

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 ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA

Kandidat:

ANŽE ZORE

**VPLIVI TEMPERATURNIH SPREMEMB PRI
MERJENJU Z DIGITALNIM NIVELIRJEM**

Diplomska naloga št.: **898/G**

**IMPACT OF TEMPERATURE CHANGES ON DIGITAL
LEVELLING MEASUREMENTS**

Graduation thesis No.: **898/G**

Mentor:

doc. dr. Aleš Breznikar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 27. 6. 2012

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

Podpisani **ANŽE ZORE** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: **»VPLIVI TEMPERATURNIH SPREMEMB PRI MERJENJU Z DIGITALNIM NIVELIRJEM«**.

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

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

Kamnik, 06.06.2012

Anže Zore

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	528.54 (043.2)
Avtor:	Anže Zore
Mentor:	doc. dr. Aleš Breznikar
Somentor:	asist. Tilen Urbančič
Naslov:	Vplivi temperaturnih sprememb pri merjenju z digitalnim nivelirjem
Obseg in oprema:	49 str., 3 pregl., 16 sl., 5 en., 14 graf., 1 pril.
Ključne besede:	digitalni nivelir, kodna nivelmanska lata, pogreški niveliranja, horizontalna vizurna os, temperaturne spremembe

Izvleček

V diplomskem delu je predstavljen vpliv temperaturnih sprememb na delovanje digitalnega nivelirja. Diplomska naloga je razdeljena na dva dela. V prvem delu, ki je povsem teoretičen, je predstavljena metoda geometričnega nivelmana skupaj z opremo za niveliranje. Podrobneje so opisani digitalni nivelirji in kodne nivelmanske late ter pogreški pri niveliranju. V drugem delu diplomske naloge so predstavljeni rezultati treh opravljenih testov. Pri prvem testu smo ugotavljali potreben čas, da se instrument ohladi oziroma ogreje na temperaturo okolice. Prišli smo do ugotovitev, da ogrevanje oz. ohlajevanje nivelirja ne poteka linearno, temveč po neki krivulji. Prav tako je opaziti razliko v potrebnem času za ogrevanje in ohlajevanje instrumenta. Čas za ohlajanje nivelirja je kar 2,5-krat krajši, kot čas potreben za ogrevanje. Pri drugem testu smo opazovali vpliv toplotnega zraka na horizontalno vizurno os. Na osnovi dobljenih rezultatov lahko zaključimo, da je vpliv temperaturne spremembe zraka na horizontalnost vizurne osi v okolici instrumenta bolj očiten, kot tisti v okolici nivelmanske late. Pri tretjem testu pa smo spremljali odčitke pri ohlajanju nivelirja. Pri večji temperaturni razliki med nivelirjem in okolico je bilo opaziti večjo razpršenost odčitkov, kar je glavni pokazatelj, da je nivelir potrebno pred vsakim delom ohladiti oziroma ogreti na temperaturo okolice.

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION WITH ABSTRACT

UDC:	528.54 (043.2)
Author:	Anže Zore
Supervisor:	Assist. Prof. Aleš Breznikar, Ph.D.
Cosupervisor:	Assist. Tilen Urbančič
Title:	Impact of temperature changes on digital levelling measurements
Notes:	49 p., 3 tab., 16 fig., 5 eq., 14 graph., 1 ann.
Key words:	digital level, coded levelling staff, errors in levelling, horizontal line of sight, temperature changes

Abstract

This graduation thesis shows the impact of temperature changes on digital level. The first and theoretical part explains the method of geometric levelling and its equipment, especially the digital levels and bar code levelling staff as well as the errors in levelling. The second part is practically orientated and consists of three tests. Firstly, changing the instrument's temperature is non-linear to the temperature of the level. Besides, the level takes 2,5 times longer to heat up than to cool down. Secondly, the impact of temperature changes in the surrounding air on the horizontal line of sight is greater when they happen closer to the instrument and lesser when they are nearer the levelling staff. Thirdly, the readings from a level that is cooling down are very dispersed, a clear sign that before any work is to be done, a level's temperature needs to be brought to the temperature of the surrounding air first.

Ta stran je namenoma prazna.

ZAHVALA

Zahvaljujem se vsem, ki so kakorkoli pripomogli k nastajanju diplomske naloge. To sta v prvi vrsti mentor doc. dr. Aleš Breznikar in somentor asist. Tilen Urbančič, ki sta me pri pisanju diplomske naloge pozorno spremljala in usmerjala z nasveti.

Posebna zahvala družini, ki mi je v prvi meri omogočila študij ter mi ves čas stala ob strani in me na tej poti podpirala. Zahvala tudi sošolcem za štiri nepozabna študijska leta.

»Ko se srečata rečni tok in skala,
rečni tok vedno zmaga,
toda ne z močjo,
temveč z vztrajnostjo!«

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	NIVELIRANJE IN DIGITALNI NIVELIRJI	3
2.1	Geometrični nivelman	3
2.2	Digitalni nivelirji	5
2.3	Nivelmanske late	7
2.4	Postopek izvedenja pri digitalnem nivelirju Leica DNA03	9
2.5	Pogreški niveliranja	10
2.5.1	Pogreški zaradi nepopolnosti instrumenta	12
2.5.2	Pogreški zaradi nepopolnosti nivelmanskih lat	12
2.5.3	Pogreški pomožnega pribora in pogreški delovnega okolja	14
2.5.4	Specifični pogreški digitalnih nivelirjev	16
2.6	Preizkus digitalnih nivelirjev	17
3	TEMPERATURA	21
3.1	Merjenje temperature	22
3.2	Specifična toplota, toplotna prevodnost in toplotni tok	23
4	PRAKTIČNE MERITVE	26
4.1	Uporabljen instrumentarij in oprema	26
4.2	Delovanje instrumenta	28
4.3	Opis problema in motiv za izvedbo raziskave	29
4.4	Test 1 – Temperiranje instrumenta	29
4.5	Test 2 – Vpliv toplega zraka na horizontalno vizurno os	33
4.6	Test 3 – Vpliv na odčitke pri ohlajanju nivelirja	35
4.6.1	Teoretične osnove	35

4.6.2	Izbira metode merjenja, izbira lokacije in časa	37
4.6.3	Ugotavljanje premika stativa oz. late ter ugotavljanje nagiba vizurne osi	41
5	ZAKLJUČEK	46
VIRI		48

