	0,04
163	-0,0121	0,0022	-5,4005	1,96	0
5753	-0,0105	0,0021	-4,8882	1,96	0
18_17	-0,0489	0,0021	-23,0465	1,96	0
19_6	-0,0137	0,0021	-6,5719	1,96	0
5807	-0,0145	0,0021	-6,8167	1,96	0
27_7	-0,0131	0,0021	-6,1751	1,96	0
20_8	-0,0078	0,0019	-4,0416	1,96	0,01
8_14	0,0187	0,0021	8,8771	1,96	0
16_1	-0,0137	0,0022	-6,3484	1,96	0
8_3	-0,0085	0,0021	-4,1151	1,96	0
128	-0,0111	0,0021	-5,3152	1,96	0
7_2	-0,0099	0,0020	-4,9494	1,96	0
133_1	-0,0198	0,0019	-10,2768	1,96	0
5932	-0,0139	0,0019	-7,2845	1,96	0
26_12	-0,0076	0,0020	-3,7732	1,96	0,02
26_9	0,0258	0,0021	12,2853	1,96	0
5884	-0,0079	0,0018	-4,3427	1,96	0
17_3	0,0090	0,0023	3,9736	1,96	0,01
17_40	0,0158	0,0023	6,9581	1,96	0
5813	-0,0261	0,0023	-11,4607	1,96	0
17_5	-0,0085	0,0023	-3,7346	1,96	0,02
15_5	-0,0178	0,0023	-7,7138	1,96	0
5833	-0,0073	0,0024	-3,0205	1,96	0,25
5838	-0,0097	0,0025	-3,8773	1,96	0,01
14_4	-0,0096	0,0025	-3,8196	1,96	0,01
5926	-0,0046	0,0015	-3,0204	1,96	0,25
41_5	-0,0097	0,0028	-3,5168	1,96	0,04
39_5	-0,0207	0,0024	-8,5781	1,96	0
39_6	-0,0674	0,0025	-27,1298	1,96	0
39_3	-0,0406	0,0025	-16,1875	1,96	0
40_26	-0,0462	0,0025	-18,1580	1,96	0
39_2	-0,0307	0,0026	-12,0033	1,96	0
39_1	-0,0450	0,0026	-17,5538	1,96	0
41_19	-0,0222	0,0027	-8,3665	1,96	0
5643	-0,0415	0,0027	-15,2432	1,96	0
41_20	-0,0333	0,0028	-11,8874	1,96	0
218	-0,0349	0,0029	-12,2110	1,96	0
41_26	-0,0297	0,0029	-10,3087	1,96	0
41_24	-0,0262	0,0030	-8,8567	1,96	0
41_23	-0,0157	0,0030	-5,2529	1,96	0
41_25	-0,0485	0,0030	-16,1040	1,96	0
41_22	-0,0169	0,0030	-5,5565	1,96	0
41_21	-0,0257	0,0031	-8,4332	1,96	0
41_18	-0,0439	0,0031	-14,2994	1,96	0
41_17	-0,0192	0,0031	-6,2809	1,96	0
40_22	-0,0170	0,0026	-6,6018	1,96	0
5644	-0,0336	0,0026	-12,8462	1,96	0

40_18	-0,0386	0,0026	-14,6929	1,96	0
40_17	-0,0334	0,0026	-12,6642	1,96	0
5905	-0,0389	0,0026	-14,7882	1,96	0
41_2	-0,0336	0,0026	-12,9943	1,96	0
39_8	-0,0116	0,0027	-4,2789	1,96	0
39_9	-0,0112	0,0028	-4,0720	1,96	0
39_10	-0,0164	0,0028	-5,8614	1,96	0
39_11	-0,0146	0,0028	-5,1284	1,96	0
39_13	-0,0248	0,0029	-8,6436	1,96	0
39_14	-0,0245	0,0029	-8,4744	1,96	0
39_15	-0,0174	0,0029	-6,0041	1,96	0
220	0,0143	0,0029	4,9483	1,96	0
39_16	-0,0191	0,0029	-6,6012	1,96	0
39_17	-0,0215	0,0029	-7,3928	1,96	0
39_26	-0,0146	0,0029	-5,0166	1,96	0
39_24	-0,0098	0,0028	-3,4720	1,96	0,05
39_18	-0,0073	0,0023	-3,1644	1,96	0,16

7.1.2 Določitev premikov s programom PREMİK med izmero med leti 1962 in 1965 ter izmero leta 1994

Velikost premikov oz. določitev reperjev, pri katerih lahko sklepamo o premiku, smo opravili tudi med izmero med leti 1962 in 1965 ter izmero leta 1994. Gre za primerjavo najstarejše izmere z najnovejšo in sicer za območje, ki ga pokrivajo zanke, izmerjene leta 1994. Pri določevanju nestabilnih reperjev v prejšnjem poglavju je bilo ugotovljeno, da so premiki na območju mesta Ljubljane prisotni predvsem na območju Bežigrada in Ježice ter Šiške in Šentvida. Vertikalni premiki so določeni za obdobje 30 let, kar nam daje oprijemljive podatke za geološko intepretacijo in možnost ugotavljanja dejavnih prelomnih con.

V analizi določevanja premaknjenih reperjev je vključenih 150 reperjev, ki so se ohranili in bili izmerjeni pri obeh izmerah. Med rezultati najdemo 77 (51,3%) reperjev, ki so se premaknili. To lahko trdimo na osnovi predpostavljenega pogoja, da je pri $d_h > 3 \cdot \sigma_{d_h}$ reper premaknjen. Velikosti premikov reperjev so vse od reda velikosti nekaj milimetrov pa do dobrih 8 cm, kar je maksimalna vrednost – reper 14_12 se je premaknil za 8,40 cm. Velikosti premikov posameznih reperjev so razvidne iz rezultatov v prilogi (datoteka pre.sez).

Preglednica 10: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMIK 1962-65 in 1994

Reper	d_h [m]	σ_{d_h} [m]	T	T kritična [%]	α dejanski
7_20	-0,0233	0,0019	-12,5507	1,96	0
7_21	-0,0291	0,0018	-16,1199	1,96	0
6_14	-0,0073	0,0017	-4,2888	1,96	0
6_15	-0,0069	0,0017	-4,0388	1,96	0,01
6_28	-0,0054	0,0017	-3,1829	1,96	0,15
6_5	-0,0064	0,0017	-3,7052	1,96	0,02
6_26	-0,0103	0,0017	-6,1171	1,96	0
6_8	-0,0054	0,0017	-3,1899	1,96	0,14
6_7	-0,0059	0,0017	-3,4853	1,96	0,05
6_21	-0,0155	0,0017	-9,1353	1,96	0
6_31	-0,0134	0,0017	-7,9028	1,96	0
3_19	-0,0067	0,0013	-4,9824	1,96	0
2_13	-0,0212	0,0019	-10,9976	1,96	0
15_20	0,0726	0,0021	34,2745	1,96	0
15_7	-0,0178	0,0022	-8,1544	1,96	0
14_12	0,0840	0,0022	37,5588	1,96	0
13_8	-0,0277	0,0023	-11,8725	1,96	0
12_20	-0,0191	0,0022	-8,8113	1,96	0
12_5	-0,0208	0,0021	-9,9437	1,96	0
12_7	-0,0065	0,0021	-3,1265	1,96	0,18
12_8	-0,0163	0,0021	-7,8751	1,96	0
12_14	-0,0092	0,0021	-4,3329	1,96	0
10_68	-0,0078	0,0017	-4,4939	1,96	0
1_18	-0,0098	0,0019	-5,1469	1,96	0
1_1	-0,006	0,0017	-3,4648	1,96	0,05
5972	-0,0068	0,0017	-4,0849	1,96	0
3_15	-0,0042	0,0014	-3,0317	1,96	0,24
5919	-0,0046	0,0014	-3,3920	1,96	0,07
7_19	-0,0135	0,0017	-7,7331	1,96	0
8_37	-0,0069	0,0017	-3,9395	1,96	0,01
7_17	-0,0169	0,0017	-9,9189	1,96	0
7_18	-0,0482	0,0017	-28,3405	1,96	0
5897	-0,0083	0,0017	-4,9109	1,96	0
7_25	-0,0062	0,0017	-3,6703	1,96	0,02
7_13	-0,0052	0,0017	-3,0632	1,96	0,22
12_11	-0,0128	0,0021	-5,9831	1,96	0
12_10	-0,0163	0,0021	-7,6142	1,96	0
5882	-0,0188	0,0021	-8,8246	1,96	0
12_21	-0,0137	0,0021	-6,3828	1,96	0
12_18	-0,0233	0,0021	-10,8804	1,96	0
5873	-0,0062	0,0018	-3,4042	1,96	0,07
2_10	-0,0187	0,0020	-9,3026	1,96	0
2_9	-0,0202	0,0020	-10,3136	1,96	0
5836	-0,0222	0,0019	-11,7762	1,96	0
2_6	-0,0188	0,0019	-10,1543	1,96	0
116	-0,0070	0,0022	-3,1240	1,96	0,18
123	-0,0095	0,0020	-4,7246	1,96	0
139	-0,0071	0,0014	-4,9518	1,96	0
151	-0,0056	0,0014	-3,9284	1,96	0,01
5823	-0,0190	0,0021	-9,2094	1,96	0
8_16	-0,0066	0,0021	-3,1591	1,96	0,16
8_10	-0,0099	0,0017	-5,7902	1,96	0
7_1	-0,0107	0,0017	-6,3107	1,96	0
7_2	-0,0348	0,0017	-20,8751	1,96	0

7_3	-0,0124	0,0017	-7,3710	1,96	0
7_9	-0,0222	0,0017	-12,745	1,96	0
5868	-0,0078	0,0017	-4,5575	1,96	0
2744	-0,0051	0,0016	-3,1016	1,96	0,19
5881	-0,0052	0,0015	-3,3975	1,96	0,07
3_1	-0,0045	0,0015	-3,0756	1,96	0,21
2771	-0,0055	0,0014	-3,8202	1,96	0,01
3_2	-0,0049	0,0014	-3,4633	1,96	0,05
3_5	-0,0056	0,0014	-3,9535	1,96	0,01
10_7	-0,0125	0,0017	-7,3172	1,96	0
5889	-0,0116	0,0017	-6,7955	1,96	0
5_2	-0,0059	0,0016	-3,5697	1,96	0,04
15_5	-0,0407	0,0021	-19,0871	1,96	0
15_4	-0,0138	0,0021	-6,4872	1,96	0
5835	-0,0096	0,0021	-4,4693	1,96	0
14_1	-0,0145	0,0022	-6,7088	1,96	0
5833	-0,0137	0,0022	-6,2147	1,96	0
113	-0,0082	0,0023	-3,5341	1,96	0,04
5841	-0,0106	0,0024	-4,3616	1,96	0
115	-0,0229	0,0024	-9,4650	1,96	0
13_1	-0,0168	0,0023	-7,1847	1,96	0
5834	-0,0135	0,0022	-6,1799	1,96	0
14_4	-0,0124	0,0023	-5,4796	1,96	0

