

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Djurić, M., 2016. Vzpostavitev reperja za spremljanje stabilnosti iztočnega kanala na jezu v Markovcih. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Savšek, S., somentor Urbančič, T.): 24 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5881/>

Datum arhiviranja: 6-10-2016

University  
of Ljubljana  
Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Djurić, M., 2016. Vzpostavitev reperja za spremljanje stabilnosti iztočnega kanala na jezu v Markovcih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Savšek, S., co-supervisor Urbančič, T.): 24 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5881/>

Archiving Date: 6-10-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

**MARKO DJURIĆ**

**VZPOSTAVITEV REPERJA ZA SPREMLJANJE  
STABILNOSTI IZTOČNEGA KANALA NA JEZU V  
MARKOVCIH**

Diplomska naloga št.: 118/GIG

**ESTABLISHING A BENCHMARK FOR MONITORING  
THE STABILITY OF THE OUTFLOW CHANNEL AT  
THE DAM IN MARKOVCI**

Graduation thesis No.: 118/GIG

**Mentorica:**

doc. dr. Simona Savšek

**Somentor:**

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 20. 09. 2016

## **Stran za popravke, Errata**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Ta stran je namenoma prazna.

## IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent Marko Djurić, vpisna številka 26203584, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Vzpostavitev reperja za spremljanje stabilnosti iztočnega kanala na jezu v Markovcih

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Podpis študenta/-ke:

\_\_\_\_\_

Ta stran je namenoma prazna.

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

<b>UDK:</b>	528.38(043.2)
<b>Avtor:</b>	Marko Djurić
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Simona Savšek
<b>Somentor:</b>	asist. Tilen Urbančič
<b>Naslov:</b>	Vzpostavitev reperja za spremljanje stabilnosti iztočnega kanala na jezu v Markovcih
<b>Tip dokumenta:</b>	diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema:</b>	24 str., 7 pregl., 16 sl., 18 en.
<b>Ključne besede:</b>	jez Markovci, MHE Markovci, stabilizacija reperja, višinska mreža, geometrični nivelman

### **Izvleček:**

Med gradnjo male hidroelektrarne v Markovcih je bila višinska točka – reper, ki je omogočala prenos višine na prelivna polja, uničena. V diplomski nalogi je predstavljen proces stabilizacije in določitve definitivnih višin novih reperjev. Izvedena je bila izmera geometričnega nivelmana z navezavo na dva izhodiščna reperja R36 in R37 za določitev definitivnih višin dveh novo stabiliziranih reperjev ter ponovna izmera reperjev na prelivnih poljih. Opravljena je bila primerjava višin reperjev na prelivnih poljih z zadnjo izmero iz leta 2011 ter analiza rezultatov.

Ta stran je namenoma prazna.



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	528.38(043.2)
<b>Author:</b>	Marko Djurić
<b>Supervisor:</b>	Assist. Prof. Simona Savšek, Ph.D.
<b>Co-advisor:</b>	Assist. Tilen Urbančič
<b>Title:</b>	Establishing a benchmark for monitoring the stability of the outflow channel at the dam in Markovci
<b>Document type:</b>	Graduation Thesis – University studies
<b>Notes:</b>	24 p., 7 tab., 16 fig., 18 eq.
<b>Key words:</b>	dam Markovci, SHPP Markovci, benchmark stabilization, vertical network, geometric levelling

### **Abstract:**

During the construction of small hydropower plant in Markovci, an elevation point – the benchmark, that allowed the transfer of height on spillways, was destroyed. The thesis presents the process of stabilization and determination of definite heights of the new benchmarks. We performed a survey of geometric levelling with a reference to the two baseline benchmark R36 and R37 to determine the definite height of two newly stabilized benchmarks and a re-measurement of the benchmarks on spillways. A height comparison was made of the benchmarks on the spillways with the last measurement in 2011 and an analysis of results.

Ta stran je namenoma prazna.

## **ZAHVALA**

Rad bi se zahvalil mentorici doc. dr. Simoni Savšek in somentorju asist. Tilnu Urbančiču za pomoč, koristne napotke, nasvete in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi svojima staršema, sestri, Maši, sošolcem in ostalim prijateljem za podporo, vzpodbudo in prijetno preživljanje študentskih let.

Posebna zahvala gre tudi sošolcema, ki sta mi pomagala pri opravljanju terenskih meritev.

Ta stran je namenoma prazna.

## KAZALO VSEBINE

1. Uvod.....	1
1.1. Kratka predstavitev hidroelektrarne Markovci.....	1
1.2. Namen in cilj diplomske naloge .....	2
2. Metoda izmere .....	3
2.1. Protokol izmere višinske mreže.....	3
2.2. Geometrični nivelman.....	4
3. Merska oprema.....	5
4. Obstoječa višinska mreža .....	6
5. Stabilizacija točk.....	7
6. Potek dela na terenu .....	9
7. Priprava podatkov pred izravnavo.....	12
7.1. Urejanje meritev .....	12
7.2. Obdelava podatkov .....	15
8. Izravnavna .....	16
8.1. Izravnavna po metodi najmanjših kvadratov .....	16
8.2. Izravnavna s programom VimWin .....	17
9. Rezultati in komentar .....	20
10. Zaključek .....	22
Viri.....	24

Ta stran je namenoma prazna.

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki instrumenta .....	5
Preglednica 2: Višini reperjev, ki določata geodetski datum višinske mreže.....	6
Preglednica 3: Popravek razdelbe in popravek pete uporabljenih lat .....	15
Preglednica 4: Oblika vhodne datoteke za program VimWin in pomen parametrov .....	18
Preglednica 5: Vrstni red reperjev v sklenjeni nivelmanski zanki.....	18
Preglednica 6: Definitivne višine in natančnosti določitve višin izravnanih reperjev .....	20
Preglednica 7: Primerjava višin iz leta 2016 in iz leta 2011.....	21

Ta stran je namenoma prazna.



## KAZALO SLIK

Slika 1: Jez Markovci (Vir: DEM).....	1
Slika 2: Mesto novo stabiliziranega reperja (Vir: Djurić).....	2
Slika 3: Nivelir Leica DNA03 (Vir: Leica Geosystems).....	5
Slika 4: Položaj izhodiščnih reperjev (Vir: GURS).....	6
Slika 5: Reper R36 (zgoraj levo), R37 (zgoraj desno) in objekt MHE Markovci z reperjem E3 (spodaj) (Vir: Djurić).....	7
Slika 6: Reper R14 (levo), R8 (na sredini) in R17 (desno) (Vir: Djurić).....	7
Slika 7: Stabilizacija reperja R24N (Vir: Djurić).....	8
Slika 8: Kontrolna točka H17 in vrtanje za nov reper (levo) ter novo stabilizirani reper R25N (desno) (Vir: Djurić).....	8
Slika 9: Prikaz lege izhodiščnih reperjev (označeno z modro) in novih reperjev (označeno z rdečo) (Vir: Djurić).....	8
Slika 10: Skica nivelmanskih linij (Vir: Djurić).....	10
Slika 11: Dejanski prikaz nivelmanskih linij na prelivnih poljih (Vir: Djurić).....	11
Slika 12: Ponazoritev niveliranja na prelivnih poljih (Vir: Djurić).....	11
Slika 13: Prikaz dolžin v datoteki formata *.gsi (Vir: Djurić).....	13
Slika 14: Prikaz višinskih razlik v datoteki formata *.gsi (Vir: Djurić).....	13
Slika 15: Prikaz novo urejenih nivelmanskih linij (Vir: Djurić).....	14
Slika 16: Prikaz dolžin nivelmanskih linij, katere je potrebno urediti, v datoteki formata *.gsi (Vir: Djurić).....	15

Ta stran je namenoma prazna.

## 1. UVOD

### 1.1. Kratka predstavitev hidroelektrarne Markovci

Jez v Markovcih je bil zgrajen leta 1978 za potrebe zajezitve hidroelektrarne Formin, katerega upravljaavec so Dravske elektrarne Maribor (DEM, 2016).