KAZALO SLIK

Slika 1: Osnovni princip geometričnega nivelmana.	3
Slika 2: Osnovni princip geometričnega nivelmana z uporabo izmenišč.	4
Slika 3: Potek avtomatizacije nivelirjev.	5
Slika 4: Primerjava porabljenega časa za meritev med optičnim in digitalnim nivelirjem.	7
Slika 5: Različne nivelmanske late.	8
Slika 6: Princip kodiranja late proizvajalca Leica ter ugotavljanje najboljše korelacije pri izvrednotenju slike.	9
Slika 7: Nivelmanska refrakcija.	15
Slika 8: Kolimacijski pogrešek i.	18
Slika 9: Navadni način preizkusa glavnega pogoja nivelirja.	19
Slika 10: Preizkus glavnega pogoja nivelirja po Förstnerjevem načinu.	19
Slika 11: Preizkus glavnega pogoja nivelirja po Näbaurjevem načinu.	20
Slika 12: Preizkus glavnega pogoja nivelirja po Kukkamakijevem načinu.	20
Slika 13: Termično ravnovesje.	24
Slika 14: Nivelir Leica DNA03.	27
Slika 15: Poizkus s kaloriferjem.	33
Slika 16: Postavitev lat na terenu.	38

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnične značilnosti digitalnega nivelirja Leica DNA03.	27
Preglednica 2: Vpliv toplega zraka na vizurno os z desne strani.	34
Preglednica 3: Časovni raspored meritev.	38

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Karakteristiki termoelementa in uporovnega termometra.	22
Grafikon 2: Ogrevanje instrumenta iz zunanje na sobno temperaturo.	30
Grafikon 3: Ohlajanje instrumenta iz sobne na zunanjo temperaturo.	31
Grafikon 4: Primerjava ogrevanja nivelirja do različne sobne temperature.	32
Grafikon 5: Razlika med povprečjem odčitkov in referenčnim odčitkom pri ogrevanju zraka z desne strani.	34
Grafikon 6: Primerjava povprečnega variacijskega razmika med nivelirjema glede na razdaljo.	39
Grafikon 7: Primerjava absolutnega povprečja razlike odčitkov med nivelirjema glede na razdaljo.	40
Grafikon 8: Primerjava povprečja variacijskega razmika med nivelirjema glede na temperaturno razliko med nivelirjem in okolico.	40
Grafikon 9: Primerjava odčitkov na razdalji 10 metrov.	41
Grafikon 10: Primerjava odčitkov na razdalji 30 metrov.	42
Grafikon 11: Primerjava odčitkov na razdalji 50 metrov.	42
Grafikon 12: Povprečje razlike odčitkov med nivelirjema v posameznih serijah meritev.	43
Grafikon 13: Povprečje razlike odčitkov med nivelirjema na posamezni dolžini.	44
Grafikon 14: Razlika odčitkov med nivelirjema na različnih dolžinah v posameznih serijah.	45

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Geometrični nivelman je skupina geodetskih del, katerih cilj je določitev višinskih razlik med izbranimi višinskimi točkami. Enostaven postopek meritev, izračuna ter teorija, razdelana do izrednih podrobnosti, uvrščajo geometrični nivelman med najnatančnejše geodetske operacije. Geometrični nivelman uporabljamo pri določevanju višinskih razlik v osnovnih višinskih mrežah, pri lokalnih inženirskih višinskih mrežah, pri natančnih meritvah višinskih premikov in deformacij tal in objektov ter pri natančnih višinskih zakoličbah pri gradnji objektov in postavitvi strojev. Prav tako je metoda geometričnega nivelmana nepogrešljiva pri različnih znanstvenih raziskavah o Zemlji in samih objektih na njej, kamor upoštevamo določitev oblike geoida, določanje vertikalnih premikov zemeljske skorje pri tektonskih premikih, plimovanje zemeljske skorje, raziskave koeficienta zemeljske refrakcije in določevanje srednjega nivoja morja.

Od začetka geodezije pa vse do danes je prišlo do velikih sprememb pri geodetskih instrumentih, pri čemer so same metode izmere še vedno iste oz. enake kot so bile v preteklosti. Hiter razvoj tehnologije v vseh drugih panogah (elektronika, računalništvo, strojništvo) je pripeljal do sprememb tudi v geodeziji. Najbolj se to pozna na hitrosti in zmogljivosti instrumentov, ki danes lahko že popolnoma nadomestijo operaterja. Tako je tudi pri niveliranju digitalni nivelir popolnoma nadomestil klasičnega. Lahko rečemo celo, da ga je praktično že izpodrinil. Delo z njim je veliko hitrejše, tako naredimo več dela kot bi ga s klasičnim nivelirjem, kar je v današnjem času zelo pomembno, saj podjetja strmijo k hitri in kvalitetni izdelavi projekta, pri čemer gledajo tudi na ekonomičnost poslovanja.

Letu 1990 je Leica geosystem izdelala prvi digitalni nivelir na svetu, to je bil NA2000. Predstavljal je mejnik v tehniki niveliranja, saj je začel uporabljati nov inovativni princip branja lat s kodno razdelbo. Kmalu mu je sledil nivelir NA3000. Programska in strojna oprema nove generacije nivelirjev sta bili popolnoma na novo načrtovani pri uporabi obstoječih kodnih vzorcev.

Nivelir DNA03 uporablja kompenzator, ki za dušenje uporablja magnetne. Zasnovan je bil po principu nivelirja NA3003. Zaradi nemagnetnih karakteristik delov nihala, vpliv magnetnega polja Zemlje ne vpliva na kompenzator. Slika je zajeta s pomočjo novega visoko občutljivega CCD linearnega senzorja, ki je občutljiv na vidni spekter svetlobe.

Pri geometričnem nivelmanu se pojavljajo razni pogreški (slučajni, sistematični, specifični), ki vplivajo na natančnost meritev. Velikokrat je potrebno nivelirati pri nizkih temperaturah, ob vetru in spremenljivih vremenskih pogojih. Nivelir, ki ga prenesemo iz pisarne na teren ima še vedno sobno temperaturo. Pozimi je temperaturna razlika med instrumentom in okolico občutnejša, zato se pojavi vprašanje ali bo delo z njim dalo zahtevano natančnost rezultatov. Osnovni namen naloge je ugotoviti vplive temperaturnih sprememb pri merjenju z digitalnim nivelirjem, npr. kako temperaturna razlika med nivelirjem Leica DNA03 in okolico vpliva na spremembo horizontalnosti vizurne osi. Cilj naloge je dobiti odgovor na vprašanje ali je potrebno instrument pred delom na terenu temperaturno uskladiti s temperaturo okolice ter koliko časa naj bi bilo za to potrebnega.