7.1.3 Določitev premikov s programom PREMİK med izmero med leti 1962 in 1965 ter izmero leta 2000

Obravnavamo 67 identičnih reperjev, izmerjenih v obeh izmerah. Med njimi je 17 (25,4%) reperjev takih, kjer velikost premika presega trikratno vrednost velikosti natančnosti določitve razlike višin. Izpis določitve velikosti premikov vseh reperjev je v prilogi (datoteka pre.sez), seznam reperjev, ki so bili določeni kot premaknjeni, pa je podan v spodnji tabeli (preglednica 11):

Preglednica 11: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1962-65 in 2000

Reper	d_h [m]	σ_{d_h} [m]	T	T kritična [%]	α dejanski
6_14	-0,0091	0,0022	-4,1613	1,96	0
6_15	-0,0082	0,0022	-3,7303	1,96	0,02
6_31	-0,0163	0,0022	-7,4841	1,96	0
10_68	-0,0095	0,0022	-4,3343	1,96	0
10_22	-0,0092	0,0022	-4,2152	1,96	0
5972	-0,0088	0,0022	-4,1049	1,96	0
145	-0,0071	0,0021	-3,3379	1,96	0,08
148	-0,0148	0,0021	-7,1128	1,96	0
20_8	-0,0135	0,0021	-6,5522	1,96	0
11_2	-0,0098	0,0021	-4,5913	1,96	0
8_10	-0,0120	0,0022	-5,5453	1,96	0
5861	-0,0107	0,0022	-4,9163	1,96	0

8_11	-0,0072	0,0022	-3,3224	1,96	0,09
8_12	-0,0086	0,0022	-3,9768	1,96	0,01
153	-0,0066	0,0019	-3,3807	1,96	0,07
10_7	-0,0143	0,0022	-6,5970	1,96	0
5889	-0,0134	0,0022	-6,1908	1,96	0

7.1.4 Določitev premikov s programom **PREMIK** med izmero med leti 1971 in 1976 ter izmero leta 1994

Do leta 1994 se je na območju sanacijske izmere mestne nivelmanske mreže Ljubljana t.j. v zankah 1, 2, 3, 5, 6, 7, 12, 13, 14 in 56 ohranilo 86 reperjev, ki so bili izmerjeni v izmeri med leti 1971 in 1976. Izmere nivelmanske mreže leta 1994 je bila zelo kvalitetna, zato je tudi natančnost izračunanih razlik višin (premikov) med obema terminskima izmerama zelo velika.

Med vsemi identičnimi reperji je pri stopnji značilnosti $\alpha = 5\%$ in testni statistiki T kar 56 (65,1%) reperjev (označeni z indikatorjem) nestabilnih. Največja premika sta bila pri reperju 7_2, kjer le ta znaša -2,53 cm ter pri reperju 15_5, kjer je premik velik -2,38 cm. Pregled izpisa dela rezultatov je v spodnji tabeli (preglednica 12) (datoteka pre.sez).

Preglednica 12: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMIK 1971-76 in 1994

Reper	d_h [m]	σ_{d_h} [m]	T	T_kritična [%]	α _dejanski
7_10	-0,0048	0,0015	-3,1731	1,96	0,15
6_21	-0,0131	0,0015	-8,7163	1,96	0
15_7	-0,0095	0,0019	-5,0658	1,96	0
1_28	-0,0055	0,0016	-3,54	1,96	0,04
8_37	-0,0062	0,0016	-3,9838	1,96	0,01
1_10	-0,005	0,0014	-3,4462	1,96	0,06
12_18	-0,0191	0,0019	-10,0797	1,96	0
5873	-0,0072	0,0015	-4,7991	1,96	0
116	-0,0064	0,0019	-3,2893	1,96	0,1
123	-0,0067	0,0018	-3,7702	1,96	0,02
138	-0,0044	0,0012	-3,5368	1,96	0,04
139	-0,009	0,0013	-7,1676	1,96	0
141	-0,0043	0,0014	-3,0103	1,96	0,26
151	-0,0059	0,0012	-4,9875	1,96	0
5823	-0,0165	0,0018	-8,972	1,96	0
8_9	-0,0061	0,0015	-4,0552	1,96	0,01
8_10	-0,0089	0,0015	-6,0155	1,96	0
7_1	-0,0106	0,0015	-7,0504	1,96	0
7_2	-0,0249	0,0015	-16,6615	1,96	0
7_3	-0,0118	0,0015	-7,8982	1,96	0
7_9	-0,0176	0,0015	-11,4928	1,96	0
5868	-0,0072	0,0015	-4,7602	1,96	0

5875	-0,0059	0,0016	-3,6965	1,96	0,02
5880	-0,0049	0,0014	-3,5763	1,96	0,03
2744	-0,0054	0,0013	-4,0169	1,96	0,01
2_4	-0,0046	0,0013	-3,4948	1,96	0,05
5881	-0,0055	0,0013	-4,3977	1,96	0
2_2	-0,0047	0,0013	-3,7145	1,96	0,02
3_1	-0,0063	0,0012	-5,1783	1,96	0
2771	-0,0066	0,0012	-5,6895	1,96	0
3_2	-0,0061	0,0012	-5,2536	1,96	0
3_5	-0,0056	0,0012	-4,7525	1,96	0
3_6	-0,0045	0,0012	-3,6873	1,96	0,02
5_3	-0,0046	0,0013	-3,586	1,96	0,03
5890	-0,0047	0,0015	-3,2144	1,96	0,13
10_5	-0,0045	0,0015	-3,0201	1,96	0,25
10_7	-0,0104	0,0015	-6,9492	1,96	0
5889	-0,0112	0,0015	-7,4503	1,96	0
5_2	-0,0054	0,0014	-3,723	1,96	0,02
15_5	-0,0229	0,0019	-12,148	1,96	0
15_4	-0,0112	0,0019	-5,9914	1,96	0
5835	-0,007	0,0019	-3,7291	1,96	0,02
14_1	-0,0104	0,0019	-5,4537	1,96	0
5833	-0,0064	0,002	-3,2436	1,96	0,12
113	-0,007	0,002	-3,4658	1,96	0,05
5841	-0,0113	0,002	-5,5179	1,96	0
115	-0,0206	0,002	-10,2087	1,96	0
13_1	-0,0146	0,002	-7,2833	1,96	0
5834	-0,0094	0,0019	-4,9104	1,96	0
7_7	-0,0048	0,0014	-3,3519	1,96	0,08
2_12	-0,0049	0,0014	-3,5297	1,96	0,04
5426	-0,005	0,0015	-3,2141	1,96	0,13
7_26	-0,0044	0,0014	-3,052	1,96	0,23
NVTc_412	-0,0049	0,001	-4,9727	1,96	0
8_38	-0,0088	0,0015	-5,855	1,96	0
8_35	-0,0053	0,0017	-3,1338	1,96	0,17

7.1.5 Določitev premikov s programom PREMİK med izmero med leti 1971 in 1976 ter izmero leta 2000

Izmero mestne nivelmanske mreže med leti 1971 in 1976 primerjamo s sanacijsko izmero dela mestne mreže izmerjene v letu 2000, ki je obsegala zanke oz. dele zank 4, 22, 23 in 24. Izmeri imata 60 identičnih reperjev. Pri statističnem testiranju je bilo v izračunu kot nestabilnih, določenih 19 (31,7%) reperjev. Največji premik je bil izračunan za reper 20_4, ki znaša 1,40 cm v dobi 25 let. Pregled izpisa dela rezultatov je v spodnji preglednici (preglednica 13) (datoteka pre.sez).

Preglednica 13: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMIK 1971-76 in 2000

Reper	d_h [m]	σ_{d_h} [m]	T	T_kritična [%]	α dejanski
10_22	-0,0088	0,002	-4,3606	1,96	0
148	-0,014	0,0019	-7,3545	1,96	0
150	-0,0053	0,0018	-3,0035	1,96	0,27
5949	-0,006	0,002	-3,0235	1,96	0,25
20_8	-0,0058	0,0019	-3,0867	1,96	0,2
11_2	-0,011	0,002	-5,6165	1,96	0
8_9	-0,0063	0,002	-3,0882	1,96	0,2
8_10	-0,0111	0,002	-5,5425	1,96	0
5861	-0,0093	0,002	-4,647	1,96	0
8_11	-0,0069	0,002	-3,4602	1,96	0,05
8_12	-0,0092	0,002	-4,6	1,96	0
3_6	-0,0059	0,0019	-3,1384	1,96	0,17
153	-0,0056	0,0017	-3,2255	1,96	0,13
24_4	-0,006	0,0019	-3,1138	1,96	0,18
24_7	-0,0058	0,0018	-3,2176	1,96	0,13
5890	-0,0065	0,002	-3,2609	1,96	0,11
10_5	-0,0064	0,002	-3,231	1,96	0,12
10_7	-0,0122	0,002	-6,0926	1,96	0
5889	-0,013	0,002	-6,4677	1,96	0

S programom PREMIK določujemo stabilne in nestabilne reperje na osnovi testne statistike T . Kot premaknjen je določen vsak reper, kjer velikost premika presega 3 kratno vrednost natančnosti določitve premika. Pri pregledu rezultatov ugotovimo, da bi lahko za kar nekaj reperjev trdili, da so pogojno premaknjeni, saj je velikost premika le malo manjša od trikratne vrednosti natančnosti določitve premika. Ob predpostavki, da za določevanje vertikalnih premikov upoštevamo le nivelmanske mreže višjih redov, ki so izmerjene z veliko natančnostjo, bi lahko vrednost skalarja spremenili.