Z zajezitvijo reke Drave je nastalo Ptujsko jezero, ki je s kar 17,1 milijoni m<sup>3</sup> vode največje akumulacijsko jezero v Sloveniji. Za proizvodnjo električne energije se lahko izkorišča do 4,5 milijonov m<sup>3</sup> zajezene vode. Od omenjenega jezua poteka 8,1 km dolg dovodni kanal do hidroelektrarne Formin, v katerem teče voda (ki je preusmerjena iz reke Drave) in pridobiva hidroenergetski potencial, ki je nato izkoriščen v hidroelektrarni Formin. Obenem je jez vse do avgusta 2012 preko prelivnih polj prepuščal določen ekološko sprejemljiv pretok. S koncesijsko pogodbo za energetska izkoriščanje reke Drave in po vodnogospodarskem soglasju za obratovanje hidroelektrarne Formin ta znaša: 5 m<sup>3</sup>/s pozimi in 10 m<sup>3</sup>/s poleti. Ob jezua je bila avgusta 2012 postavljena Mala hidroelektrarna Markovci (v nadaljevanju: objekt MHE Markovci) z namenom koriščenja ekološko sprejemljivega pretoka in na ta način obratuje še danes (DEM, 2016; Rijavec 2011:7).

Jez sestavlja šest 17 metrskih pretočnih polj s segmentnimi zapornicami in vrhnjimi zaklopkami. Za preprečitev vtoka plavja v dovodni kanal je nad vtokom v dovodni kanal nameščena potopna stena (DEM, 2016).

Objekt MHE Markovci je opremljen s škatlastim vtočnim objektom dimenzije 18,0 x 9,5 m, z dovodnim sistemom dolžine 40 m, s strojnično zgradbo dimenzije 8,0 x 16,0 m, s škatlastim iztočnim objektom in z infrastrukturo namenjeno dvema agregatoma (Rijavec 2011:7).



Slika 1: Jez Markovci (Vir: DEM)

## 1.2. Namen in cilj diplomske naloge

Za spremljanje stabilnosti jezusa v Markovcih se že od same postavitve jezusa (torej od leta 1978) dvakrat letno izvajajo geodetske meritve. Zaradi gradnje Male hidroelektrarne Markovci je bila uničena višinska točka – reper, ki je omogočala prenos višine in izmero reperjev na prelivnih poljih.

V okviru diplomske naloge smo si zastavili dva cilja:

1. Cilj: stabilizirati nov reper R24N, ki bo omogočal prenos višine in ponovno izmero reperjev na prelivnih poljih z natančnostjo boljšo od enega milimetra. V ta namen je potrebno bočno vgraditi nov reper v betonski zid ter izvesti geometrični nivelman med novimi in obstoječimi reperji na prelivnih poljih z navezavo na dva izhodiščna reperja R36 in R37. Potrebno je določiti definitivno nadmorsko višino in standardni odklon novega reperja R24N z izravnavo.
2. Cilj: s pomočjo novo stabiliziranega reperja R24N izvesti ponovno izmero reperjev na prelivnih poljih in jim določiti najverjetnejše višine s pripadajočimi standardnimi odkloni z izravnavo. Dobljene rezultate je potrebno analizirati ter na osnovi primerjave z zadnjo izmero iz leta 2011 oceniti spremembe višin reperjev na prelivnih poljih.

Po ogledu terena se je izkazalo, da bi bilo smiselno stabilizirati še en novi reper R25N, ki bi nadomestil dosedanjo kontrolno točko H17, ki je zaradi težkega dostopa neprimerna za niveliranje in je višinsko spremljanje te točke zelo težavno. V dogovoru z upravljavcem smo to tudi izvedli.



Slika 2: Mesto novo stabiliziranega reperja (Vir: Djurić)

## **2. METODA IZMERE**

### **2.1. Protokol izmere višinske mreže**

Najprimernejša metoda za izvedbo zastavljene naloge je geometrični nivelman, saj je najnatančnejši postopek določevanja višin in v splošnem velja za eno izmed najnatančnejših metod geodetskih meritev.

Izmera mora biti opravljena v skladu z navodili proizvajalca merske opreme in z zahtevami predpisanimi v projektni nalogi Novelacija geodetskega tehničnega opazovanja na jezu Markovci (Savšek in sod., 2012: 15) in sicer:

- I. Vsaka nivelmanska linija mora biti izmerjena v obeh smereh (metoda dvojnega nivelmana), razliki višinske vrednosti posamezne nivelmanske linije morajo biti znotraj dovoljenega odstopanja.
- II. Stojišče nivelirja mora biti enako oddaljeno od obeh nivelmanskih lat (metoda niveliranja iz sredine), oziroma dolžini vizure nazaj in naprej se lahko razlikujeta za 1 m.
- III. Največja dopustna dolžina vizure je 30 m.
- IV. Najmanjša dopustna višina vizure nad tlemi je 60 cm.
- V. Izmera se opravi s preciznim nivelirjem, ki omogoča zaporedno opravljanje meritev, posamezen odčitek se določi kot srednja vrednost vsaj treh opravljenih odčitkov.
- VI. Izmera se opravi s kompariranimi preciznimi invar nivelmanskimi latami.
- VII. Pred izvedbo izmere je potrebno izvesti preizkus glavnega pogoja nivelirja.
- VIII. Izmera se, zaradi vpliva refrakcije, ne opravlja v času močnega sončevega obsevanja, niveliramo lahko torej ali v zgodnjih jutranjih urah ali pozno popoldne, oziroma ves dan v oblačnem vremenu.
- IX. Niveliramo z načinom čitanja ZSSZ (angleško: BFFB), ki poteka v sledečem zaporedju: lata zadaj-lata spredaj-lata spredaj-lata zadaj.
- X. Niveliranje na zahtevnem terenu s težko dostopnimi reperji je lahko izvedeno po principu detajlnega nivelmana, kjer ni potrebno upoštevati metode niveliranja iz sredine.

Z upoštevanjem navedenih predpisov lahko zagotovimo ustrezno natančnost izmere (Savšek in sod., 2012: 15).

## 2.2. Geometrični nivelman

Prvi štirje odstavki poglavja 2.2. so povzeti po zapiskih predavanj pri predmetu Precizna klasična geodetska izmera (Kogoj, 2015).

Pri geometričnem nivelmanu višinsko razliko med dvema točkama določamo s pomočjo nivelirja in nivelmanskih lat. S horizontalno vizuro nivelirja proti vertikalni razdelbi na nivelmanski lati zagotavljamo možnost določitve vertikalne oddaljenosti višinske točke od optične osi nivelirja. Pri določanju višinske razlike med dvema točkama, nivelmanski lati postavimo na obe točki in (če je le mogoče) niveliramo iz sredine. S tem najbolj zmanjšamo vpliv ukrivljenosti Zemlje in vpliv nehorizontalnosti vizurne osi (Kogoj, 2015; Savšek in sod., 2010: 455).

Točkam, ki imajo daljšo oddaljenost, določamo višinsko razliko po delih. Višino prenašamo preko začasnih točk, oziroma izmenišč. Na izmenišče postavimo podložko in nanjo nivelmansko lato, pri tem smo pozorni na to, da je izmenišče stabilno in se pod lato ne poseda (Kogoj, 2015).

Izhajamo iz izhodiščne višinske točke in niveliramo v smeri točk, katerim želimo določiti višine. Z nivelmanske late, ki je na izhodiščni točki, odčitamo odčitek, ki ga imenujemo lata zadaj ( $l_z$ ), z nivelmanske late, ki je na točki v smeri niveliranja, odčitamo odčitek, ki ga imenujemo lata spredaj ( $l_s$ ). Višinska razlika ( $\Delta h$ ) med točkama je razlika odčitkov late spredaj in late zadaj (glej enačbo 1) (Kogoj, 2015).

$$\Delta h = l_z - l_s \quad (1)$$

Nivelir in nivelmansko lato, na katero smo naredili odčitek lata zadaj, premaknemo v smer niveliranja, ko zaključimo z enim stojiščem. Nivelmansko lato, na katero smo naredili odčitek lata spredaj, le zasukamo proti nivelirju tako, da je možno narediti odčitek (Kogoj, 2015).

Običajno niveliramo najprej na lato zadaj in nato na lato spredaj, vendar za zagotavljanje natančnejših meritev, v skladu z deveto zahtevo projektne naloge Novelacija geodetskega tehničnega opazovanja na jezu Markovci, se uporablja način čitanja ZSSZ (Savšek in sod., 2012: 15). Takšen način čitanja je bil uporabljen v diplomski nalogi.

Za boljšo natančnost izmerjenih višinskih razlik nivelmansko linijo niveliramo obojestransko, s tem tudi lažje prepoznamo grobe pogreške (Savšek in sod., 2010: 455).