Diplomska naloga je sestavljena iz petih poglavij. V uvodu so opisani zastavljeni cilji in namen diplomske naloge. V drugem poglavju je predstavljeno niveliranje in vse kar je z njim povezano, od osnov geometričnega nivelmana, do instrumentarija in opreme, ki se uporablja pri niveliranju in na koncu ne smemo izpustiti pogreškov prisotnih pri niveliranju. Tretje poglavje govori splošno o temperaturi, kjer se dotaknemo tudi pojmov specifična toplota, toplotna prevodnost in toplotni tok. Četrto poglavje je praktično obarvano in opisuje vse praktične meritve in opazovanja opravljena na terenu ter dobljene rezultate. V zadnjem poglavju smo zbrali ugotovitve, do katerih smo prišli s pomočjo praktičnih meritev.

2 NIVELIRANJE IN DIGITALNI NIVELIRJI

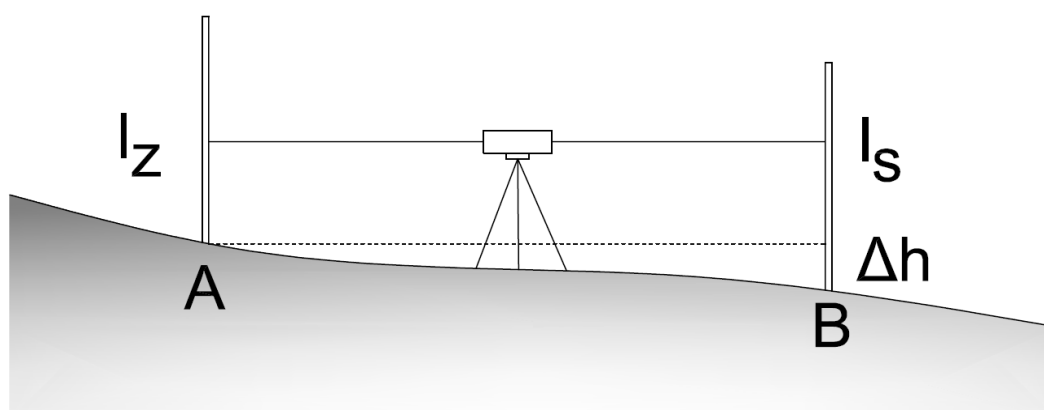
2.1 Geometrični nivelman

Geometrični nivelman je skupina geodetskih del na terenu in pisarni, katere namen je določitev višinskih razlik med izbranimi višinskimi točkami. Enostaven postopek meritev, izračuna ter teorija, razdelana do izrednih podrobnosti, uvrščajo geometrični nivelman med najnatančnejše geodetske operacije.

Višinsko razliko med točkama določimo z nivelirjem, ki zagotavlja horizontalno vizurno linijo in čitanja razdelbe na vertikalno postavljenih nivelmanskih latah. Geometrični nivelman je najnatančnejša klasična metoda merjenja višinskih razlik. Geometrični nivelman uporabljamo za določevanje:

- višinskih razlik v osnovnih višinskih oz. nivelmanskih geodetskih mrežah;
- lokalnih, inženirskih višinskih mrežah;
- pri natančnih meritvah višinskih premikov in deformacij tal in objektov;
- pri natančnih višinskih zakoličbah.

Višinsko razliko med dvema točkama izračunamo po naslednji enačbi:



Slika 1: Osnovni princip geometričnega nivelmana.

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

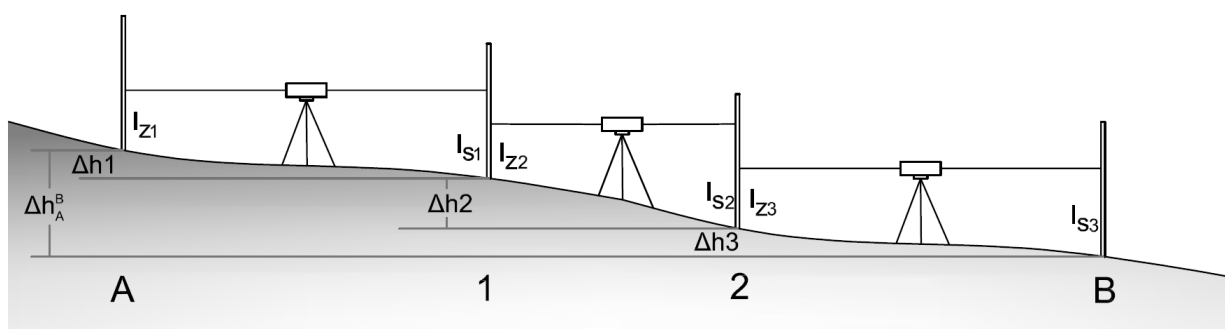
kjer je:

Δh ... višinska razlika med točkama,

l_z ... odčitek na lati zadaj,

l_s ... odčitek na lati spredaj.

V primeru večje oddaljenosti ali v primeru velikih višinskih razlik prenašamo višinske razlike z uporabo izmenišč, t.j. preko začasno stabiliziranih točk. Za stabilizacijo teh točk uporabljamo podnožke. Osnovni postopek ponavljamo toliko časa, da pridemo od začetne do končne točke.



Slika 2: Osnovni princip geometričnega nivelmana z uporabo izmenišč.

Višinska razlika med točkama A in B je enaka vsoti delnih višinskih razlik:

$$\begin{aligned} \Delta h_A^B &= \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 \\ \Delta h_A^B &= l_{z1} - l_{s1} + l_{z2} - l_{s2} + l_{z3} - l_{s3} \\ \Delta h_A^B &= \sum l_z - \sum l_s \end{aligned} \quad (2)$$

Omenjene enačbe veljajo v pravokotnem koordinatnem sistemu, sicer moramo upoštevati še ukrivljenost Zemlje in nivelmansko refrakcijo.

2.2 Digitalni nivelirji

Problem avtomatizacije niveliranja je včasih predstavljalo vprašanje zajema merske vrednosti v istem trenutku na dveh različnih mestih, in sicer na lati in mikrometru. Avtomatizacija se je razvijala v dveh smereh:

- prenos mesta horizonta na nivelmansko lato, kjer se je določila celotna merska vrednost,
- zajem slike nivelmanske late v instrumentu in določitev celotne merske vrednosti na osnovi obdelave digitalnih slik.