Za določitev reperjev, za katere sklepamo, da so pogojno premaknjeni, je bil program PREMIK prilagojen. Kot premaknjen določi vsak reper, pri katerem je velikost premika večja od 2,5 kratne vrednosti natančnosti določitve premika. Program je poimenovan PREMIK2.5

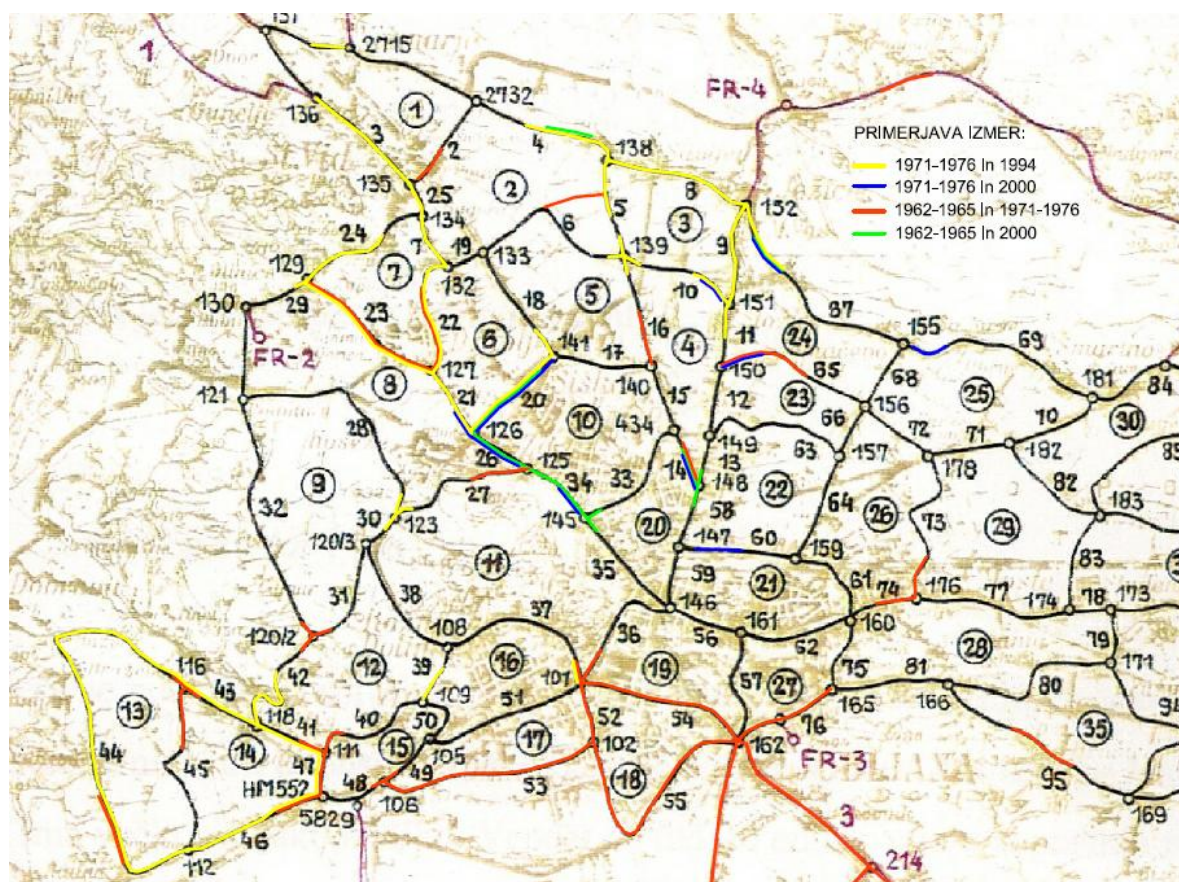
Izpis rezultatov določevanja premaknjenih reperjev s programom PREMIK2.5 je v prilogi (datoteka pre2_5.sez). Število reperjev, ki so določeni kot premaknjeni, se pri tem pogoju poveča (preglednica 14).

Preglednica 14: Primerjava št. premaknjenih reperjev – PREMIK in PREMIK2.5

Izmeri	Št. id. reperjev	$d_h > 3 \cdot \sigma_{d_h}$	$d_h > 2,5 \cdot \sigma_{d_h}$
1962-65 in 1971-76	655	81 (12,4%)	90 (13,7%)
1962-65 in 1994	150	77 (51,3%)	89 (59,3%)
1962-65 in 2000	67	17 (24,4%)	21 (31,3%)
1971-76 in 1994	86	56 (65,1%)	60 (69,8%)
1971-76 in 2000	60	19 (31,7%)	25 (41,7%)

Iz preglednice vidimo, da je število reperjev, ki so se premaknili, odvisno od natančnosti določitve vertikalnega premika, ki je odvisen od natančnosti določitve višine reperja v posamezni izmeri.

Za lažjo predstavo, na katerih območjih mestne nivelmanske mreže Ljubljana je prišlo do premikov, smo izdelali karto z vrisanimi poligonskimi linijami ali njenimi deli (slika 11).



Slika 11: Območja premikov v mestni nivelmanski mreži Ljubljana

7.1.6 Določitev premikov s programom PREMİK med izmero med leti 1971 in 1975 ter izmerama leta 2007 in 2009

Za del Ljubljanske kotline, ki obsega območje med Črnučami in Dolskim, so bili v raziskavi geodinamičnega dogajanja v letu 2009, določeni in analizirani vertikalni premiki. Cilj raziskave je bil, zaradi poznanih tektonskih prelomnic, določiti vertikalne premike s primerjavo danih izmer višinske mreže na območju levega in desnega brega Save. Opravljena je bila primerjava izmer med leti 1971 in 1975 ter izmerama v letih 2007 in 2009. Izmera leta 2007 je bila opravljena za potrebe priprave projektne dokumentacije in kasnejše izgradnje hidroelektrarn na srednji Savi. Izmera leta 2009, na levem bregu reke Save, je bil opravljen za potrebe izdelave seizmotektonskega modela Ljubljanske kotline. Območje pokrivata zanki 46 in 50.

Ker smo že imeli pripravljene datoteke za izravnavo (1971.pod in 2009.pod), smo ju vključili v izračune v sklopu diplomske naloge. Na omenjenem območju je bila v obeh izmerah določena višina 58 identičnim reperjem. Pri izračunu s programom PREMİK je kot nestabilnih določenih kar 32 (55,2%) reperjev. Pregled izpisa dela rezultatov je v spodnji preglednici (preglednica 15) (datoteka pre.sez).

Preglednica 15: Nestabilni reperji – primerjava izmer – PREMİK 1971-75 in 2007-09

Reper	d_h [m]	σ_{d_h} [m]	T	T_kritična [%]	α _dejanski
155	-0,0071	0,0009	-8,2416	1,96	0
181	-0,0125	0,0010	-12,2554	1,96	0
189	-0,0049	0,0011	-4,6463	1,96	0
46_1	-0,0043	0,0005	-9,4410	1,96	0
153	-0,0095	0,0007	-13,6333	1,96	0
24_3	-0,0076	0,0008	-9,4998	1,96	0
24_4	-0,0081	0,0009	-9,4092	1,96	0
5976	-0,0033	0,0009	-3,6958	1,96	0,02
5977	-0,0072	0,0010	-7,4749	1,96	0
180	-0,0084	0,0010	-8,5359	1,96	0
30_1	0,0355	0,0010	34,3492	1,96	0
5997	-0,0036	0,0012	-3,0052	1,96	0,27
190	-0,0038	0,0012	-3,1353	1,96	0,17
32_5	-0,0061	0,0012	-4,9485	1,96	0
33_1	0,0789	0,0013	58,9296	1,96	0
46_2	-0,0073	0,0004	-19,1752	1,96	0
5633	-0,0075	0,0003	-25,4456	1,96	0
46_14	-0,0016	0,0003	-4,8338	1,96	0
46_15	-0,0022	0,0004	-5,4016	1,96	0
5926	-0,0127	0,0006	-20,6246	1,96	0
211	-0,0079	0,0007	-11,7474	1,96	0

46_13	-0,0107	0,0008	-13,7618	1,96	0
46_12	-0,0052	0,0008	-6,4405	1,96	0
46_25	-0,0029	0,0008	-3,4574	1,96	0,05
46_26	-0,0039	0,0009	-4,4312	1,96	0
212	0,0129	0,0009	14,1062	1,96	0
30_2	-0,0043	0,0011	-4,0442	1,96	0,01
50_4	-0,0054	0,0011	-4,7548	1,96	0
50_21	0,0055	0,0015	3,699	1,96	0,02
50_22	-0,0394	0,0015	-26,7826	1,96	0
PN210	-0,0043	0,0003	-14,0504	1,96	0
CP412	-0,0083	0,0006	-15,0664	1,96	0

Izmeri smo primerjali tudi s programom PREMİK2.5. Število nestabilnih reperjev se poveča le za 2 (skupaj 34 oz. 58,6%), saj sta kot nestabilna določena tudi reper 346 in fundamentalni reper FR 8.

7.2 Deformacijska analiza Hannover

Z deformacijsko analizo z metodami statistične analize na osnovi geodetskih opazovanj odkrijemo in določimo nastale premike fizične površine Zemlje ali objektov na njej.

Postopek deformacijske analize Hannover je razvil Hans Pelzer na Geodetskem inštitutu Univerze Hannover v Zvezni republiki Nemčiji. Metoda temelji na ugotavljanju globalne stabilnosti koordinat točk geodetske mreže, na osnovi srednjega neujemanja med dvema neodvisnima terminskima izmerama. Za posamezno terminsko izmero opravimo izravnavo in upoštevamo predpostavke, da so iz opazovanj odstranjeni grobi in sistematični pogreški, slučajni pogreški pa so normalno porazdeljeni. Na podlagi srednjega neujemanja določimo morebitne premike točk mreže.

Metoda je sestavljena iz več delov. Prvi korak je izravnavo opazovanj posameznih terminskih izmer kot prostih mrež. Nadaljujemo s testiranjem prisotnosti in izločanja grobih pogreškov. Po dokončni določitvi uteži v posameznih terminskih izmerah se izvede določitev izravnanih koordinat. Sledi testiranje homogene natančnosti opazovanj v obeh terminskih izmerah in testiranje skladnosti celotne mreže ter posameznih delov. Če se med rezultati testiranja pokažejo morebitna odstopanja med posameznimi terminskimi izmerami, lahko potrdimo prisotnost nestabilnih točk v mreži. Sledi testiranje stabilnosti referenčnih točk. Kot referenčne točke lahko obravnavamo vse točke v mreži ali pa le skupino referenčnih točk.

Morebitne nestabilne točke znotraj referenčnih točk, določene s potrditvijo domneve, s postopkom določitve izločimo. Deformacijska analiza Hannover zaključi postopek s testiranjem premikov točk in izpisom premikov nestabilnih točk. Metoda je uporabna za 1, 2 in 3 dimenzionalne mreže.

Postopek lahko razdelimo na šest korakov (Ambrožič, 2001):

- obdelava posameznih terminskih izmer,
- testiranje homogenosti natančnosti opazovanj v dveh terminskih izmerah,
- globalni test stabilnosti točk mreže med dvema terminskima izmerama,
- testiranje stabilnosti referenčnih točk,
- postopek določitve nestabilnih referenčnih točk,
- testiranje premikov točk na objektu.

Prednosti postopka Hannover so naslednje (Ambrožič, 2001):

- ni potreben enak plan opazovanj v obeh izmerah,
- ni potrebno opraviti iste vrste opazovanj v obeh izmerah,
- ni potrebno imeti enakega števila opazovanj v obeh izmerah,
- ni potrebno imeti geodetske mreže identične oblike v obeh izmerah, vendar moramo koordinatne neznanke neidentičnih točk pred inverzijo ustrezno odstraniti in
- ni potrebno opraviti stroge analize, če ugotovimo, da je premik točke petkrat večji od pripadajočega standardnega odstopanja.