Dopustna odstopanja pri izvajanju meritev lahko nastavimo le v merskem programu Linijski nivelman (angl. Line levelling), tu nastavimo (Leica Geosystems, 2006: 76,77):

- ujemanje dolžin med stojiščem in nivelmanskima latama,
- maksimalno dolžino posamezne vizure,
- minimalno višino posamezne vizure od pete, oziroma od vrha late.

Dopustna odstopanja nastavimo na vrednosti v skladu z zahtevami predpisanimi v projektni nalogi Novelacija geodetskega tehničnega opazovanja na jezu Markovci (glej poglavje 2.1) (Savšek in sod., 2012: 15).

V diplomski nalogi smo uporabili merski način »Mean S«, ki izvaja opazovanja toliko časa, dokler izračunan standardni odklon ( $\sigma$  ali  $sDevM$ ) ni manjši ali enak maksimalnemu standardnemu odklonu ( $S$ ). Izvajanje opazovanj se prekine, ko je pogoj izpolnjen (Leica Geosystems, 2006: 51,52).

### 3. MERSKA OPREMA

Za meritve smo uporabili digitalni nivelir Leica DNA03, ki ima natančnost določevanja višine na kilometru dvojnega nivelmana 0,3 mm. Natančnost merjenja razdalje na kilometru dvojnega nivelmana pa znaša 10 mm na 20 m, ali 500 ppm – kratica ppm pomeni število delcev na milijon (angleško: parts per million) in se uporablja za opis majhnih vrednosti različnih količin. V našem primeru nam opisuje vrednost pogreška pri določanju razdalje enega kilometra (Kogoj, 2015; Leica Geosystems, 2006:147).



Slika 3: Nivelir Leica DNA03 (Vir: Leica Geosystems)

Podrobnejši tehnični podatki instrumenta so navedeni v preglednici 1 (Leica 2006:147-149).

Preglednica 1: Tehnični podatki instrumenta

<b>Instrument</b>	DNA03
<b>Natančnost določevanja višine – standardni odklon kilometra dvojnega nivelmana z invar lato</b>	0,3 mm
<b>Natančnost merjenja razdalje – standardni odklon kilometra dvojnega nivelmana</b>	10 mm na 20 m
<b>Merilni doseg</b>	Od 1,8 m do 110 m
<b>Čas meritve</b>	Običajno 3 s
<b>Merilni načini</b>	Enkratna meritev, povprečna vrednost, mediana, ponavljajoča meritev
<b>Merilni programi</b>	Measure & Record, odčitek late in razdalje do late, BF, aBF, BFFB, aBFFB, višinska zakoličba
<b>Vgrajen pomnilnik</b>	6000 meritev (1650 stojšč)
<b>Pomnilniška kartica</b>	PCMCIA (CF, ATA-flash, SRAM)
<b>Povečava teleskopa</b>	24×
<b>Kompenzator</b>	Nihalo z magnetnim dušenjem

Poleg instrumenta smo uporabili še dodaten pribor:

- stativ za nivelir,
- Leica GPCL3 invar nivelmanski lati,
- podložki za nivelmanski lati,
- stojali za fiksiranje nivelmanskih lat,
- merski trak,
- termometer in
- kredo.

#### 4. OBSTOJEČA VIŠINSKA MREŽA

Na obravnavanem območju Male hidroelektrarne Markovci, torej v okolici hidroelektrarne in jezua, je že razvita višinska geodetska mreža, ki je namenjena spremljanju morebitnih premikov višinskih točk v vertikalni smeri. Geodetski datum višinske mreže določata dva stabilna izhodiščna reperja R36 in R37, ki se nahajata na dveh bližnjih hišah, izven vplivnega območja elektrarne (glej sliko 4). Zaradi gradnje objekta MHE Markovci, kot je že zgoraj navedeno, je bila uničena višinska točka, preko katere je bila omogočena izmera višinskih točk na prelivnih poljih. To so točke od R16 do R20 in od R16' do R20', ki so bile nazadnje izmerjene junija 2011. S pomočjo novo stabiliziranega reperja R24N bi nadomestili uničeno višinsko točko H17 in izmerili višine točk na prelivnih poljih. (Savšek in sod., 2012:37-39; Savšek in sod., 2015:9-12).

Višini reperjev, ki določata geodetski datum višinske mreže, sta podani v preglednici 2.

Preglednica 2: Višini reperjev, ki določata geodetski datum višinske mreže

Ime reperja	Višina [m]
R36	217,40350
R37	217,35830



Slika 4: Položaj izhodiščnih reperjev (Vir: GURS)



## 5. STABILIZACIJA TOČK

Reperja, ki določata geodetski datum višinske mreže, torej reperja R36 in R37 in reperji na objektu MHE Markovci, torej reperji E1, E2 in E3 so stabilizirani v vertikalni steni objekta s čepom sodčaste oblike iz nerjavečega jekla.



Slika 5: Reper R36 (zgoraj levo), R37 (zgoraj desno) in objekt MHE Markovci z reperjem E3 (spodaj)  
(Vir: Djurić)

Reper, ki predstavlja vozlišče naše mreže – R14, reper R8 in reperji na prelivnih poljih (R16-R20 in R16'-R20') so talno stabilizirani čepi iz nerjavečega jekla.



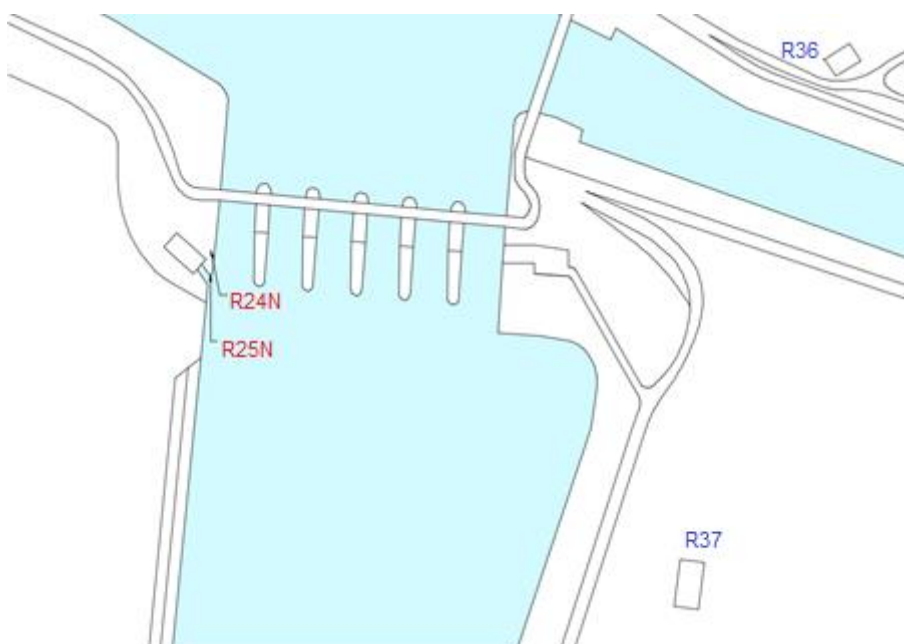
Slika 6: Reper R14 (levo) , R8 (na sredini) in R17 (desno) (Vir: Djurić)

Pred samo izmero smo odšli na pregled terena, kjer se je izvedla stabilizacija novega reperja, ki omogoča prenos višin na reperje na prelivnih poljih. Reper je vgrajen bočno v vertikalno steno pred objektom MHE Markovci. Tako kot pri prej omenjenih reperjih, gre za čep sodčaste oblike iz nerjavečega jekla. Reper smo poimenovali R24N, grafično je prikazan na sliki 7.



Slika 7: Stabilizacija reperja R24N (Vir: Djurić)

Zaradi neugodnega položaja kontrolne točke H17, ki se nahaja v kotu za ograjo, smo stabilizirali še en dodatni reper R25N. Iz slike 8 (levo) je razvidno, da je postavljanje late na to točko zelo nerodno, saj jo moramo dvigniti čez ograjo. Figurant, ki jo drži, s svojim telesom ovira pogled na nivelmansko lato in s tem onemogoča niveliranje na kontrolno točko H17. Zato menimo, da je stabilizacija še enega reperja – reperja R25N, nujna. Na sliki 8 (desno) je prikazan ustrežnejši položaj novega reperja.