Oba načina omogočata popolno avtomatizacijo, vendar je prvi način manj natančen. Danes se po večini uporablja drugi način, torej zajem slike nivelmanske late v instrumentu, kjer se merska vrednost določi na osnovi obdelave digitalnih slik.

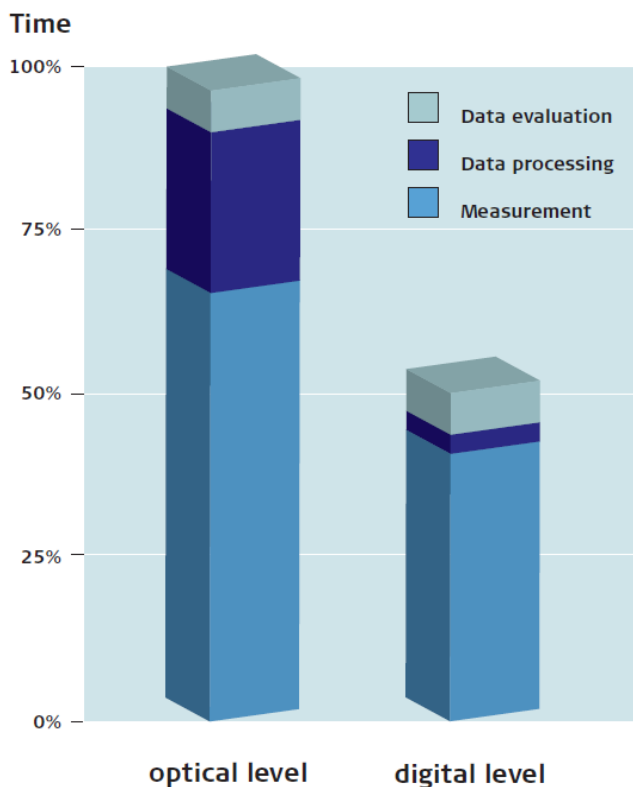


Slika 3: Potek avtomatizacije nivelirjev.

Prvi so s serijsko proizvodnjo digitalnih nivelirjev začeli v švicarskem podjetju Leica Geosystems, in sicer leta 1990. Instrument deluje na osnovi skeniranja nivelmanske late in tehnologije obdelave digitalnih slik. To je v osnovi klasični kompenzatorski nivelir, dodatno pa je v instrument vgrajen CCD svetlobni senzor, ki pretvori svetlobni signal v električni impulz. V instrument torej pride analogni video signal, kjer se ojača in digitalizira. Ta digitaliziran signal pa imenujemo merski signal. Za horizontalno vizurno os skrbi kompenzator.

Nekaj najpomembnejših razlik med sistemi za digitalno niveliranje in niveliranje s klasičnim instrumentom (Ščap, 2011):

- pri digitalnem nivelirju je vsak odčitek avtomatsko procesiran s pomočjo elektro-optičnih elementov, medtem ko pri niveliranju s klasičnim instrumentom operater določa odčitek na lati s pomočjo vizurne linije in optičnih delov instrumenta,
- pri digitalnem nivelirju je CCD tehnologija nadomestila oko opazovalca,
- v obdelavo odčitka je pri sistemih za digitalno niveliranje vključenih več kodnih elementov (intervalni zajem),
- pri klasičnem niveliranju odčitek temelji na merilu razdelbe late, pri digitalnem niveliranju pa lahko govorimo o dveh merilih: merilu instrumenta in merilu kodne late. Ti dve merili bi morali biti enaki, vendar se zaradi poškodb nivelmanske late in staranja CCD senzorja lahko spreminjata,
- digitalni nivelirji omogočajo shranjevanje meritev v pomnilnik instrumenta, prenos merskih vrednosti na računalnik ter obdelavo podatkov z ustrezno programsko opremo,
- digitalni nivelir ima vgrajen senzor za ugotavljanje položaja fokusirnih leč in elektronski nadzor delovanja kompenzatorja,
- zaradi avtomatskega odčitavanja in shranjevanja se pri digitalnem niveliranju izognemo napakam, ki so posledica napačnega čitanja in zapisovanja odčitkov,
- digitalni nivelirji imajo vgrajenih več programov za sprotno kontrolno meritev na terenu.



Slika 4: Primerjava porabljenega časa za meritev med optičnim in digitalnim nivelirjem (vir: http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/levels/dna/brochures/DNA_Brochure_en.pdf)

2.3 Nivelmanske late

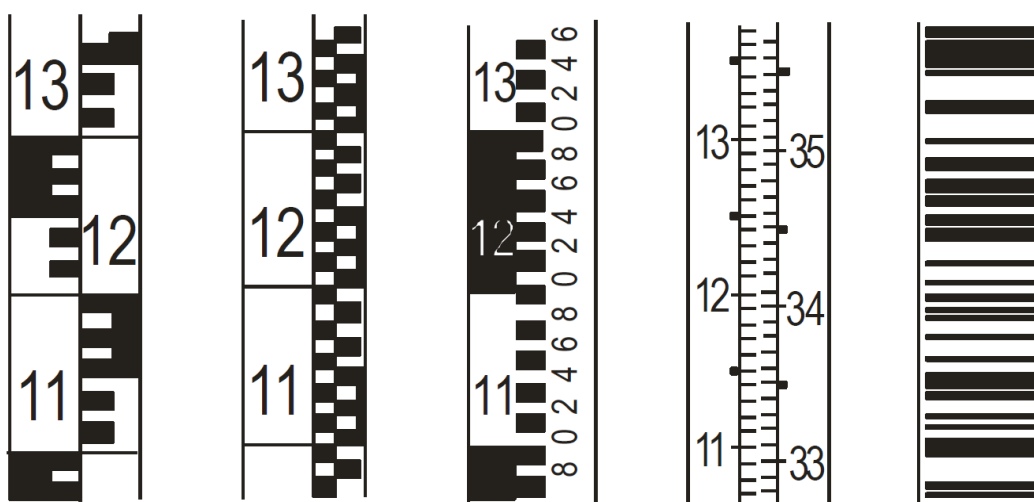
Različni proizvajalci nivelirjev uporabljajo različne velikosti osnovne dimenzije širine polja kodirane razdelbe nivelmanskih lat. Najbolj znani proizvajalci nivelmanskih lat so Leica, Trimble (Zeiss), Topcon in Sokkia.