Omejitvi oz. predpostavki postopka Hannover pa sta naslednji (Ambrožič, 2001):

- v obeh izmerah moramo imeti statistično enaki a posteriori referenčni varianci enote uteži in
- v obeh izmerah moramo imeti iste približne koordinate točk.

7.2.1 Uporaba deformacijske analize – program DAH

Program DAH, **D**eformacijska **A**naliza **H**annover, avtorja Tomaža Ambrožiča, na osnovi pravilno urejenih datotek opravi statistično analizo stabilnosti geodetske mreže po postopku opisanem v poglavju 7.2. Potrebujemo tri datoteke:

- datoteka z rezultati izravnave 1. terminske izmere,
- datoteka z rezultati izravnave 2. terminske izmere,
- datoteko s skupnimi podatki za oceno stabilnosti točk.

Datoteki z rezultati izravnave proste mreže 1. in 2. terminske izmere (primer1.def in primer2.def) kot izhodno datoteko z rezultati pripravi program VimWin sam in vsebujeta:

- število nadštevilnih merjenj,
- seznam točk z izravnanimi višinami,
- a posteriori srednji pogrešek utežne enote,
- defekt datuma,
- matriko kofaktorjev koordinatnih neznank.

Vhodno datoteko (*.def) s skupnimi podatki za program DAH sestavimo tako:

*P ime datoteke s podatki **P**redhodne terminske izmere

ime_datoteke_predhodne

*T ime datoteke s podatki **T**ekoče terminske izmere

ime_datoteke_tekoče

*D **D**imenzija mreže

dim

*A stopnja značilnosti testa α

alfa

*O začetno število **O**snovnih točk

št_osnovnih_točk

*Konec

Program DAH nam v izhodni datoteki izpiše naslednje rezultate:

- testiranje homogenosti natančnosti opazovanj v obeh terminskih izmerah,
- globalni test stabilnosti točk med dvema terminskima izmerama,
- testiranje stabilnosti referenčnih točk,
- določitev nestabilnih referenčnih točk,
- testiranje premikov točk na objektu.

Rezultate, izračunane s programom DAH, lahko primerjamo tudi z rezultati dobljenih premikov oz. nestabilnih točk s programom PREMİK.

7.2.2 Predstavitev in ocena rezultatov

Določevanje stabilnosti mreže oz. reperjev s programom DAH ni bilo izvedljivo za vse možne kombinacije terminskih izmer, zaradi nekaterih omejitev, ki jih navajamo:

- Program ima omejitev glede števila točk v mreži – za statistično analiziranje mreže lahko obravnavamo 448 identičnih reperjev v obeh terminskih izmerah.
- Program na začetku testira homogeno natančnosti opazovanj v obeh terminskih izmerah. Če zavrne ničelno hipotezo, ki pravi, da so opazovanja v obeh terminskih izmerah homogena, potem se ustavi in ne nadaljuje s testiranjem stabilnosti točk med dvema izmerama. Zavrnitev ničelne hipoteze v praksi pomeni nepravilno izbrane uteži ali prisotnost grobih pogreškov v opazovanjih.
- Program testira stabilnost točk le med dvema terminskima izmerama. Ta omejitev se v praksi odraža z zamudnim delom, kar se je zgodilo v našem primeru, saj smo obravnavali štiri izmere.

Mestne nivelmanske mreže Ljubljana je bila s programom DAH statistično testirana o stabilnosti s primerjavo naslednjih terminskih izmer:

- a) izmeri v obdobjih 1962 – 1965 ter 1971 – 1976

Deformacijska analiza ni bila izvedljiva zaradi prevelikega števila identičnih reperjev. Število reperjev v mreži bi lahko zmanjšali na več načinov. To lahko storimo z izločitvijo stabilnih

reperjev t.j. reperjev, ki so bili s programom PREMİK določeni kot ne premaknjeni. Druga možnost je, da z območja, kjer imamo večje število identičnih reperjev v obeh terminskih izmerah, izločimo tiste, pri katerih je bil zaznan premik, vendar pa izločitev posameznih reperjev ne bi imela vpliva na določitev premikov za celotno območje.

Iz rezultatov statističnega testiranja stabilnosti mreže ostalih terminskih izmer lahko sklepamo, da bi bila ob znanih standardnih deviacijah po izravnavi, ničelna hipoteza o homogenosti natančnosti obeh izmer zavrnjena in program ne bi mogel dokončati statističnega testiranja. Standardna deviacija po izravnavi za izmero med leti 1962 in 1965 znaša 0,79 mm/km, za izmero med leti 1972 in 1976 pa 0,82 mm/km.

b) izmeri v obdobju 1962 – 1965 ter leta 1994

Deformacijska analiza ni bila izvedljiva zaradi zavrnitve ničelne hipoteze pri testiranju homogenosti natančnosti obeh izmer. Standardna deviacija po izravnavi za izmero med leti 1962 in 1965 znaša 0,79 mm/km, za izmero leta 1994 pa 0,40 mm/km. Izpis rezultatov programa DAH je v prilogi – datoteka dah63-94.sez.

c) izmeri v obdobju 1962 – 1965 ter leta 2000

Izmeri imata 67 identičnih reperjev. Vrednosti srednjih pogreškov iz popravkov višinskih razlik po izravnavi sta bili skladni in program je lahko opravil izračun do konca. Med vsemi obravnavanimi reperji je bilo 31 (46,3%) reperjev določenih kot stabilnih. Pri statističnem testiranju stabilnosti mreže je bilo ugotovljeno, da je fundamentalni reper FR 3 stabilen, fundamentalni reper FR 4 pa ne. Rezultat je zanimiv, saj smo pred začetkom izračunov predpostavili, da je fundamentalni reper FR 4 stabilen. Kljub temu je smiselno kot izhodiščni reper za vse izmere vzeti fundamentalni reper FR 4, saj je bil vključen v vse izmere, ki so bile obravnavane v sklopu naloge. Izpis rezultatov programa DAH je v prilogi – datoteka dah63-00.sez.

d) izmeri v obdobju 1971 – 1976 ter leta 1994

Deformacijska analiza ni bila izvedljiva zaradi zavrnitve ničelne hipoteze pri testiranju homogenosti natančnosti obeh izmer. Standardna deviacija po izravnavi za izmero med leti 1971 in 1976 znaša 0,56 mm/km, za izmero leta 1994 pa 0,30 mm/km. Izpis rezultatov programa DAH je v prilogi – datoteka dah76-94.sez.

e) izmeri v obdobju 1971 – 1976 ter leta 2000

Navedeni izmeri imata 60 identičnih reperjev. S statistično analizo stabilnosti mreže s programom DAH smo dobili, da je pri primerjavi izmer med leti 1971 – 1976 ter leta 2000 stabilnih le 14 (23,3%) reperjev. Da je število stabilnih reperjev tako majhno, lahko vzrok pripisujemo tudi dejstvu, da sta natančnosti obeh terminskih izmer homogeni, saj srednji pogrešek iz popravkov višinskih razlik po izravnavi znaša za izmero med leti 1971 in 1976 znaša $\pm 0,58$ mm/km, za izmero leta 2000 pa $\pm 0,69$ mm/km.

Med postopkom statističnega testiranja stabilnosti mreže teh dveh terminskih izmer je bilo, podobno kot pri statističnem testiranju terminskih izmer med leti 1962 in 1965 ter 2000 ugotovljeno, da je fundamentalni reper FR 4 nestabilen. Izpis rezultatov je v prilogi – datoteka dah76-00.sez.

8 ZAKLJUČEK

Vertikalne premike točk na površini Zemlje določamo z izračunom višinskih razlik na osnovi dveh terminskih izmer. Pri določevanju premika reperja, ki ga pripisujemo geodinamičnemu dogajanju pod in na površju Zemlje, moramo upoštevati tudi lastne premike reperja ter natančnost meritev. Za določevanje stabilnosti reperjev lahko uporabimo enostavno metodo ugotavljanja vertikalnih premikov s programom PREMİK ali pa metode statističnega testiranja stabilnosti nivelmanskih mrež, kjer so upoštevane tudi statistične povezave v mreži. Tako deluje program DAH, ki stabilnost reperjev v nivelmanski mreži testira po postopku deformacijske analize Hannover.

Program PREMİK za nastabilne reperje določi tiste, ki izpolnjujejo pogoj $d_h > 3 \cdot \sigma_{d_h}$. Pri izračunu je bilo ugotovljeno, da za nekaj reperjev lahko sklepamo, da so pogojno premaknjeni, saj je razmerje med razliko med višinama in 3 kratno vrednostjo natančnosti določitve le te, zelo blizu mejne vrednosti. Za določitev pogojno premaknjenih reperjev je bil uporabljen program PREMİK2.5. Z določitvijo pogojno stabilnih reperjev lahko dobimo dodatno informacijo pogojno nestabilnih območjih.

Za izvedbo celotne deformacijske analize s programom DAH, morata biti izpolnjeni dve predpostavki:

- obravnavamo le identične reperje v obeh obravnavanih terminskih izmerah, kjer imajo le ti enake približne koordinate pri postopku izravnave in
- statistično enaka srednja pogreška iz popravkov višinskih razlik po izravnavi v obeh obravnavanih terminskih izmerah.

Celotno deformacijsko analizo lahko izvedemo le, če sta izpolnjeni ti dve predpostavki.

Izmere mestne nivelmanske mreže Ljubljana, ki so bile obravnavane v nalogi, so bile opravljene v času med leta 1962 do 2009. Pri posameznih izmerah je bil uporabljen različen inštrumentarij, kar delno vpliva tudi na natančnost izmer. Izmera leta 1994 je bila, v primerjavi z ostalimi, opravljena najkvalitetnejše. Pri statističnem testiranju s programom DAH, je zato ni bilo možno obravnavati z ostalimi terminskimi izmerami.

Identičnim reperjem smo s programom PREMİK določili velikost ter natančnost premika. Dejanska velikost vertikalnega premika je najbolj predstavljava s hitrostjo premika, t.j. da velikost premika izrazimo z velikostjo le tega v nekem časovnem obdobju, npr. v enem letu. V prilogi (Priloga 1) smo v preglednici zbrali vse reperje, ki so bili določeni v vsaj dveh terminskih izmerah ter jim določili hitrost in velikost letnih premikov.

Pri določitvi vertikalnih premikov za potrebe analiziranja geodinamičnega dogajanja, je pomembno, da obravnavamo le reperje, za katere lahko izključimo možnost prisotnosti lastnih premikov. Reperji so običajno vzdani v cestne objekte in stavbe ob cestah. Da izločimo reperje, pri katerih na velikost premika vplivajo tudi lastni premiki, je potrebe terenski ogled, katerega opravijo geologi. Najpogostejši vzroki za t.i. lastne premike vzdanih reperjev, so obnove fasad oz. druga gradbena dela na objektih in bližnji okolici. Za določitev vertikalnih premikov, bi torej lahko po opravljenem terenskem ogledu geologov, iz podatkov izločili reperje, za katere bi sklepali, da je prisoten lastni premik reperja.