Slika 8: Kontrolna točka H17 in vrtanje za nov reper (levo) ter novo stabilizirani reper R25N (desno)  
(Vir: Djurić)Slika 9: Prikaz lege izhodiščnih reperjev (označeno z modro) in novih reperjev (označeno z rdečo)  
(Vir: Djurić)

## 6. POTEK DELA NA TERENU

Prva dva odstavka sta povzeta po zapiskih predavanj pri predmetu Precizna klasična geodetska izmera (Kogoj, 2015).

Pred pričetkom izvajanja meritev moramo, v skladu s sedmo zahtevo projektne naloge Novelacija geodetskega tehničnega opazovanja na jezu Markovci (Savšek in sod., 2012: 15), opraviti preizkus pogoška nevporednosti vizurne (ali kolimacijske) osi in osi nivelacijske libele. Preizkus imenujemo tudi preizkus glavnega pogoja nivelirja (Kogoj, 2015).

Odločili smo se, da je preizkus najbolje izvesti po Foersterjevem načinu, saj ima približno konstantno oddaljenost med nivelirjem in nivelmanskima latama, kar pomeni, da je premik fokusiranih leč zelo majhen. Prav tako je prednost Foersterjevega načina ta, da ni potrebno obračati nivelmanskih lat in je zato manjša možnost premika podloške (Kogoj, 2015).

Preizkus smo izvedli v jutranjih urah, pred samo izmero, saj je najbolje, da izvedba poteka v času, ko ni močnega sončevega obsevanja. Preizkus je bil opravljen po ustrezni aklimatizaciji instrumenta, na približno horizontalnem terenu. Vrednost popravka horizontalnosti vizurne je znašala 2,02". Omeniti velja, da se pogrešek eliminira s strogim niveliranjem iz sredine. Ker smo izbrali ustrezni merski program, je bil pogoj niveliranja iz sredine izpolnjen.

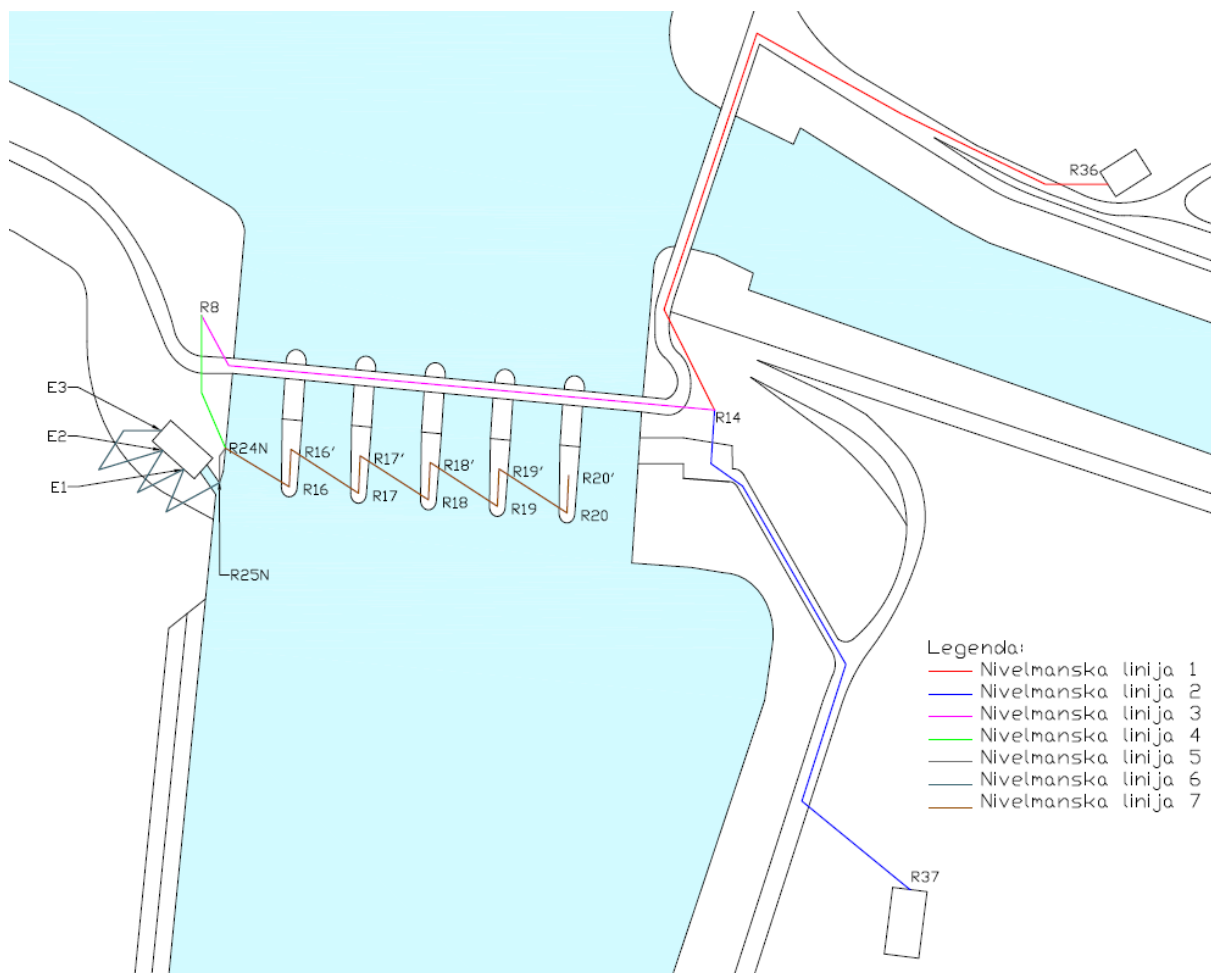
Meritve na terenu so bile izvedene na način, da smo za pridobitev želene višinske razlike med izbranimi reperjema naredili par nivelmanskih linij, kjer imata liniji istega para obraten potek, torej če prva linija poteka od reperja A do reperja B, bo druga linija potekala od reperja B do reperja A. Za takšen način meritev smo se odločili zato, da v primeru prekoračitve dopustnega odstopanja nivelmanske linije, le-to ponovimo le v tisto smer, za katero se nam zdi, da je prisoten grobi pogrešek.

Za določitev višine novo stabiliziranega reperja R24N smo naredili štiri pare linij nivelmanskega vlaka in sicer:

- prvi par linij, ki poteka od reperja R36 do reperja R14 in nazaj,
- drugi par linij, ki poteka od reperja R37 do reperja R14 in nazaj,
- tretji par linij, ki poteka od reperja R14 do reperja R8 in nazaj,
- četrti par linij, ki poteka od reperja R8 do R24N in nazaj.

S prvima paroma linij nivelmanskega vlaka smo prenesli višino iz stabilnih izhodiščnih reperjev (R36 in R37) na reper R14, ki je vozlišče našega nivelmanskega vlaka. Novo določeno višino reperja R14 smo, z niveliranjem po stopnicah, s tretjim parom linij nivelmanskega vlaka, prenesli na reper R8 (slika 10).

Nadaljevali smo s četrtim parom linij nivelmanskega vlaka, s katerim smo določili višino novo stabiliziranega reperja R24N. Z najverjetnejšo višino reperja R24N smo določili višino novo stabiliziranega reperja R25N (ki nadomešča višino kontrolne točke H17), višine reperjev na prelivnih poljih in višine reperjev na objektu MHE Markovci (slika 10).



Slika 10: Skica nivelmanskih linij (Vir: Djurić)

Višina reperja R25N je bila določena po že opisani metodi, torej s parom nivelmanskih linij od reperja R24N do R25N in nazaj.