Pri niveliranju s klasičnimi nivelirji se uporabljajo nivelmanske late s črtno centimetrsko ali polcentimetrsko razdelbo. Obstajajo tudi late s tako imenovano E razdelbo, kjer se menjata rdeča in črna barva, ki jasno določata decimeter in posamezni centimeter na razdelbi. Pri boljši osvetljenosti se uporabljajo late z razdelbo v obliki šahovnice, ker je kontrastnost belih polj veliko večja kot pri črnih in rdečih poljih.

Za precizno niveliranje se uporabljajo izključno invar nivelmanske late. Invar je posebna zlitina, ki je sestavljena iz 64% jekla in 36% niklja. Posebnost zlitine je, da ima zelo majhen temperaturni razteznostni koeficient. V primerjavi z razteznostnim koeficientom jekla je ta kar 10-krat manjši.

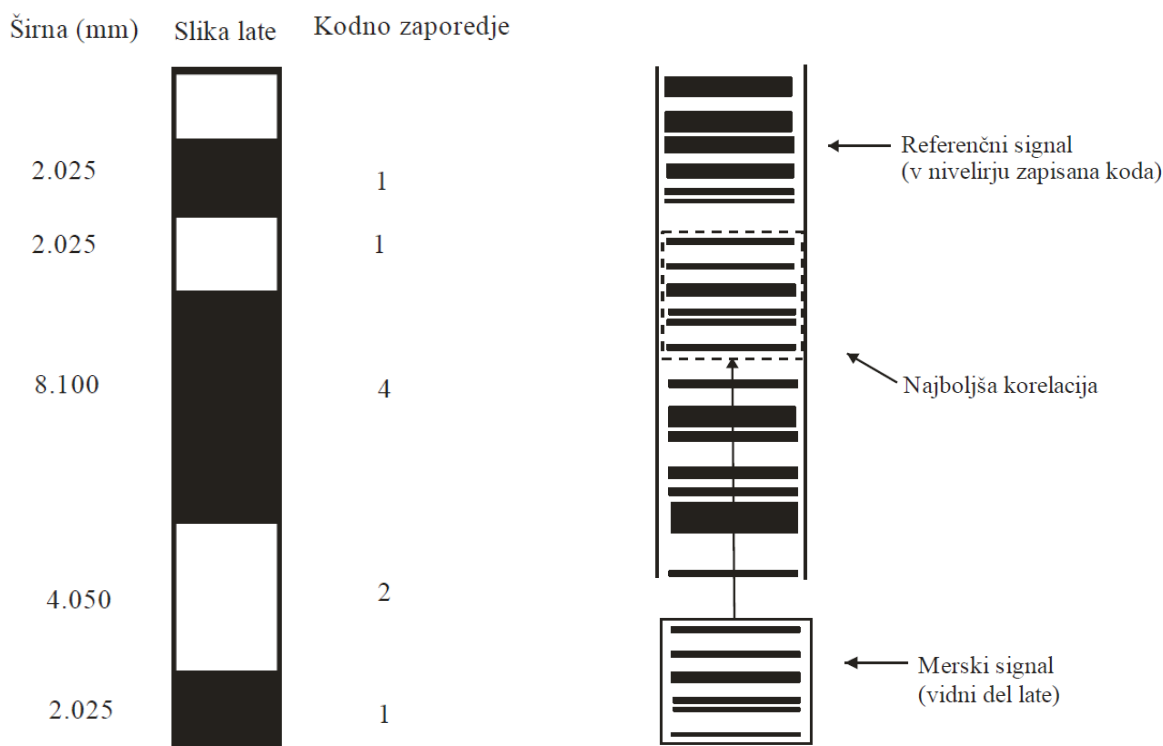
Invar nivelmanska lata za precizno niveliranje je sestavljena iz aluminijastega okvirja, na zgornjem in spodnjem delu sta pravokotno na okvir pritrjeni kovinski ploščici, pri čemer zgornja služi za zaščito, spodnja pa definira ničelno točko razdelbe. Po sredini okvirja poteka žleb, v katerega je vpet invar trak širine 20-40mm in debeline 1mm. S spodnje strani je vpet togo, z zgornje strani pa preko vzmeti s silo 100 newton-ov, kar omogoča kompenziranje pri raztezanju traku, zaradi temperaturnih sprememb. Na okvir pa je pritrjena tudi dozna libela (na novejših sta dve), ki omogoča postavitev nivelmanske late vertikalno.

Črtno razdelbo pri niveliranju s klasičnimi nivelirji je v današnjem času zamenjala kodna razdelba. To je posledica razvoja digitalnih nivelirjev. Kodne late razdelbe nimajo več oštevilčene, temveč je le ta sestavljena iz binarne kode. To kodo predstavlja zaporedje svetlih in temnih polj, ki so različno razmaknjena. Vsak proizvajalec uporablja drugačne pristope pri kodiranju nivelmanskih lat in različne postopke izrednotenja.



Slika 5: Različne nivelmanske late.

Koda Leicinih lat je sestavljena iz črno-rumenih polj različnih dimenzij. Osnovni element razdelbe je širok 2.025 mm. Ostali kodni elementi pa so večkratniki osnovnega elementa, pri čemer je največji mnogokratnik število 15, torej znaša največja širina polja 30.75 mm. Kodno zaporedje sestoji iz zaporedja naravnih števil in se ne ponavlja.



Slika 6: Princip kodiranja late proizvajalca Leica ter ugotavljanje najboljše korelacije pri izrednotenju slike.

2.4 Postopek izrednotenja pri digitalnem nivelirju Leica DNA03

Glede na različne proizvajalce digitalnih nivelirjev poznamo tudi različne postopke digitalnega izrednotenja slik. Leica uporablja t.i. korelacijski postopek, Trimble (Zeiss) uporablja geometrični postopek, Topcon temelji na postopku frekvenčne (Fourierove) analize, Sokkia pa uporablja postopek merskega položaja.

Kot smo omenili, Leica za izrednotenje slike uporablja korelacijski postopek. Kodno zaporedje polj je v elektronski obliki shranjeno v pomnilniku instrumenta. To je referenčni

signal, ki se nato primerja z dobljenim merskim signalom. Pri korelaciji gre za določanje dveh neznanih parametrov, in sicer višine in merila. Išče se najboljše možno ujemanje oz. sovpadanje obeh signalov, torej merskega in referenčnega. To poteka na način, da se slika vidnega dela late za osnovno enoto razdelbe pomika ob shranjeni sliki celotne razdelbe. Tolikšen kot je premik slike late, toliko znaša višinska razlika med instrumentom in lato, razdalja do late pa vpliva na merilo preslikave.