Naslednji korak in končni rezultat bi lahko bila, poleg izdelane preglednice, tudi izdelava karte izolinij. Na izbrano kartografsko podlago bi vrisali reperje. Tretja koordinata bi predstavljala velikost letnega vertikalnega premika.

VIRI

Ambrožič, T. 2001. Deformacijska analiza po postopku Hannover. Geodetski vestnik, 45, 1&2: 38-53.

Ambrožič, T. 1996. Navodila za uporabo programa DAH, ver. 1.0, jun. '96.

Ambrožič, T., Turk, G. 1999. Navodila za uporabo programa ViM, ver. 3.1, feb. '99.

Ambrožič, T., Turk, G., Stopar, B. 2007. Navodila za uporabo programa PREMİK, ver. 1.0, okt. '07.

Breznikar, A., Koler, B. 1994. Poročilo o izmeri Ljubljanske nivelmanske mreže. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo.

Geodetska uprava Republike Slovenije. 2004. Državna geodezija, katalog digitalnih podatkov, Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana: 59.

Geodetski inštitut Slovenije, 2009. Razvoj DGS 2009, Prehod na nov koordinatni sistem, Končno poročilo: 157.

Hlebec, M. 2000. Sanacija mestne nivelmanske mreže Ljubljana. Diplomaska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 51 f.

Kogoj, D. 2005. Geodezija II – zapiski predavanj.

Koler, B. 1993. Izmere nivelmanskih mrež višjih redov na območju Republike Slovenije. Geodetski vestnik, 37, 4: 274-281.

Koler, B. 1993. Ugotovitev vertikalnih premikov na osnovi analize nivelmanskih mrež višjih redov na območju Slovenije. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo: 198 f.

Koler, B. 1994. Vertikalni datumi nivelmanskih mrež v Sloveniji. Geodetski vestnik, 38, 1: 7-10.

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

Kotar – Rajnar, A., 1998. Analiza in preračun mestne nivelmanske mreže Ljubljana in Ljubljanskega barja. Diplomaska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 77 f.

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

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

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.

Stopar, B. 2005. Izravnalni račun I – zapiski predavanj.

Vodopivec, F. 1972. Merjenje vertikalnih premikov stalnih točk na potresnem območju Ljubljane. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 77 str.

Vodopivec, F. 1976. Raziskava stabilnosti nivelmanskih reperjev Ljubljanske mestne mreže. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 57 str.

PRILOGE

Priloga 1: Vertikalni premiki – mestna nivelmanska mreža Ljubljana

Izmere med leti 1962 in 1965, med leti 1971 in 1976 ter izmere v letih 1994 in 2000:

- višine reperjev H_i [m],
- standardne deviacije določitve višin reperjev σ_i [mm],
- vertikalni premiki reperjev Δ_{j-i} [mm],
- standardne deviacije vertikalnih premikov reperjev $\sigma_{\Delta_{j-i}}$ [mm],
- hitrosti vertikalnih premikov reperjev v_{j-i} [mm/leto],
- standardne deviacije hitrosti vertikalnih premikov reperjev $\sigma_{v_{j-i}}$ [mm/leto].

Modra – izmerjeno leta 1965

Rdeča – reper je premaknjen (PREMIK)

Zelena – reper je pogojno premaknjen (PREMIK2.5)

št. reperja	H 1963	σ 63	H 1971	σ 71	H 1994	σ 94	H 2000	σ 00	Δ71-63	σΔ 71-63	v71-63	σv 71-63	Δ94-63	σΔ 94-63	v94-63	σv 94-63	Δ00-63	σΔ 00-63	v00-63	σv 00-63	Δ94-71	σΔ 94-71	v94-71	σv 94-71	Δ00-71	σΔ 00-71	v00-71	σv 00-71
101	298,01298	1,61	298,01329	1,32					0,31	2,08	0,04	0,26																
102	292,67027	1,65	292,66865	1,40					-1,62	2,16	-0,20	0,27																
103	295,06344	1,71	295,06063	1,51					-2,81	2,28	-0,35	0,29																
104	295,19781	1,71	295,19237	1,43					-5,44	2,23	-0,68	0,28																
105	295,69268	1,70	295,69215	1,42					-0,53	2,22	-0,07	0,28																
106	297,23170	1,71	297,22343	1,44					-8,27	2,24	-1,03	0,28																
107	302,76177	1,73	302,76228	1,43					0,51	2,24	0,06	0,28																
108	298,03075	1,70	298,03227	1,41	298,02816	1,15			1,52	2,21	0,19	0,28	-2,59	2,05	-0,08	0,07					-4,11	1,82	-0,18	0,08				
109	298,21887	1,69	298,21702	1,42					-1,85	2,21	-0,23	0,28																
110	297,30020	1,76	297,29955	1,47	297,29544	1,15			-0,65	2,29	-0,08	0,29	-4,76	2,10	-0,15	0,07					-4,11	1,87	-0,18	0,08				
111	297,98250	1,77	297,96708	1,46					-15,42	2,29	-1,93	0,29																
112	298,60873	1,88	298,60308	1,57					-5,65	2,45	-0,71	0,31																
113	298,26561	1,96	298,26445	1,61	298,25746	1,22			-1,16	2,54	-0,14	0,32	-8,15	2,31	-0,26	0,07					-6,99	2,02	-0,30	0,09				
114	320,66730	2,09	320,66925	1,65					1,95	2,66	0,24	0,33																
115	307,32830	2,09	307,32602	1,61	307,30543	1,22			-2,28	2,64	-0,28	0,33	-22,87	2,42	-0,74	0,08					-20,59	2,02	-0,90	0,09				
116	302,34300	1,89	302,34242	1,54	302,33604	1,17			-0,58	2,44	-0,07	0,30	-6,96	2,22	-0,22	0,07					-6,38	1,93	-0,28	0,08				
117	305,71740	1,93	305,71118	1,62					-6,22	2,52	-0,78	0,31																
118	299,91837	1,78	299,91558	1,49					-2,79	2,32	-0,35	0,29																
119	323,28108	1,75	323,28027	1,51	323,27767	1,14			-0,81	2,31	-0,10	0,29	-3,41	2,09	-0,11	0,07					-2,6	1,89	-0,11	0,08				
120	307,95448	1,83	307,95136	1,56	307,94971	1,07			-3,12	2,40	-0,39	0,30	-4,77	2,12	-0,15	0,07					-1,65	1,89	-0,07	0,08				
121	311,53403	1,74	311,53411	1,47					0,08	2,28	0,01	0,28																
122	308,46649	1,78	308,46727	1,52					0,78	2,34	0,10	0,29																
123	310,91198	1,67	310,90924	1,39	310,90251	1,11			-2,74	2,17	-0,34	0,27	-9,47	2,01	-0,31	0,06					-6,73	1,78	-0,29	0,08				
124	311,24270	1,63	311,24414	1,36					1,44	2,12	0,18	0,27																
125	304,04131	1,53	304,04208	1,27					0,77	1,99	0,10	0,25																
126	306,64337	1,52	306,64257	1,27					-0,80	1,98	-0,10	0,25																
127	309,32580	1,52	309,32531	1,29					-0,49	1,99	-0,06	0,25																
128	314,11141	1,58	314,10035	1,36					-11,06	2,08	-1,38	0,26																
129	334,21805	1,56	334,21945	1,33	334,21896	0,77			1,40	2,05	0,17	0,26	0,91	1,74	0,03	0,06					-0,49	1,54	-0,02	0,07				
130	325,82437	1,71	325,82704	1,41					2,67	2,22	0,33	0,28																
131	312,21941	1,52	312,21813	1,31					-1,28	2,01	-0,16	0,25																
132	312,44669	1,49	312,44651	1,22					-0,18	1,93	-0,02	0,24																
133	312,90569	1,49	312,90629	1,21					0,60	1,92	0,08	0,24																
134	315,54812	1,52	315,54937	1,23					1,25	1,96	0,16	0,24																
135	316,32997	1,58	316,33112	1,24					1,15	2,01	0,14	0,25																
136	317,91415	1,72	317,91694	1,37					2,79	2,20	0,35	0,27																
137	321,36277	1,76	321,36576	1,39					2,99	2,24	0,37	0,28																
138	309,33108	1,39	309,33191	1,07	309,32754	0,61			0,83	1,75	0,10	0,22	-3,54	1,52	-0,11	0,05					-4,37	1,23	-0,19	0,05				