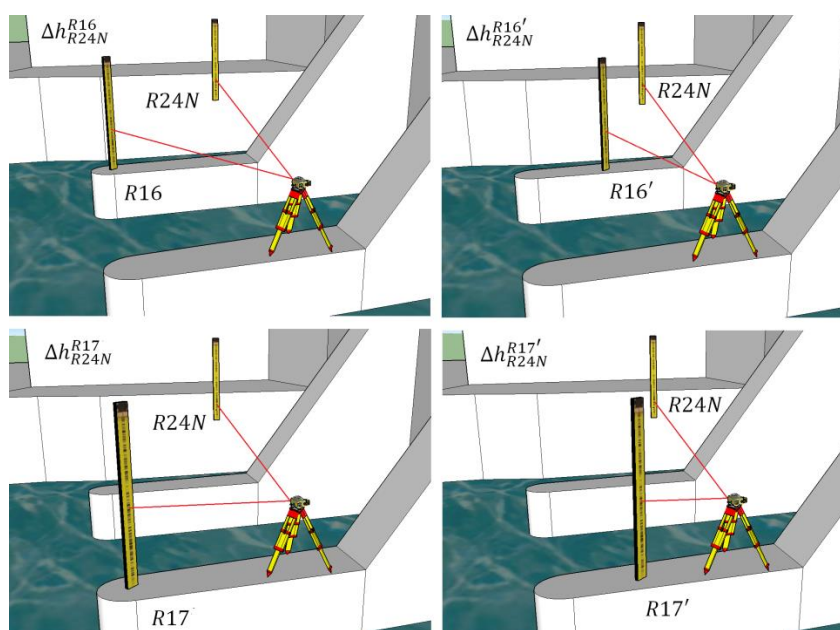
Pri določanju višin reperjev R16 do R20 in R16' do R20' smo se soočili z zahtevnim terenom, saj se reperji nahajajo na prelivnih poljih, ki so precej nižje od prosto dostopnega vrhnjega dela jezusa. Zato smo se z instrumentom in ostalo opremo spuščali z vrhnjega dela jezusa na prelivna polja s pomočjo plezalne lestve in vrvi. V izogib odvečnemu "plezanju", smo imeli eno nivelmansko lato ves čas na reperju R24N, instrument pa ves čas na drugem prelivnem polju z zahodne strani, premikali smo le eno nivelmansko lato. Na ta način smo upoštevali deseto zahtevo projektne naloge Novelacija geodetskega tehničnega opazovanja na jezusu Markovci (Savšek in sod., 2012: 15), ki dopušča uporabo metode detajlnega nivelmana.

Za vsak reper na prelivnih poljih smo naredili novo nivelmansko linijo, le-te so na sliki 10 zaradi boljše preglednosti prikazane zgolj simbolično kot ena nivelmanska linija. Dejanski prikaz nivelmanskih linij na prelivnih poljih je prikazan na slikah 11 in 12.



Slika 11: Dejanski prikaz nivelmanskih linij na prelivnih poljih (Vir: Djurić)

Za lažje razumevanje smo v programu Sketchup naredil 3D model, ki ponazarja izvedbo meritev na prelivnih poljih.



Slika 12: Ponazoritev niveliranja na prelivnih poljih (Vir: Djurić)

Sledila je določitev višin reperjev E1, E2 in E3, ki se nahajajo na objektu MHE Markovci. Te smo določili z enim parom nivelmanskih liniji, ki poteka od reperja R24N preko reperjev E1 in E2 do reperja E3 in nazaj (glej sliko 10).

Pri niveliranju smo vodili zapisnik za nivelmansko linijo, ki vsebuje:

- začetni in končni reper nivelmanske linije,
- katera nivelmanska leta je bila postavljena na začetnem in katera na končnem reperju,
- višinska razlika med reperjema in dolžina nivelmanske linije,
- temperatura nivelmanskih lat ob začetku in koncu niveliranja,
- datum in čas merjenja,
- odstopanje, ki nam ga poda instrument in dopustno odstopanje.

Dopustno odstopanje nivelmanske linije ( $\Delta_{dop}$ ) v obeh smereh se izračuna po enačbi 2.

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

kjer je  $d$  dolžina nivelmanske linije (Savšek in sod., 2010: 464).

Odstopanje, ki ga poda instrument, mora biti manjše od dopustnega, s čemer zmanjšamo verjetnost za prisotnost grobih pogreškov pri opravljanju meritev.

## 7. PRIPRAVA PODATKOV PRED IZRAVNAVO

### 7.1. Urejanje meritev

Z izvozom podatkov nam instrument poda datoteko formata \*.gsi, iz katere je potrebno razbrati podatke, ki so potrebni za nadaljnje izračune – to so dolžine nivelmanskih linij in višinske razlike med reperji.

Dolžina med začetnim reperjem nivelmanske linije in naslednjim izmeniščem je zapisana za kodo 574..8 (na sliki 13 označena z modro barvo). Naslednjič, ko se ta koda pojavi, definira vsoto prejšnje dolžine (oziroma vseh prejšnjih dolžin) in dolžine med naslednjim parom izmenišč (ta vrednost je na sliki 13 označena z oranžno barvo). Ta postopek se iterativno ponavlja do konca nivelmanske linije, zato zadnja vrednost za kodo 574..8 (na sliki 13 označena z zeleno barvo) predstavlja dolžino nivelmanske linije. V spodnjem primeru na sliki 13, dolžina med reperjema R36 in R14 znaša 241,64757m.

```
*110051+00000000000000R36 32...8+0000000000704465 331.28+0000000000175269 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000004
*110052+00000000000000001 32...8+0000000000722726 332.28+0000000000110276 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000006
*110053+00000000000000001 32...8+0000000000722828 336.28+0000000000110273 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000002
*110054+00000000000000R36 32...8+0000000000705042 335.28+0000000000175268 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000002
*110055+00000000000000001 571.28-00000000000000003 572.28-00000000000000003 573..8-0000000000018024 574..8+00000000001427530
*110056+00000000000000001 32...8+00000000002554808 331.28+0000000000237011 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000005
*110057+00000000000000002 32...8+00000000002563999 332.28+0000000000003286 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000007
*110058+00000000000000002 32...8+00000000002563687 336.28+0000000000003289 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000002
*110059+00000000000000001 32...8+00000000002554988 335.28+00000000000237017 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000009
*110060+00000000000000002 571.28-00000000000000002 572.28-00000000000000005 573..8-0000000000026969 574..8+00000000006546271
*110061+00000000000000002 32...8+00000000002659010 331.28+00000000000244115 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000003
*110062+00000000000000003 32...8+00000000002616259 332.28+00000000000092658 390...+0000000000000007 391.28+0000000000000020
*110063+00000000000000003 32...8+00000000002616350 336.28+00000000000092640 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000001
*110064+00000000000000002 32...8+00000000002658920 335.28+00000000000244115 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000003
*110065+00000000000000001 571.28-000000000000000018 572.28-000000000000000036 573..8-0000000000015691 574..8+000000000011821540
*110066+00000000000000003 32...8+00000000001368663 331.28+0000000000141062 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000004
*110067+00000000000000003 32...8+00000000001410213 332.28+00000000000140794 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000002
*110068+00000000000000004 32...8+00000000001409706 336.28+0000000000140780 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000007
*110069+00000000000000003 32...8+00000000001368455 335.28+0000000000141062 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000003
*110070+00000000000000004 571.28-000000000000000014 572.28-000000000000000036 573..8-0000000000025710 574..8+00000000014600059
*110071+00000000000000004 32...8+00000000002632803 331.28+0000000000141650 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000008
*110072+00000000000000005 32...8+00000000002593909 332.28+0000000000139991 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000003
*110073+00000000000000005 32...8+00000000002594295 336.28+0000000000139994 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000004
*110074+00000000000000004 32...8+00000000002633510 335.28+0000000000141646 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000006
*110075+00000000000000005 571.28-000000000000000007 572.28-00000000000000029 573..8+0000000000013345 574..8+00000000019827318
*110076+00000000000000005 32...8+00000000002214705 331.28+0000000000141719 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000004
*110077+00000000000000R14 32...8+00000000002122826 332.28+0000000000139729 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000004
*110078+00000000000000R14 32...8+00000000002122870 336.28+0000000000139739 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000006
*110079+00000000000000005 32...8+00000000002214478 335.28+0000000000141726 390...+0000000000000004 391.28+0000000000000007
*110080+00000000000000R14 571.28+00000000000000004 572.28-00000000000000025 573..8+00000000000105088 574..8+000000000024164757
```

Slika 13: Prikaz dolžin v datoteki formata \*.gsi (Vir: Djurić)

Prav to vrednost uporabimo v nadaljnji izravnavi. Podobno velja za višinske razlike, ki so zapisane za kodo 83..28. Višinske razlike med posameznima izmeniščema, oziroma reperjema instrument izračuna iz posameznih višinskih odčitkov, ki so v datoteki formata \*.gsi zapisani kot:

- vrednost za kodo 331.28, ki predstavlja prvi odčitek na lati zadaj  $l_{z1}$  (na sliki 14 označena z modro),
- vrednost za kodo 332.28, ki predstavlja prvi odčitek na lati spredaj  $l_{s1}$  (na sliki 14 označena z oranžno),
- vrednost za kodo 336.28, ki predstavlja drugi odčitek na lati spredaj  $l_{s2}$  (na sliki 14 označena z rumeno)
- in vrednost za kodo 335.28, ki predstavlja drugi odčitek na lati zadaj  $l_{z2}$  (na sliki 14 označena z zeleno).

```
*110051+00000000000000R36 32...8+0000000000704465 331.28+0000000000175269
*110052+00000000000000001 32...8+0000000000722726 332.28+0000000000110276
*110053+00000000000000001 32...8+0000000000722828 336.28+0000000000110273
*110054+00000000000000R36 32...8+0000000000705042 335.28+0000000000175268
```

Slika 14: Prikaz višinskih razlik v datoteki formata \*.gsi (Vir: Djurić)

Instrument izračuna aritmetično sredino višinske razlike prvih odčitkov ( $\Delta h_1$ ) in višinske razlike drugih odčitkov ( $\Delta h_2$ ):

$$\Delta h = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{2}, \quad (3)$$

$$\text{kjer je } \Delta h_1 = l_{z1} - l_{s1} \quad (4)$$

$$\text{in } \Delta h_2 = l_{z2} - l_{s2} \quad (5)$$

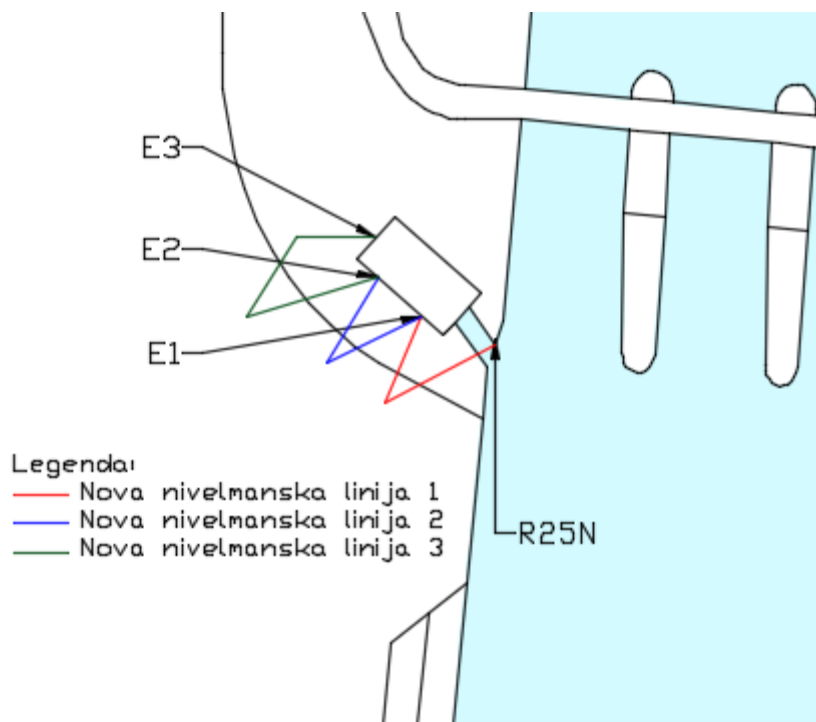
Tu nastopi problem, saj instrument ni zmožen operirati z več kot petimi decimalnimi mesti in vrednost zaokroži ter tako lahko stori napako na petem decimalnem mestu. Zato je smiselno, da ne upoštevamo vrednosti za kodo 83..28, temveč sami naredimo izračun iz surovih opazovanj.

Enak problem nastopa pri dolžinah, te instrument meri v metrih, ker pri nivelmanu vedno govorimo o natančnosti kilometra nivelmana, je dolžine potrebno pretvoriti v kilometre. Tako se napaka prestavi iz petega decimalnega mesta na zanemarljivo osmo decimalno mesto, zato lahko uporabimo kar vrednosti, ki nam jih poda instrument.

Pri niveliranju reperjev na objektu MHE Markovci, smo točkam E1, E2 in E3 določili višino le z enim parom nivelmanskih linij, ki poteka med reperjema R25N in E3. Zato smo prvotni par nivelmanskih linij razdelili na toliko novih parov nivelmanskih linij, kolikor višinskih vrednosti reperjev smo določili (torej tri pare nivelmanskih linij).

Urejeni pari novih nivelmanskih linij so:

- prvi par nivelmanskih linij, ki poteka od reperja R25N do reperja E1 in nazaj,
- drugi par nivelmanskih linij, ki poteka od reperja E1 do reperja E2 in nazaj,
- tretji par nivelmanskih linij, ki poteka od reperja E2 do reperja E3 in nazaj.



Slika 15: Prikaz novo urejenih nivelmanskih linij (Vir: Djurić)

Po prej opisani metodi smo določili višinske razlike novo urejenih nivelmanskih linij. Dolžine ( $d$ ) smo tokrat pridobili iz surovih opazovanj, ki so zapisani za kodo 32...8. Izračunali aritmetično sredino vsote dolžin prvih odčitkov ( $d_1$ ), ki so na sliki 16 modro označeni in vsote dolžin drugih odčitkov ( $d_2$ ), na sliki 16 oranžno označeni:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (6)$$



V primeru na sliki 16 dolžina med reperjema E3 in E2 znaša 24,116815 m.

```
*110383+000000000000000E3 32...8+0000000001295178  
*110384+000000000000000E2 32...8+0000000001116460  
*110385+000000000000000E2 32...8+0000000001116602  
*110386+000000000000000E3 32...8+0000000001295123
```

Slika 16: Prikaz dolžin nivelmanskih linij, katere je potrebno urediti, v datoteki formata \*.gsi  
(Vir: Djurić)

Niveliranje na prelivnih poljih je, kot že omenjeno, potekalo le s posameznimi nivelmanskimi linijami od reperja R24N do vsakega reperja na prelivnih poljih. Med reperji smo nivelirali le z eno nivelmansko linijo (glej sliko 11). Merjene nivelmanske linije smo, po zgoraj navedenem postopku, razdelili na novo urejene pare nivelmanskih linij.

Pri urejanju nivelmanskih linij je potrebno biti pozoren na število izmenišč med reperji, saj s tem določimo katera nivelmanska leta je stala na posameznem reperju. Potrebno je tudi smiselno urediti temperature nivelmanskih lat, kljub temu, da imajo zanemarljivo majhen vpliv na končni rezultat.

## 7.2. Obdelava podatkov

Poglavje 7.2. je povzeto po zapiskih predavanj pri predmetu Precizna klasična geodetska izmera (Kogoj, 2015).

Urejene odčitke na lati moramo pred izračunom višinskih razlik in izravnavo popraviti za popravek razdelbe late in popravek pete late. S popravkom razdelbe late odstranimo pogrešek razdalje med peto late in ničelno vrednostjo na razdelbi nivelmanske late. Pogrešku se lahko izognemo, če imamo na začetnem in končnem reperju nivelmanske linije postavljeno isto nivelmansko lato, z drugimi besedami: pogrešku se izognemo s sodim številom stojišč nivelmanske linije. S popravkom pete late odstranimo pogrešek nepravokotnosti pete late na razdelbo nivelmanske late (Kogoj, 2015).

Vrednosti popravimo z omenjenima popravkoma po enačbi 6 (Kogoj, 2015).

$$L = l_0 + L' \cdot (1 + (m_0 + \alpha \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6}) \quad (7)$$

kjer so:

$L$  – popravljena vrednost odčitka [m]

$l_0$  – popravek pete late [mm]

$L'$  – odčitek na lati [m]

$m_0$  – popravek razdelbe late [ppm]

$\alpha$  – linearni razteznostni koeficient razdelbe [ppm/°C]

$T$  – temperatura late [°C]

$T_0$  – normalna temperatura [°C]

Popravek razdelbe late ( $m_0$ ) in popravek pete late ( $l_0$ ) pridobimo iz certifikatov nivelmanskih lat, ki ju prilagamo v prilogi B. Podatki komparacije uporabljenih nivelmanskih lat so preglednici 3.