2.5 Pogreški niveliranja

Vsa merjenja v geodeziji so obremenjena s pogreški. Pogreški so vplivi na meritve in izračun kot posledica nepopolnosti instrumentarija, metode dela, neizkušenosti izvajalca meritev, nepopolnosti matematičnega algoritma, itd. Pogreški so merilo za natančnost rezultatov merjenih in izračunanih količin. Nekatero pogreške lahko z metodo dela odstranimo oz. njihov vpliv znatno zmanjšamo, še vedno pa ostane nekaj pogreškov, ki jih ni mogoče odpraviti. Zato je pri pregledu pogreškov pomembno, da poleg vrste pogreškov poznamo tudi njihove lastnosti in način delovanja. Pogreške delimo na grobe, sistematične in slučajne pogreške.

Grobi pogreški so bili pri klasičnem niveliranju pogosti. Vzrok nastanka grobega pogreška oz. napake je lahko pokvarjen instrument, nepazljivost pri delu (napačno čitanje in zapis, napačno viziranje, ...), izbira napačne metode meritev, ipd. V večini primerov je vzrok za grobi pogrešek človeški faktor. Grobe pogreške lahko izločimo z računskimi kontrolami, s ponavljanjem meritev na iste ali različne načine, tako da meritve izvedeta različni osebi in z izvedbo nadštevilnih meritev. V kolikor grobih pogreškov nismo odpravili in se rezultati meritev bistveno razlikujejo od pričakovanih vrednosti, moramo meritve ponoviti. Glede na lastnosti so grobi pogreški veliki, pojavljajo se slučajno in so najbolj »nevarni«, saj jih je potrebno iz meritev nujno izločiti.

Vzrok nastanka sistematičnega pogreška je lahko nepopolnost instrumenta, premajhna pazljivost pri delu, neupoštevanje pogojev okolja, ipd. Primera sistematičnega pogreška sta npr. spremenjena merska frekvenca elektronskega razdaljemera in neupoštevanje ukrivljenosti Zemlje. Rezultati meritev se ne bistveno razlikujejo od pričakovanih vrednosti, se pa z združevanjem meritev velikost vpliva večja. Glede na lastnosti so majhni in se podrejajo matematičnim in fizikalnim zakonitostim (imajo vedno isti predznak, z večkratnim merjenjem jih ni mogoče odpraviti ter možno je ugotoviti njihovo velikost in jih računsko odpraviti). Da se izognemo sistematičnim pogreškom je potrebno preizkušati instrument in upoštevati korekcije, izračun pa mora temeljiti na osnovi meritev pogojev okolja (temperatura, tlak, vlažnost). Pomembna je tudi izbira primerne merske metode.

Vzrok nastanka slučajnega pogreška je lahko nepopolnost instrumenta, omejena sposobnost operaterja, spremenljivi zunanji vplivi, ipd. Prav tako kot pri sistematičnih pogreških se tudi pri slučajnih pogreških rezultati meritev ne bistveno razlikujejo od pričakovanih vrednosti, s to razliko, da se z združevanjem meritev velikost vpliva zmanjša. Slučajni pogreški so posledica naključnih pojavov, ki vplivajo na meritve. Ti pojavi so neznani in izven kontrole operaterja. Glede na lastnosti so majhni, so slučajne količine ter njihov vpliv je neizogiben. Podrejajo se zakonu verjetnosti (nikoli ne presežejo določene meje, aritmetična sredina slučajnih pogreškov konvergira k nič, pogreški si sledijo brez vsakršnega reda, z večkratnim merjenjem vpliv pogreškov zmanjšamo).

Pogreške niveliranja lahko razdelimo v tri skupine:

- pogreški zaradi nepopolnosti instrumenta,
- pogreški zaradi nepopolnosti nivelmanskih lat in
- pogreški zaradi nezadostnega poznavanja meteoroloških pogojev.

2.5.1 Pogreški zaradi nepopolnosti instrumenta

Nivelirje delimo na precizne in na gradbene. Razlika je v natančnosti, ki jo lahko dosežajo. Standardni pogrešek pri 1 km dvojnega nivelmana pri gradbenih nivelirjih znaša do 1.5 mm, pri preciznih nivelirjih pa znaša standardni odklon pri 1 km dvojnega nivelmana do 0.3 mm.

a) Pogrešek glavnega pogoja nivelirja – pogrešek horizontalne vizurne osi

Gre za slučajni pogrešek oz. za napako zaradi nehorizontalnosti vizurne osi. Velikost pogreška je odvisna od oddaljenosti od nivelirja do late. Njegova velikost raste z dolžino, torej premo sorazmerno z oddaljenostjo. Pogrešek eliminiramo oz. zmanjšamo z niveliranjem iz sredine.

b) Pogrešek stabilnosti vizure

Pogrešek nastane zaradi pomanjkljivosti mehanične konstrukcije fokusirnih leč nivelirja. Določeni dolžini vizure odgovarja konstantna vrednost pogreška, saj ostane položaj fokusirnih leč nespremenjen. Pogrešek je sistematičen in se eliminira z niveliranjem iz sredine.

c) Pogrešek horizontiranja kompenzatorja

Za umirjanje kompenzatorja se uporabljajo dušilci nihanja, ki so lahko magnetni ali mehanični. Dušilci nihanja ustvarjajo trenje, kar ima za posledico, da se ustavijo pred ravnovesno lego. Torej ostane nek nekompenziran kot med vizurno osjo nivelirja in osjo kompenzatorja. Ločimo podkompensacijo in nadkompensacijo. Pogrešek je sistematični in se eliminira z niveliranjem iz sredine.