št. reperja	H 1963	σ 63	H 1971	σ 71	H 1994	σ 94	H 2000	σ 00	Δ71-63	σΔ 71-63	v71-63	σv 71-63	Δ94-63	σΔ 94-63	v94-63	σv 94-63	Δ00-63	σΔ 00-63	v00-63	σv 00-63	Δ94-71	σΔ 94-71	v94-71	σv 94-71	Δ00-71	σΔ 00-71	v00-71	σv 00-71	
139	307,59395	1,32	307,59579	1,10	307,58681	0,59			1,84	1,72	0,23	0,21	-7,14	1,45	-0,23	0,05					-8,98	1,25	-0,39	0,05					
140	306,23139	1,44	306,23206	1,18					0,67	1,86	0,08	0,23																	
141	308,00541	1,47	308,00571	1,25	308,00139	0,70	308,00145	1,51	0,30	1,93	0,04	0,24	-4,02	1,63	-0,13	0,05	-3,96	2,11	-0,11	0,06	-4,32	1,43	-0,19	0,06	-4,26	1,96	-0,15	0,07	
142	307,50219	1,50	307,50156	1,30					-0,63	1,98	-0,08	0,25																	
144	303,67644	1,52	303,67534	1,29			303,67429	1,48	-1,10	1,99	-0,14	0,25					-2,15	2,12	-0,06	0,06					-1,05	1,96	-0,04	0,07	
145	303,52952	1,52	303,52751	1,26			303,52237	1,51	-2,01	1,97	-0,25	0,25					-7,15	2,14	-0,19	0,06					-5,14	1,97	-0,18	0,07	
146	298,04822	1,51	298,05054	1,23					2,32	1,95	0,29	0,24																	
147	300,98805	1,49	300,98797	1,21			300,98371	1,56	-0,08	1,92	-0,01	0,24					-4,34	2,16	-0,12	0,06					-4,26	1,97	-0,15	0,07	
148	301,95781	1,44	301,95705	1,18			301,94304	1,5	-0,76	1,86	-0,10	0,23					-14,77	2,08	-0,40	0,06					-14,01	1,91	-0,48	0,07	
149	303,32595	1,43	303,32604	1,16			303,32239	1,42	0,09	1,84	0,01	0,23					-3,56	2,02	-0,10	0,05					-3,65	1,83	-0,13	0,06	
150	304,89136	1,39	304,89123	1,09			304,88592	1,39	-0,13	1,77	-0,02	0,22					-5,44	1,97	-0,15	0,05					-5,31	1,77	-0,18	0,06	
151	304,73023	1,29	304,73051	1,01	304,72466	0,59			0,28	1,64	0,03	0,20	-5,57	1,42	-0,18	0,05					-5,85	1,17	-0,25	0,05					
153	294,71279	1,36	294,71185	1,06			294,70623	1,38	-0,94	1,72	-0,12	0,22					-6,56	1,94	-0,18	0,05					-5,62	1,74	-0,19	0,06	
154	292,91331	1,48	292,91367	1,18					0,36	1,89	0,05	0,24																	
155	294,88020	1,46	294,88112	1,17					0,92	1,87	0,12	0,23																	
156	299,57867	1,43	299,58028	1,14					1,61	1,83	0,20	0,23																	
157	298,88839	1,47	298,88914	1,19			298,88761	1,53	0,75	1,89	0,09	0,24					-0,78	2,12	-0,02	0,06					-1,53	1,94	-0,05	0,07	
158	301,13443	1,50	301,13425	1,24					-0,18	1,95	-0,02	0,24																	
159	297,17507	1,52	297,17480	1,24			297,17059	1,55	-0,27	1,96	-0,03	0,25					-4,48	2,17	-0,12	0,06					-4,21	1,98	-0,15	0,07	
160	290,67603	1,53	290,67598	1,24					-0,05	1,97	-0,01	0,25																	
161	294,83611	1,55	294,83760	1,27					1,49	2,00	0,19	0,25																	
162	297,91690	1,60	297,91521	1,31					-1,69	2,07	-0,21	0,26																	
163	291,30592	1,72	291,29380	1,44					-12,12	2,24	-1,52	0,28																	
164	291,93056	1,75	291,90474	1,47					-25,82	2,29	-3,23	0,29																	
165	294,09151	1,60	294,09084	1,32					-0,67	2,07	-0,08	0,26																	
166	292,76008	1,71	292,75902	1,42					-1,06	2,22	-0,13	0,28																	
167	290,18299	1,79	290,18299	1,52					0,00	2,35	0,00	0,29																	
168	291,61745	1,83	291,61109	1,56					-6,36	2,40	-0,80	0,30																	
169	288,45481	1,79	288,45506	1,53					0,25	2,35	0,03	0,29																	
170	285,57764	1,81	285,57867	1,55					1,03	2,38	0,13	0,30																	
171	282,90363	1,72	282,90358	1,43					-0,05	2,24	-0,01	0,28																	
172	284,02714	1,76	284,02805	1,48					0,91	2,30	0,11	0,29																	
173	286,93551	1,67	286,93724	1,37					1,73	2,16	0,22	0,27																	
174	287,80525	1,66	287,80668	1,34					1,43	2,13	0,18	0,27																	
175	285,64333	1,66	285,64550	1,36					2,17	2,15	0,27	0,27																	
176	286,70503	1,57	286,70573	1,28					0,70	2,03	0,09	0,25																	
177	295,41525	1,62	295,41463	1,33					-0,62	2,10	-0,08	0,26																	
178	296,21406	1,52	296,21437	1,23					0,31	1,96	0,04	0,24																	
179	292,76064	1,58	292,76155	1,28			292,75693	1,59	0,91	2,03	0,11	0,25					-3,71	2,24	-0,10	0,06					-4,62	2,04	-0,16	0,07	

št. reperja	H 1963	σ 63	H 1971	σ 71	H 1994	σ 94	H 2000	σ 00	Δ71-63	σΔ 71-63	v71-63	σv 71-63	Δ94-63	σΔ 94-63	v94-63	σv 94-63	Δ00-63	σΔ 00-63	v00-63	σv 00-63	Δ94-71	σΔ 94-71	v94-71	σv 94-71	Δ00-71	σΔ 00-71	v00-71	σv 00-71
5746	291,92849	1,70	291,92537	1,43					-3,12	2,22	-0,39	0,28																
5749	291,26265	1,74	291,25484	1,46					-7,81	2,27	-0,98	0,28																
5751	290,63139	1,74	290,62334	1,46					-8,05	2,27	-1,01	0,28																
5753	291,47782	1,66	291,46734	1,36					-10,48	2,15	-1,31	0,27																
5754	298,50833	1,63	298,50943	1,35					1,10	2,12	0,14	0,26																
5755	296,94726	1,64	296,92911	1,37					-18,15	2,14	-2,27	0,27																
5756	290,55901	1,70	290,55432	1,41					-4,69	2,21	-0,59	0,28																
5764	298,27501	1,62	298,27268	1,33					-2,33	2,10	-0,29	0,26																
5767	298,43292	1,62	298,43347	1,32					0,55	2,09	0,07	0,26																
5768	299,29131	1,60	299,29135	1,30					0,04	2,06	0,01	0,26																
5770	299,06498	1,56	299,06554	1,28					0,56	2,02	0,07	0,25																
5771	298,23950	1,57	298,24194	1,25					2,44	2,01	0,30	0,25																
5772	298,56315	1,51	298,56354	1,24					0,39	1,95	0,05	0,24																
5776	297,11412	1,55	297,11601	1,27					1,89	2,00	0,24	0,25																
5778	296,37146	1,54	296,37217	1,28					0,71	2,00	0,09	0,25																
5781	293,29221	1,55	293,29244	1,27					0,23	2,00	0,03	0,25																
5782	289,80435	1,56	289,80508	1,28					0,73	2,02	0,09	0,25																
5783	289,88501	1,56	289,88402	1,27					-0,99	2,01	-0,12	0,25																
5787	291,69015	1,57	291,69145	1,29					1,30	2,03	0,16	0,25																
5788	289,18432	1,57	289,18580	1,29					1,48	2,03	0,18	0,25																
5789	289,37453	1,54	289,37083	1,27					-3,70	2,00	-0,46	0,25																
5794	288,15020	1,61	288,14798	1,31					-2,22	2,08	-0,28	0,26																
5795	293,80626	1,61	293,80531	1,32					-0,95	2,08	-0,12	0,26																
5802	296,23606	1,61	296,23689	1,33					0,83	2,09	0,10	0,26																
5806	302,25355	1,64	302,25293	1,35					-0,62	2,12	-0,08	0,27																
5807	301,75937	1,64	301,74492	1,35					-14,45	2,12	-1,81	0,27																
5811	292,69246	1,67	292,68852	1,44					-3,94	2,21	-0,49	0,28																
5812	293,06725	1,70	293,06482	1,49					-2,43	2,26	-0,30	0,28																
5813	294,47432	1,72	294,44820	1,49					-26,12	2,28	-3,26	0,28																
5818	295,51234	1,72	295,50753	1,44					-4,81	2,24	-0,60	0,28																
5819	295,21669	1,72	295,21710	1,43					0,41	2,24	0,05	0,28																
5820	294,09834	1,68	294,09536	1,40					-2,98	2,19	-0,37	0,27																
5821	297,60437	1,70	297,60506	1,40					0,69	2,20	0,09	0,28																
5822	303,82546	1,74	303,82440	1,44					-1,06	2,26	-0,13	0,28																
5823	296,89833	1,71	296,89578	1,43	296,87932	1,16			-2,55	2,23	-0,32	0,28	-19,01	2,07	-0,61	0,07					-16,46	1,84	-0,72	0,08				
5828	296,51317	1,76	296,51214	1,48					-1,03	2,30	-0,13	0,29																
5829	295,73864	1,74	295,73499	1,46					-3,65	2,27	-0,46	0,28																
5832	297,99286	1,84	297,98901	1,53					-3,85	2,39	-0,48	0,30																
5833	298,64632	1,85	298,63899	1,57	298,63259	1,20			-7,33	2,43	-0,92	0,30	-13,73	2,21	-0,44	0,07					-6,4	1,98	-0,28	0,09				