Preglednica 3: Popravek razdelbe in popravek pete uporabljenih lat

Ime nivelmanske late	$m_0$	$l_0$
LEICA GPCL3 37070	4,44 mm $\pm$ 0,25 ppm	-0,021 mm $\pm$ 0,004 mm
LEICA GPCL3 37067	5,27 mm $\pm$ 0,23 ppm	0,001 mm $\pm$ 0,004 mm

## 8. IZRAVNAVA

### 8.1. Izravnava po metodi najmanjših kvadratov

Poglavje 8.1. je povzeto po zapiskih predavanj pri predmetu Izravnalni račun (Stopar, 2015).

Geodetska opazovanja izvedena na terenu ne predstavljajo točnih vrednosti, temveč gre za slučajne spremenljivke, katerih vrednost je nestabilna in se spreminja zaradi pogreškov, ki so nastali med izvedbo opazovanj. Vpliv pogreškov lahko zmanjšamo z izvedbo nadštevilnih opazovanj.

V takšnem primeru moramo za izračun enolične rešitve problema, uporabiti izravnava po metodi najmanjših kvadratov, oziroma MNK. Enolično rešitev predstavlja izravnano opazovanje, ki je vsota opazovanja izvedenega na terenu in popravka opazovanja, ki ga pri izravnavi računamo (Stopar, 2015).

$$\hat{l} = l + v \quad (8)$$

kjer so:

- $\hat{l}$  – izravnano opazovanje
- $l$  – opazovanje izvedeno na terenu
- $v$  – popravek opazovanja

Izravnava po MNK predpostavlja, da so vsa na terenu opravljena opazovanja napačna zaradi nastalih pogreškov. Iz merjenih opazovanj preidemo na enolično določeno rešitev s pomočjo popravkov in sicer najbolj optimalen prehod je takrat, ko velja, da je vsota kvadratov popravkov minimalna. Opazovanja izvedena na terenu so običajno opravljena z različno natančnostjo, zato vsakemu opazovanju pripada utež  $p$ . Za opazovanja različnih natančnosti torej velja:

$$\Phi = p_1 \cdot v_1^2 + p_2 \cdot v_2^2 + p_3 \cdot v_3^2 + \dots + p_i \cdot v_i^2 = \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_i^2 \rightarrow \min \quad (9)$$

kjer so:

- $\Phi$  – karakteristična funkcija uteži in popravka posameznih opazovanj
- $v_i$  – popravek  $i$ -tega opazovanja
- $p_i$  – utež  $i$ -tega opazovanja

Za niveliranje velja, da je utež opazovanja enaka obratni vrednosti dolžine  $d_{[km]}$  med opazovanima reperjema v kilometrih.

$$p_i = \frac{1}{d_{[km]}} \quad (10)$$

Višine reperjev smo določili posredno na podlagi merjenih višinskih razlik. Merili smo torej druge količine, s katerimi so določene iskane količine, ki so neznanke v izravnavi.

Izravnava zato poteka po posredni metodi, kjer v sistemu enačb popravkov nastopajo neznanke. Opazovanja so v našem primeru višinske razlike, neznanke pa višine reperjev.

Matrični zapis posredne izravnave ima obliko:

$$v + B \cdot \Delta = f \quad (11)$$

kjer so:

- $v$  – vektor popravkov opazovanj
- $B$  – matrika popravkov opazovanj
- $\Delta$  – vektor neznank
- $f$  – vektor opazovanj

Normalne enačbe imajo obliko:

$$N = B^T \cdot P \cdot B \quad (12)$$

$$t = B^T \cdot P \cdot f \quad (13)$$

kjer so:

- $N$  – matrika normalnih enačb
- $t$  – vektor stalnih členov

Rešitev posredne izravnave po MNK so sledeči trije vektorji

$$\Delta = N^{-1} \cdot t \quad (14)$$

$$v = f - B \cdot \Delta \quad (15)$$

$$\hat{l} = l + v \quad (16)$$

## 8.2. Izravnava s programom VimWin

Izravnava je potekala v programu VimWin, ta kot vhodne datoteke sprejme datoteke s končnico \*.pod, kjer podamo število decimalnih mest za izpis višinskih razlik in višin, dane reperje z definitivnimi višinami, nove reperje s približnimi višinami, enote dolžin in potek nivelmanske izmere z vsemi merjenimi višinskimi razlikami in dolžinami (Ambrožič in sod., 1999).

Geodetski datum višinske mreže v izravnavi določata reperja R36 in R37, vsi ostali reperji se obravnavajo kot novi reperji. Novim reperjem podamo približne višine, nato izravnavo ponovimo in v drugi iteraciji izravnane višine novih reperjev prevzamemo kot približne višine, tako so vsa odstopanja enaka 0. To storimo zato, ker so v vektorju odstopanj lahko skriti tudi grobi pogreški opazovanj ali pa "slabe" višine. Enote dolžin so dogovorno usklajene s kilometri, saj pri nivelmanu vedno govorimo o natančnosti kilometra nivelmana. Oblika vhodne datoteke je razvidna iz preglednice 4 (Ambrožič in sod., 1999).

Preglednica 4: Oblika vhodne datoteke za program VimWin in pomen parametrov

Oblika vhodne datoteke	Pomen parametrov
* <i>št_dec_mest</i>	Tu definiramo število decimalnih mest ( <i>št_dec_mest</i> ) za izpis višinskih razlik in višin
*D <i>"reper" v</i>	Tu zapišemo imena danih reperjev ( <i>"reper"</i> ) in njihove višine ( <i>v</i> )
*N <i>"reper" v</i>	Tu navedemo imena novih reperjev ( <i>"reper"</i> ) in njihove višine ( <i>v</i> )
*E <i>"enota_dolžin"</i>	Tu podamo enoto merjenih dolžin ( <i>"enota_dolžin"</i> )
*O <i>"reper_z" "reper_s" v_raz d</i>	Tu opišemo potek sklenjene nivelmanske zanke, najprej navedemo ime reperja zadaj ( <i>"reper_z"</i> ), nato ime reperja spredaj ( <i>"reper_s"</i> ) ter višinsko razliko ( <i>v_raz</i> ) in dolžino ( <i>d</i> ) med njima
*K	

Pri izdelavi vhodne datoteke smo iz merjenih nivelmanskih linij oblikovali sklenjeno nivelmansko zanko v vrstnem redu, ki je razviden iz preglednice 5.

Preglednica 5: Vrstni red reperjev v sklenjeni nivelmanski zanki

R14↔R36 R14↔R37	Navezava vozliščnega reperja na izhodiščna reperja
R14→R8→R24N→R25N→E1→E2→E3 E3→E2→E1→R25N→R24N	Določitev višine novo stabiliziranih reperjev in reperjev na objektu MHE
R24N↔R16, R24N↔R16', R24N↔R17, R24N↔R17', R24N↔R18, R24N↔R18', R24N↔R19, R24N↔R19', R24N↔R20, R24N↔R20'	Določitev višine reperjev na prelivnih poljih
R24N→R8→R14	Sklenitev zanke v vozliščnem reperju

Nadaljevanje poglavja 8.3. je povzeto po navodilih za opravljanje vaj pri predmetu Geodezija pri gradnji objektov (Urbančič, 2016).

Kot rezultat nam program VimWin poda izhodno datoteko z rezultati izravnave, ki vsebuje definitivne višine novih reperjev, srednje pogreške višin, oziroma standardne odklone višin in srednji pogrešek enote uteži, oziroma standardni odklon aposteriori – po izravnavi ( $\hat{\sigma}_0$ ). Srednji pogrešek enote uteži izračunamo po enačbi 16 (Urbančič, 2016).

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{[p \cdot v \cdot v]}{r}} \quad (17)$$

kjer so:

- $p$  – utež
- $v$  – popravek merjene višinske razlike aposteriori
- $r$  – število nadštevilnih opazovanj

Zaradi uporabljene metode izmere, si je smiselno ogledati tudi oceno natančnosti na osnovi niveliranja nivelmanskih linij v obeh smereh ( $\sigma_L^2$ ) (Urbančič, 2016):

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

kjer so:

- $n_L$  – število nivelmanskih linij
- $\rho$  – odstopanje merjene višinske razlike nivelmanske linije
- $d$  – srednja dolžina nivelmanske linije v kilometrih

## 9. REZULTATI IN KOMENTAR

Rezultat izvedene izravnave so defenitivne višine izmerjenih reperjev, njihov srednji pogrešek in srednji pogrešek enote uteži.