2.5.2 Pogreški zaradi nepopolnosti nivelmanskih lat

a) Pogrešek nevertikalnosti late

Lata z dozno libelo mora vedno izpolnjevati pogoj, da je razdelba late pravokotna na ravnino dozne libele. Preizkus pogoja opravimo s pomočjo vertikalne niti nitnega križa pri

horizontiranem nivelirju in vertikalno postavljeni lati ob vrhunjeni dozni libeli na lati. Preizkus opravimo v dveh pravokotnih smereh. Ko libela na lati ne vrhuni je lata nagnjena vedno v isto smer. Pogrešek narašča premo sorazmerno z višino vizure in sorazmerno z velikostjo nagnjenosti nivelmanske late. To je sistematični pogrešek.

b) Pogrešek zaradi ukrivljenosti late

Vzrok ukrivljenosti late je lahko slabo izdelana, stara ali poškodovana lata. Odčitek bo vedno prevelik. Obliko late kontroliramo z nitnim križem. Pri odpravljanju tega pogreška predpostavljamo, da je lata ukrivljena v obliki krožnega loka. Če ugotovimo večje ukrivljenosti late je le-ta neuporabna pri meritvah. Pogrešek, ki se pojavi zaradi ukrivljenosti late je sistematični pogrešek.

c) Pogrešek ekscentrične postavitve late

Pogrešek se pojavlja skupaj s pogreškom nevertikalnosti nivelmanske late. Je slučajni pogrešek s sistematičnim vplivom. Odčitek na lati bo vedno manjši. Za centrično postavitvev late obstajajo posebni nastavki s katerimi zmanjšamo vpliv pogreška.

d) Pogrešek nepravokotnosti pete late

Peta late mora biti pravokotna na vzdolžno os late, torej mora biti pravokotna na razdelbo. Pogrešek ugotavljamo s komparacijo, lahko pa tudi na terenu z dvema ekstremoma. Gre za slučajni pogrešek, ki ga zmanjšamo s centričnim postavljanjem late.

e) Pogrešek razdelbe late

Ločimo med slučajnimi in sistematičnimi pogreški razdelbe.

Slučajni pogreški razdelbe so običajno majhni in jih z metodo dela ne moremo eliminirati, prav tako jih računsko ne upoštevamo. Vzrok nastanka je lahko v načinu izdelave (nanašanje razdelbe s šablonami) ali v poškodbah razdelbe. Pojavijo se, ko posamezna črtica razdelbe odstopa od nominalne vrednosti.

O sistematičnem pogrešku razdelbe govorimo, ko celotna razdelba late odstopa od nominalne vrednosti. To je tudi t.i. pogrešek dolžine metra late. Vzroki nastanka pogreška so v načinu izdelave (prevelika ali premajhna šablona), staranje invarja, nepravilna sila natezanja traku, ... Pogrešek popravljamo z multiplikacijsko konstanto, ki jo določimo s komparacijo. Spremembe v konstrukciji late zahtevajo periodično kontrolo.

f) Pogrešek začetka razdelbe nivelmanske late

Pogrešek začetka razdelbe imenujemo tudi pogrešek ničelne točke nivelmanske late. Pri invar latak je invar trak vpet v ohišje tako, da se razdelba traku začne 5-10 cm od pete late. Prva črtica mora biti od pete late oddaljena za točno določeno vrednost. Če ta odmik ne ustreza ga popravljamo z adicijsko konstanto, ki jo določimo s kompariranjem. Gre za sistematični pogrešek, ki se v primeru sodega števila stojišč instrumenta eliminira, v primeru lihega števila stojišč pa popravek računsko upoštevamo.

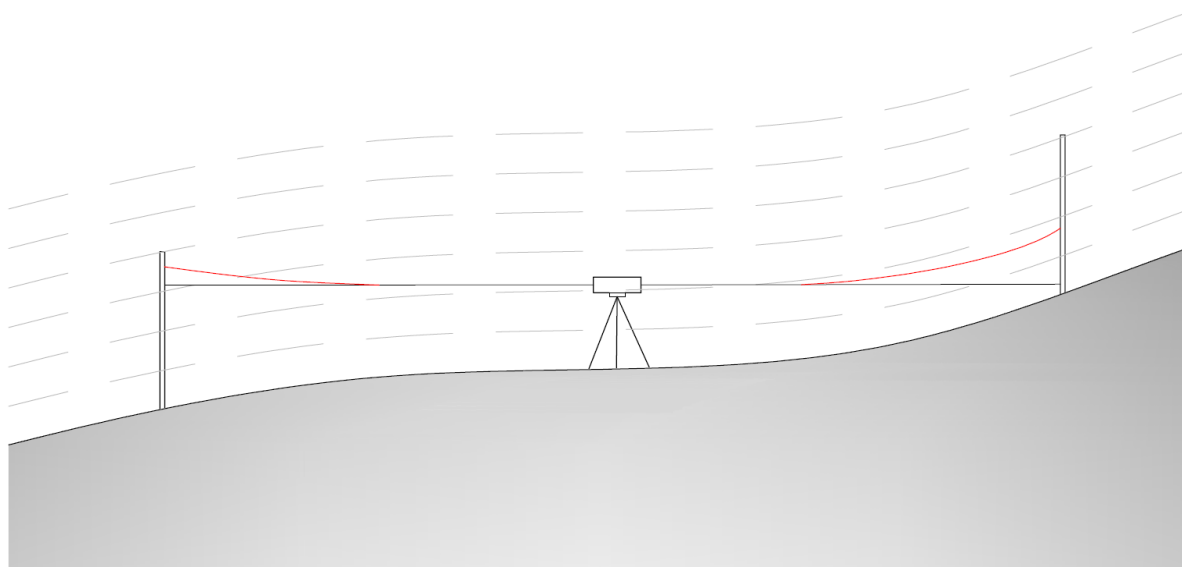
2.5.3 Pogreški pomožnega pribora in pogreški delovnega okolja

Sem uvrščamo posedanje in dvigovanje stativa in podnožke late. Teoretično je posedanje prisotno na vseh stojiščih, vpliv je majhen in ga je mogoče eliminirati ob določenih predpostavkah. Dvigovanje je npr. možno opaziti na barjanskih tleh.

Posedanje stativa instrumenta eliminiramo z zaporedjem načina čitanja »ZSSZ«, torej najprej čitamo na lati zadaj, nato 2 krat spredaj in na koncu spet na lati zadaj. Predpostavimo, da med posamezno meritvijo poteče enak čas in da se instrument in lati posedata enakomerno.

Posedanje lat je manjše od posedanja instrumenta in ga lahko razdelimo na dva dela:

- posedanje v času čitanja, kjer se večji del pogreška eliminira s pravilnim zaporedjem čitanja na lati ob enakih predpostavkah, kot pri posedanju stativa in
- posedanje v času prenosa instrumenta, kjer se lahko v tem času lata zadaj posedata in se zato spremeni položaj late pri merjenju z naslednjega stojišča.



Slika 7: Nivelmanska refrakcija.