št. reperja	H 1963	σ 63	H 1971	σ 71	H 1994	σ 94	H 2000	σ 00	Δ71-63	σΔ 71-63	v71-63	σv 71-63	Δ94-63	σΔ 94-63	v94-63	σv 94-63	Δ00-63	σΔ 00-63	v00-63	σv 00-63	Δ94-71	σΔ 94-71	v94-71	σv 94-71	Δ00-71	σΔ 00-71	v00-71	σv 00-71
5834	300,63094	1,85	300,62685	1,53	300,61742	1,17			-4,09	2,40	-0,51	0,30	-13,52	2,19	-0,44	0,07					-9,43	1,93	-0,41	0,08				
5835	297,95315	1,81	297,95060	1,49	297,94356	1,15			-2,55	2,34	-0,32	0,29	-9,59	2,14	-0,31	0,07					-7,04	1,88	-0,31	0,08				
5836	312,88068	1,76			312,85843	0,70							-22,25	1,89	-0,72	0,06												
5837	296,74752	2,09	296,74310	1,72					-4,42	2,71	-0,55	0,34																
5838	296,60160	1,91	296,59194	1,59					-9,66	2,49	-1,21	0,31																
5839	308,12064	2,04	308,12680	1,65	308,12338	1,22			6,16	2,62	0,77	0,33	2,74	2,38	0,09	0,08												
5840	314,80136	2,06	314,80094	1,64	314,79761	1,21			-0,42	2,63	-0,05	0,33	-3,75	2,39	-0,12	0,08					-3,33	2,04	-0,14	0,09				
5841	312,36674	2,11	312,36743	1,65	312,35612	1,21			0,69	2,68	0,09	0,33	-10,62	2,43	-0,34	0,08					-11,31	2,05	-0,49	0,09				
5842	315,00546	2,11	315,00630	1,64					0,84	2,67	0,10	0,33																
5843	302,74194	2,03	302,74189	1,61					-0,05	2,59	-0,01	0,32																
5846	317,97970	1,79	317,97768	1,51					-2,02	2,34	-0,25	0,29																
5847	314,00606	1,74	314,00287	1,50					-3,19	2,30	-0,40	0,29																
5848	303,97030	1,72	303,97178	1,45					1,48	2,25	0,19	0,28																
5849	292,47447	2,33	292,46854	1,90					-5,93	3,01	-0,74	0,38																
5852	306,20399	1,78	306,20479	1,51					0,80	2,33	0,10	0,29																
5853	305,14348	1,75	305,14337	1,49					-0,11	2,30	-0,01	0,29																
5854	306,30671	1,59	306,30520	1,33					-1,51	2,07	-0,19	0,26																
5855	305,92704	1,54	305,92649	1,27					-0,55	2,00	-0,07	0,25																
5856	300,60624	1,56	300,60448	1,29					-1,76	2,02	-0,22	0,25																
5861	304,05703	1,53	304,05567	1,28			304,04633	1,55	-1,36	1,99	-0,17	0,25					-10,70	2,18	-0,29	0,06					-9,34	2,01	-0,32	0,07
5862	307,58787	1,51	307,58809	1,30					0,22	1,99	0,03	0,25																
5863	310,01154	1,57	310,01062	1,34					-0,92	2,06	-0,12	0,26																
5864	317,44788	1,56	317,44707	1,36					-0,81	2,07	-0,10	0,26																
5868	323,84095	1,53	323,84041	1,32	323,83320	0,74			-0,54	2,02	-0,07	0,25	-7,75	1,70	-0,25	0,05					-7,21	1,51	-0,31	0,07				
5869	313,31365	1,51	313,31347	1,24					-0,18	1,95	-0,02	0,24																
5870	311,75661	1,52	311,75565	1,28					-0,96	1,99	-0,12	0,25																
5871	308,49761	1,52	308,49869	1,31					1,08	2,01	0,14	0,25																
5873	317,49267	1,68	317,49364	1,31	317,48644	0,74			0,97	2,13	0,12	0,27	-6,23	1,84	-0,20	0,06					-7,2	1,50	-0,31	0,07				
5875	318,80001	1,73	318,80255	1,39	318,79661	0,81			2,54	2,22	0,32	0,28	-3,40	1,91	-0,11	0,06					-5,94	1,61	-0,26	0,07				
5876	315,46699	1,70	315,46725	1,32	315,46471	0,78			0,26	2,15	0,03	0,27	-2,28	1,87	-0,07	0,06					-2,54	1,53	-0,11	0,07				
5880	309,77830	1,53	309,77923	1,18	309,77436	0,68			0,93	1,93	0,12	0,24	-3,94	1,67	-0,13	0,05					-4,87	1,36	-0,21	0,06				
5881	307,14515	1,40	307,14546	1,09	307,13995	0,62			0,31	1,77	0,04	0,22	-5,20	1,53	-0,17	0,05					-5,51	1,25	-0,24	0,05				
5882	297,81093	1,80			297,79212	1,14							-18,81	2,13	-0,61	0,07												
5883	315,85810	1,71			315,85675	0,76							-1,35	1,87	-0,04	0,06												
5884	306,61427	1,41	306,60634	1,16					-7,93	1,83	-0,99	0,23																
5885	306,70584	1,45	306,70781	1,26					1,97	1,92	0,25	0,24																
5886	309,51442	1,49	309,51533	1,25					0,91	1,94	0,11	0,24																
5889	305,54949	1,53	305,54906	1,30	305,53789	0,75	305,53606	1,54	-0,43	2,01	-0,05	0,25	-11,60	1,70	-0,37	0,05	-13,43	2,17	-0,36	0,06	-11,17	1,50	-0,49	0,07	-13,00	2,02	-0,45	0,07
5890	306,10771	1,51	306,10921	1,29	306,10447	0,72	306,10271	1,52	1,50	1,99	0,19	0,25	-3,24	1,67	-0,10	0,05	-5,00	2,14	-0,14	0,06	-4,74	1,48	-0,21	0,06	-6,50	1,99	-0,22	0,07

št. reperja	H 1963	σ 63	H 1971	σ 71	H 1994	σ 94	H 2000	σ 00	Δ71-63	σΔ 71-63	v71-63	σv 71-63	Δ94-63	σΔ 94-63	v94-63	σv 94-63	Δ00-63	σΔ 00-63	v00-63	σv 00-63	Δ94-71	σΔ 94-71	v94-71	σv 94-71	Δ00-71	σΔ 00-71	v00-71	σv 00-71
36_16	284,05492	1,84	284,05727	1,60					2,35	2,44	0,29	0,30																
37_1	278,90702	1,83	278,90838	1,52					1,36	2,38	0,17	0,30																
37_18	273,31522	1,93	273,31937	1,57					4,15	2,49	0,52	0,31																
37_19	270,58873	1,90	270,59262	1,55					3,89	2,45	0,49	0,31																
37_2	274,77340	1,94	274,77476	1,62					1,36	2,53	0,17	0,32																
37_7	277,86002	1,91	277,86143	1,56					1,41	2,47	0,18	0,31																
38_1	274,74556	1,91	274,74749	1,60					1,93	2,49	0,24	0,31																
38_13	277,50315	2,06	277,50285	1,73					-0,30	2,69	-0,04	0,34																
38_14	278,05760	2,07	278,05864	1,72					1,04	2,69	0,13	0,34																
38_18	276,38967	1,97	276,39172	1,62					2,05	2,55	0,26	0,32																
38_19	275,50483	1,96	275,50753	1,61					2,70	2,54	0,34	0,32																
38_2	273,73842	1,87	273,73880	1,55					0,38	2,43	0,05	0,30																
38_4	274,21576	1,91	274,21786	1,60					2,10	2,49	0,26	0,31																
39_1	289,04694	1,98	289,00198	1,62					-44,96	2,56	-7,49	0,43																
39_10	288,67846	2,18	288,66201	1,77					-16,45	2,81	-2,74	0,47																
39_11	289,28182	2,21	289,26725	1,79					-14,57	2,84	-2,43	0,47																
39_12	288,93022	2,02	288,92441	1,66					-5,81	2,61	-0,97	0,44																
39_13	288,81377	2,23	288,78899	1,80					-24,78	2,87	-4,13	0,48																
39_14	289,17481	2,26	289,15030	1,80					-24,51	2,89	-4,08	0,48																
39_15	288,59236	2,28	288,57494	1,79					-17,42	2,90	-2,90	0,48																
39_16	289,07380	2,29	289,05466	1,77					-19,14	2,89	-3,19	0,48																
39_17	289,61337	2,30	289,59185	1,79					-21,52	2,91	-3,59	0,49																
39_18	295,29506	1,78	295,28772	1,49					-7,34	2,32	-1,22	0,39																
39_19	294,90010	1,84	294,89619	1,55					-3,91	2,41	-0,65	0,40																
39_2	288,62324	1,97	288,59258	1,62					-30,66	2,55	-5,11	0,43																
39_21	292,93706	2,06	292,93340	1,70					-3,66	2,67	-0,61	0,45																
39_22	292,70732	2,12	292,70164	1,72					-5,68	2,73	-0,95	0,45																
39_23	292,64639	2,18	292,64194	1,74					-4,45	2,79	-0,74	0,46																
39_24	291,29328	2,24	291,28343	1,74					-9,85	2,84	-1,64	0,47																
39_26	290,78232	2,29	290,76771	1,80					-14,61	2,91	-2,44	0,49																
39_3	288,58747	1,94	288,54683	1,60					-40,64	2,51	-6,77	0,42																
39_5	288,70583	1,86	288,68514	1,54					-20,69	2,41	-3,45	0,40																
39_53	294,23692	1,77	294,21275	1,51					-24,17	2,33	-4,03	0,39																
39_58	291,54667	1,68	291,54555	1,41					-1,12	2,19	-0,14	0,27																
39_6	288,75985	1,92	288,69243	1,58					-67,42	2,49	-11,24	0,41																
39_7	289,17379	2,06	289,16878	1,68					-5,01	2,66	-0,83	0,44																
39_8	287,63275	2,10	287,62112	1,72					-11,63	2,71	-1,94	0,45																
39_9	288,77211	2,14	288,76087	1,75					-11,24	2,76	-1,87	0,46																
4_1	301,37179	1,45	301,37182	1,18			301,36875	1,47	0,03	1,87	0,00	0,23					-3,04	2,06	-0,08	0,06					-3,07	1,89	-0,11	0,07

št. reperja	H 1963	σ 63	H 1971	σ 71	H 1994	σ 94	H 2000	σ 00	Δ71-63	σΔ 71-63	v71-63	σv 71-63	Δ94-63	σΔ 94-63	v94-63	σv 94-63	Δ00-63	σΔ 00-63	v00-63	σv 00-63	Δ94-71	σΔ 94-71	v94-71	σv 94-71	Δ00-71	σΔ 00-71	v00-71	σv 00-71	
7_12	320,92200	1,55	320,92338	1,29	320,92068	0,74			1,38	2,02	0,17	0,25	-1,32	1,72	-0,04	0,06					-2,7	1,49	-0,12	0,06					
7_13	314,05654	1,55	314,05540	1,26	314,05130	0,73			-1,14	2,00	-0,14	0,25	-5,24	1,71	-0,17	0,06					-4,1	1,46	-0,18	0,06					
7_15	312,65224	1,53			312,64814	0,73							-4,10	1,70	-0,13	0,05													
7_17	315,25830	1,54			315,24141	0,74							-16,89	1,71	-0,54	0,06													
7_18	313,74955	1,53			313,70135	0,73							-48,20	1,70	-1,55	0,05													
7_19	315,66758	1,57			315,65411	0,76							-13,47	1,74	-0,43	0,06													
7_2	311,10636	1,51	311,09647	1,31	311,07152	0,72			-9,89	2,00	-1,24	0,25	-34,84	1,67	-1,12	0,05					-24,95	1,49	-1,08	0,06					
7_20	311,53751	1,69			311,51422	0,76							-23,29	1,85	-0,75	0,06													
7_21	309,96521	1,64			309,93614	0,75							-29,07	1,80	-0,94	0,06													
7_25	316,53042	1,53			316,52419	0,73							-6,23	1,70	-0,20	0,05													
7_26			311,64054	1,24	311,63617	0,72																-4,37	1,43	-0,19	0,06				
7_3	310,20548	1,52	310,20485	1,30	310,19309	0,73			-0,63	2,00	-0,08	0,25	-12,39	1,69	-0,40	0,05					-11,76	1,49	-0,51	0,06					
7_6	311,46428	1,52	311,46474	1,27					0,46	1,98	0,06	0,25																	
7_7	312,66457	1,51	312,66449	1,24	312,65968	0,72			-0,08	1,95	-0,01	0,24	-4,89	1,67	-0,16	0,05					-4,81	1,43	-0,21	0,06					
7_9	327,44433	1,57	327,43976	1,33	327,42213	0,76			-4,57	2,06	-0,57	0,26	-22,20	1,74	-0,72	0,06					-17,63	1,53	-0,77	0,07					
8_1	324,68436	1,71	324,68644	1,41					2,08	2,22	0,26	0,28																	
8_10	305,44972	1,52	305,44879	1,27	305,43986	0,76	305,43768	1,55	-0,93	1,98	-0,12	0,25	-9,86	1,70	-0,32	0,05	-12,04	2,17	-0,33	0,06	-8,93	1,48	-0,39	0,06	-11,11	2,00	-0,38	0,07	
8_11	303,87216	1,53	303,87188	1,28			303,86493	1,55	-0,28	1,99	-0,04	0,25					-7,23	2,18	-0,20	0,06					-6,95	2,01	-0,24	0,07	
8_12	303,79184	1,53	303,79241	1,28			303,78320	1,54	0,57	1,99	0,07	0,25					-8,64	2,17	-0,23	0,06					-9,21	2,00	-0,32	0,07	
8_13	305,47511	1,58	305,47603	1,32					0,92	2,06	0,12	0,26																	
8_14	306,81070	1,61	306,82937	1,35					18,67	2,10	2,33	0,26																	
8_15	308,70749	1,67	308,70871	1,40					1,22	2,18	0,15	0,27																	
8_16	305,85116	1,77			305,84460	1,08							-6,56	2,07	-0,21	0,07													
8_17	306,14210	1,78	306,14200	1,51					-0,10	2,33	-0,01	0,29																	
8_2	330,34315	1,64	330,34485	1,37	330,34270	0,83			1,70	2,14	0,21	0,27	-0,45	1,84	-0,01	0,06					-2,15	1,60	-0,09	0,07					
8_23	315,38853	1,81	315,38992	1,46					1,39	2,33	0,17	0,29																	
8_3	320,46187	1,57	320,45334	1,36					-8,53	2,08	-1,07	0,26																	
8_30	307,57198	1,82	307,57250	1,46	307,56975	1,10			0,52	2,33	0,06	0,29	-2,23	2,13	-0,07	0,07					-2,75	1,83	-0,12	0,08					
8_35			322,24030	1,43	322,23504	0,88																-5,26	1,68	-0,23	0,07				
8_37	315,65788	1,57	315,65722	1,36	315,65102	0,75			-0,66	2,08	-0,08	0,26	-6,86	1,74	-0,22	0,06					-6,2	1,55	-0,27	0,07					
8_38			308,30730	1,30	308,29850	0,76																-8,8	1,51	-0,38	0,07				
8_4	311,12062	1,58	311,11727	1,35					-3,35	2,08	-0,42	0,26																	
8_5	308,89737	1,53	308,89754	1,33					0,17	2,03	0,02	0,25																	
8_6	308,11108	1,52	308,10982	1,30					-1,26	2,00	-0,16	0,25																	
8_9	305,86926	1,53	305,87048	1,29	305,86441	0,77	305,86419	1,58	1,22	2,00	0,15	0,25	-4,85	1,71	-0,16	0,06	-5,07	2,20	-0,14	0,06	-6,07	1,50	-0,26	0,07	-6,29	2,04	-0,22	0,07	
9_1	307,01735	1,83	307,01616	1,56					-1,19	2,40	-0,15	0,30																	
9_2	307,30801	1,79	307,30824	1,50					0,23	2,34	0,03	0,29																	
FR_1	283,51735	2,07	283,51896	1,73					1,61	2,70	0,20	0,34																	
FR_2	319,62325	1,79	319,62872	1,43	319,62853	0,89			5,47	2,29	0,68	0,29	5,28	2,00	0,17	0,06					-0,19	1,68	-0,01	0,07					