Pomembna je določitev višin novih reperjev, predvsem reperja R24N, saj le-ta omogoča prenos višine in izmero reperjev na prelivnih poljih.

Preglednica 6: Definitivne višine in natančnosti določitve višin izravnanih reperjev

Ime reperja	Definitivna višina [m]	Srednji pogrešek višine [mm]
R14	221,64453	0,12
R8	221,66267	0,16
<b>R24N</b>	<b>212,86466</b>	<b>0,17</b>
R25N	213,00140	0,18
E1	216,26237	0,19
E2	216,27191	0,20
E3	216,27495	0,21
R16	211,53895	0,19
R16'	211,53654	0,19
R17	211,53406	0,19
R17'	211,53792	0,19
R18	211,52257	0,19
R18'	211,52504	0,19
R19	211,53054	0,20
R19'	211,53406	0,20
R20	211,52850	0,20
R20'	211,53993	0,20

Srednji pogrešek enote uteži (referenčni standardni odklon):

$$\hat{\sigma}_0 = 0,46 \text{ mm}$$

Ocena natančnosti na osnovi odstopanj niveliranja nivelmanskih linij v obeh smereh:

$$\sigma_L = 0,44 \text{ mm}$$

Iz zgornje preglednice 6 lahko razberemo, da so bile višine reperjev natančno določene. Natančnost določitve, oziroma standardni odklon višine ima vrednost v intervalu med 0,12 mm in 0,21 mm, srednji pogrešek enote uteži znaša 0,46 mm in ocena natančnosti na osnovi niveliranja nivelmanskih linij v obeh smereh znaša 0,44 mm.

Eden izmed ciljev diplomske naloge je bil tudi ponovna določitev višin reperjev na prelivnih poljih, s pripadajočimi standardnimi odkloni z izravnavo. Dobljene rezultate letošnje izmere smo primerjali z zadnjo izmero iz leta 2011 in ocenil spremembe višin reperjev na prelivnih poljih.

Preglednica 7: Primerjava višin iz leta 2016 in iz leta 2011

Ime reperja	Definitivna višina iz leta 2016 $h_{2016}$ [m]	Definitivna višina iz leta 2011 $h_{2011}$ [m]	Razlika $h_{2016} - h_{2011}$ [mm]
R16	211,53895	211,53950	-0,55
R16'	211,53654	211,53740	-0,86
R17	211,53406	211,53540	-1,34
R17'	211,53792	211,53970	-1,78
R18	211,52257	211,52330	-0,73
R18'	211,52504	211,52640	-1,36
R19	211,53054	211,53040	0,14
R19'	211,53406	211,53500	-0,94
R20	211,52850	211,52730	1,20
R20'	211,53993	211,53970	0,23

Pri primerjavi definitivnih višin lahko vidimo, da se razlike gibljejo med 0,23 mm in 1,78 mm. Zanimivo je, da so razlike večinoma negativnega predznaka, kar pomeni, da je v obdobju petih let prišlo do poseganja reperjev na prelivnih poljih. Domnevo je mogoče potrditi s testiranjem višinskih izmer za morebitne statistično značilne premike višin reperjev. Zato predlagamo kontinuirano enkrat letno spremljanje stabilnosti reperjev na prelivni steni v prihodnjih izmerah.

## 10. ZAKLJUČEK

Med študijem se terenska izmera pogosto izvaja v idealnih razmerah, zato je dejanska zahteva naročnika za študenta svojevrstna priložnost, pa tudi izziv. Naročnik DEM je v konkretnem primeru zahteval stabilizacijo reperja, ki bi omogočal spremljanje stabilnosti reperjev na prelivnih poljih z natančnostjo boljšo od enega milimetra. Sodelovati v vseh fazah vzpostavitve reperja, izmere in izračuna je bila zame odlična izkušnja. Z vgradnjo reperja sem se dejansko srečal prvič in lahko rečem, da je to ena najbolj odgovornih in zahtevnih del v fazi izvedbe projekta. Zaradi zahtevnega terena je bil tudi razmislek o logistiki izmere poseben izziv.

Prvi zastavljeni cilj diplomske naloge je bil uspešno dosežen. Stabiliziran je nov reper R24N, ki omogoča prenos višine in ponovno izmero reperjev na prelivnih poljih za vse bodoče izmere. Reper je bil bočno vgrajen v betonski zid. Z navezavo na izhodiščna reperja R36 in R37 smo z izravnavo določili definitivno nadmorsko višino in standardni odklon novega reperja.

Drugi zastavljeni cilj diplomske naloge je prav tako uspešno dosežen. S pomočjo omenjenega reperja, je bila opravljena ponovna izmera reperjev na prelivnih poljih. Z izravnavo smo jim določili najverjetnejše višine s pripadajočimi standardnimi odkloni. Dobljeni rezultati so analizirani na osnovi primerjave z zadnjo izmero iz leta 2011 in ocenjena je sprememba višin reperjev na prelivnih poljih.

Vgradnja dveh novih reperjev, določitev njunih višin in vključitev reperjev v višinsko mrežo je bilo izvedeno v skladu z navodili proizvajalca merske opreme in skladno z zahtevami predpisanimi v projektni nalogi Novelacija geodetskega tehničnega opazovanja na jezu Markovci.

Natančnost določitve višin se giblje v intervalu med 0,12 mm in 0,21 mm, srednji pogrešek enote uteži znaša 0,46 mm in ocena natančnosti na osnovi niveliranja nivelmanskih linij v obeh smereh znaša 0,44 mm.

Odločitve glede uporabljenih merskih postopkov in izvedba meritev na terenu so privedli do pričakovanih in zadovoljivih natančnosti izravnanih opazovanj, zato lahko trdimo, da so bile meritve in odločitve izvedene uspešno.

Pri opravljanju diplomske naloge sem pridobil veliko izkušenj, predvsem iz dela na terenu, saj se pri študiju redko soočamo z niveliranjem.

Pri ponovni izvedbi meritev bi se izognil določevanju višin večjega števila reperjev z enim parom nivelmanskih linij. V pomladni izmeri je predvidena izmera reperjev na prelivnih poljih, zato bi istočasno predlagal tudi spremljanje stabilnosti novo stabiliziranega reperja R24N.

Omeniti je potrebno tudi pozitivno vlogo investitorja, ki je omogočil izmero, brez njihovega sodelovanja in dovoljenja naloge ne bi bilo.



Ta stran je namenoma prazna

## VIRI

Ambrožič, T., Turk, G. 1999. Navodila za uporabo programa ViM, ver. 3.1

Dravske elektrarne Maribor (DEM). 2016.

<http://www.dem.si/slo/elektrarneinproizvodnja/1383> (Pridobljeno 16. 8. 2016.)

Kogoj, D. 2015. Precizna klasična geodetska izmera – zapiski predavanj.

Kogoj, D., Ambrožič, T., Savšek, S., Marjetič, A., Kregar, K., Stegenšek, B. 2012. Novelacija geodetskega tehničnega opazovanja na jezcu Markovci. Projektna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 62 str.

Leica Geosystems. 2016.

<http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm> (Pridobljeno 16.8.2016.)

Leica Geosystems. 2006. Leica DNA03/DNA10 User Manual. Heerbrugg, Leica Geosystems: 158 str.

[http://www.surveyteq.com/pdf/DNA\\_User\\_Manual\\_en.pdf](http://www.surveyteq.com/pdf/DNA_User_Manual_en.pdf) (Pridobljeno 16.8.2016.)

Rijavec, P. 2011. Mala hidroelektrarna Markovci, od zasnove do izvedbe. Energija 59:7.

<http://issuu.com/holding-slovenske-elektrarne/docs/energija-marec-2011> (Pridobljeno 16.8.2016.)

Savšek, S., Kogoj, D., Ambrožič, T., Marjetič, A., Kregar, K., Štebe, G. 2015. 64. izmera HC FORMIN in jezovne zgradbe v MARKOVCIH. Projektna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 60 str.

Savšek, S., Koler, B., Ambrožič, T., Sterle, O., Stopar, B., Kogoj, D. 2010. Realizacija geodetskih opazovanj v geotehniki. Geodetski vestnik, 54 (3). str 450–468.

Stopar, B. 2015. Izravnalni račun – zapiski predavanj.

Urbančič, T. 2016. Geodezija pr gradnji objektov – navodila za opravljanje vaj