št. reperja	H 1963	σ 63	H 1971	σ 71	H 1994	σ 94	H 2000	σ 00	Δ 71-63	$\sigma\Delta$ 71- 63	v 71-63	σv 71- 63	Δ 94- 63	$\sigma\Delta$ 94 - 63	v 94- 63	σv 94- 63	Δ 00-63	$\sigma\Delta$ 00- 63	v 00- 63	σv 00- 63	Δ 94-71	$\sigma\Delta$ 94- 71	v 94- 71	σv 94- 71	Δ 00- 71	$\sigma\Delta$ 00- 71	v 00- 71	σv 00- 71
FR_3	302,79495	1,68	302,79524	1,35			302,79542	2,11	0,29	2,16	0,04	0,27					0,47	2,70	0,01	0,07					0,18	2,50	0,01	0,09
HM_552	298,94484	1,77	298,94084	1,47					-4,00	2,30	-0,50	0,29																
NVTe_412			302,30116	0,85	302,29630	0,48															-4,86	0,98	-0,21	0,04				

Priloga 2: Vertikalni premiki – nivelmanski zanki 46 in 50

Izmeri med leti 1971 in 1975 ter v letih 2007 in 2009:

- višine reperjev H_i [m],
- standardne deviacije določitve višin reperjev σ_i [mm],
- vertikalni premiki reperjev Δ_{j-i} [mm],
- standardne deviacije vertikalnih premikov reperjev $\sigma_{\Delta_{j-i}}$ [mm],
- hitrosti vertikalnih premikov reperjev v_{j-i} [mm/leto],
- standardne deviacije hitrosti vertikalnih premikov reperjev $\sigma_{v_{j-i}}$ [mm/leto].

Rdeča – reper je premaknjen (PREMIK)

Zelena – reper je pogojno premaknjen (PREMIK2.5)

št. reperja	1971	σ_{71}	2009	σ_{09}	Δ_{09-71}	$\sigma_{\Delta 09-71}$	v_{09-71}	$\sigma_v 09-71$
82	268,50743	1,13	268,51069	0,84	3,26	1,41	0,09	0,04
85	280,35781	0,95	280,35764	0,76	-0,17	1,22	0,00	0,03
153	294,71133	0,53	294,70187	0,45	-9,46	0,70	-0,25	0,02
155	294,88034	0,65	294,87326	0,56	-7,08	0,86	-0,19	0,02
180	290,83573	0,74	290,82736	0,64	-8,37	0,98	-0,22	0,03
181	290,03228	0,77	290,01979	0,67	-12,49	1,02	-0,33	0,03
189	281,05190	0,79	281,04696	0,71	-4,94	1,06	-0,13	0,03
190	278,38516	0,94	278,38137	0,76	-3,79	1,21	-0,10	0,03
211	299,72363	0,54	299,71577	0,39	-7,86	0,67	-0,21	0,02
212	290,49669	0,72	290,50961	0,57	12,92	0,92	0,34	0,02
213	286,70475	0,79	286,70420	0,68	-0,55	1,04	-0,01	0,03
239	269,58416	1,12	269,58460	0,83	0,44	1,39	0,01	0,04
346	267,73911	1,19	267,74340	0,86	4,29	1,47	0,11	0,04
5633	290,25500	0,21	290,24748	0,21	-7,52	0,30	-0,20	0,01
5910	296,25008	0,10	296,25004	0,06	-0,04	0,12	0,00	0,00
5926	298,32910	0,50	298,31644	0,35	-12,66	0,61	-0,33	0,02
5976	293,64492	0,68	293,64163	0,58	-3,29	0,89	-0,09	0,02
5977	291,36674	0,73	291,35950	0,63	-7,24	0,96	-0,19	0,03
5982	288,11343	0,78	288,11170	0,70	-1,73	1,05	-0,05	0,03
5997	276,94799	0,91	276,94444	0,75	-3,55	1,18	-0,09	0,03
5998	276,58391	0,98	276,58138	0,78	-2,53	1,25	-0,07	0,03
6000	274,60094	1,03	274,59817	0,80	-2,77	1,30	-0,07	0,03
24_3	292,09318	0,60	292,08558	0,52	-7,60	0,79	-0,20	0,02
24_4	294,16074	0,65	294,15265	0,56	-8,09	0,86	-0,21	0,02
30_1	288,88086	0,77	288,91635	0,68	35,49	1,03	0,93	0,03
30_2	280,16360	0,79	280,15931	0,71	-4,29	1,06	-0,11	0,03
32_5	275,37453	0,97	275,36841	0,77	-6,12	1,24	-0,16	0,03
33_1	274,95578	1,06	275,03469	0,81	78,91	1,33	2,08	0,04
33_2	274,06900	1,11	274,06650	0,83	-2,50	1,39	-0,07	0,04
46_1	292,15812	0,35	292,15381	0,30	-4,31	0,46	-0,11	0,01
46_12	294,67390	0,64	294,66872	0,48	-5,18	0,80	-0,14	0,02
46_13	294,51079	0,63	294,50009	0,46	-10,70	0,78	-0,28	0,02
46_14	297,80801	0,27	297,80645	0,17	-1,56	0,32	-0,04	0,01
46_15	297,85583	0,34	297,85359	0,23	-2,24	0,41	-0,06	0,01
46_2	292,33174	0,28	292,32440	0,26	-7,34	0,38	-0,19	0,01
46_25	293,23793	0,67	293,23501	0,52	-2,92	0,85	-0,08	0,02
46_26	293,67455	0,69	293,67065	0,54	-3,90	0,88	-0,10	0,02
46_30	285,60972	0,78	285,60727	0,66	-2,45	1,02	-0,06	0,03
46_31	285,22344	0,79	285,22263	0,67	-0,81	1,04	-0,02	0,03
50_1	284,03663	0,82	284,03603	0,70	-0,60	1,08	-0,02	0,03
50_11	269,89937	1,06	269,89845	0,81	-0,92	1,33	-0,02	0,04
50_12	271,07303	1,09	271,07398	0,82	0,95	1,36	0,02	0,04
50_16	267,44185	1,14	267,44407	0,84	2,22	1,42	0,06	0,04
50_17	264,23486	1,16	264,23838	0,85	3,52	1,44	0,09	0,04
50_2	283,72288	0,82	283,72281	0,71	-0,07	1,08	0,00	0,03
50_21	264,95963	1,18	264,96509	0,89	5,46	1,48	0,14	0,04
50_22	266,20219	1,19	266,16274	0,86	-39,45	1,47	-1,04	0,04
50_23	267,89613	1,19	267,89773	0,86	1,60	1,47	0,04	0,04
50_31	265,02713	1,18	265,02545	0,87	-1,68	1,47	-0,04	0,04
50_32	283,78692	0,82	283,78571	0,70	-1,21	1,08	-0,03	0,03
50_4	281,58514	0,88	281,57970	0,73	-5,44	1,14	-0,14	0,03
50_5	280,54705	0,90	280,54694	0,74	-0,11	1,17	0,00	0,03
50_6	279,99348	0,92	279,99418	0,75	0,70	1,19	0,02	0,03
50_8	277,41827	0,99	277,41700	0,78	-1,27	1,26	-0,03	0,03
CP412	302,30085	0,43	302,29251	0,35	-8,34	0,55	-0,22	0,01
FR_8	271,22513	1,27	271,22943	0,94	4,30	1,58	0,11	0,04
PN210	294,83145	0,22	294,82711	0,22	-4,34	0,31	-0,11	0,01

Priloga 3: CD s podatki in rezultati

- datoteke s podatki za izravnavo s programom VimWin: t_1963.pod, t_72-76.pod, t_1994.pod, t_2000.pod, 1971.pod in 2009.pod,
- datoteke z rezultati izravnave s programom VimWin: t_1963.rez, t_72-76.rez, t_1994.rez, t_2000.rez, 1971.rez in 2009.rez,
- datoteki z rezultati programa PREMİK: pre.sez in pre2_5.sez,
- datoteke z rezultati programa DAH: dah63-00.rez, dah63-94.rez, dah76-00.rez in dah76-94.rez.