Pri pogreških delovnega okolja govorimo o nivelmanski refrakciji. Nivelmanska refrakcija se pojavi, ker vizura poteka skozi prizemni sloj atmosfere, kjer vladajo specifični pogoji. V prizemnem sloju se zrak ne segreva direktno od sonca, temveč indirektno od tal. V prizemnih plasteh imamo tako največji vertikalni temperaturni gradient, t.j. spremembo temperature glede na višino ($\Delta t/\Delta h$). Zaradi načina segrevanja zraka so sloji enakih optičnih gostot vzporedni tlom. V takem primeru je toplejši zrak bližje tlom in ker je toplejši zrak optično redkejši je nivelmanska refrakcijska krivulja obrnjena s konveksno stranjo proti površini Zemlje, kar povečuje odčitek na lati. Nivelmanska refrakcija je odvisna od vrste podlage in nagiba tal. Zmanjšamo jo, če vizure ne približimo preveč k tlom (odčitki vsaj 0.5m nad tlemi), če skrajšamo dolžino vizure in če izberemo ugoden čas meritev (od sončnega vzhoda do 9ih zjutraj in od 17ih do sončnega zahoda, v primeru oblačnega vremena lahko merimo skozi ves dan). Vpliv nivelmanske refrakcije se pri niveliranju iz sredine eliminira v primeru, če merimo na ravnem terenu.

Poleg vpliva nivelmanske refrakcije moramo istočasno upoštevati tudi vpliv, ki se pojavi zaradi ukrivljenosti Zemlje. Tako nivelir kot lati postavimo vzporedno na smer zemeljske težnosti. Posledica ukrivljenosti Zemlje je, da smeri zemeljske težnosti v vseh omenjenih točkah med seboj niso vzporedne. Gre za odmik nivojske ploskve od horizontalne ravnine

skozi točko. Ta vpliv je zelo majhen, vendar ga je potrebno pri najnatančnejših meritvah upoštevati. Pri niveliranju iz sredine se vpliv ukrivljenosti Zemlje eliminira.

2.5.4 Specifični pogreški digitalnih nivelirjev

Tu ločimo dve vrsti vplivov, in sicer vpliv kompenzatorja na natančnost niveliranja ter vpliv na zajem slike in izvrednotenje.

Na odčitke pri niveliranju med drugim vplivata kompenzator in temperatura okolice. Delovni stroji, promet in močan veter povzročajo tresenje instrumenta, posledično se slika razdelbe nivelmanske late trese in to lahko povzroča slabšo kvaliteto meritev. Pri digitalnih nivelirjih trenutek zajema slike ni poznan. Če slika niha, je posledica lahko slaba ostrina slike. Napako zmanjšamo z večjim številom meritev in pri tem spremljamo variacijski razpon.

Poleg vetra pa moramo paziti tudi na temperaturo okolice. Idealno je, da ima instrument v času merjenja temperaturo okolice. Temperaturne razlike v instrumentu povzročijo različne merske zmožnosti instrumenta. Pri digitalnih nivelirjih se lahko spremeni položaj, dimenzija ali geometrija CCD senzorja. Temperaturni efekt je pri digitalnih nivelirjih občutno večji kot pri klasičnih optično-mehanskih nivelirjih. Posledica tega je lahko navidezen nagib vizurne osi. V priložniku za uporabo nivelirja svetujejo, da pred začetkom dela pustimo instrument, da se temperira na temperaturo okolice. Po podatkih proizvajalca je potrebno počakati okoli 2 minuti za temperaturno spremembo 1°C.

Na zajem slike in izvrednotenje pa vplivajo refrakcija, osvetlitev late, merjenje na robovih late, razne ovire, napačno merilo razdelbe in zasuk late.

Nizko nad tlemi so optični pogoji manj stabilni, ker so temperaturne razlike bistveno večje ter je optična gostota zraka zelo spremenljiva, kar ima lahko za posledico migetanje slike. Tu so v prednosti digitalni nivelirji pred klasičnimi, saj izvajajo nadštevilna merjenja in intervalno

čitanje. Problem pri daljših vizurah in strmem terenu je v tem, ker sliko zajamemo bližje tlom, refrakcija v prizemljih plasteh pa spači sliko. Polje izvedenja je pri digitalnih nivelirjih veliko okoli 30 cm.

Za izvedenja slike je potrebna tudi primerna osvetljenost nivemanske late. V primeru premalo svetlobe svetlobni senzor zajame neostro sliko in izvedenja ni možno. Problem zna biti tudi premočna svetloba, saj lahko pride do presvetlitve sensorja in s tem nezmožnosti izvedenja. V pogojih s slabšo svetlobo se lahko uporabljajo posebne halogenske svetilke, ki se pritrdijo na lato.

Pri merjenju na robovih late imamo definiran merski interval. Intervalni zajem slike omogoča meritve kljub temu, da optična os ne pade na nivemansko lato, vendar se tovrstnim meritvam izogibamo.

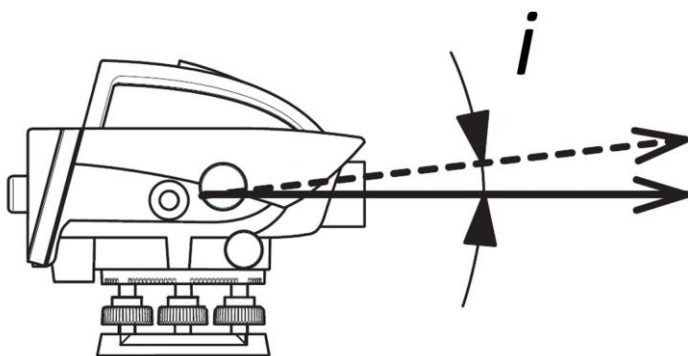
Pri niveliranju pa lahko naletimo na razne ovire (ograje, žive meje, ...), pri čemer se prikrije del razdelbe. Kljub temu pa je zaradi intervalnega zajema slike merjenje omogočeno. Merilo skenirane kode je odvisno od oddaljenosti med nivelirjem in lato, saj lahko pride do odstopanja v dimenziji rezdelbe. Zasuk nivemanske late in s tem zoženje slike razdelbe nima vpliva na natančnost zajema merske vrednosti.

2.6 Preizkus digitalnih nivelirjev

Pogoji, ki morajo biti izpolnjeni za pravilno delovanje digitalnih nivelirjev so naslednji:

1. Vrtilna os nivelirja mora biti pravokotna na ravnino dozne libele, torej ko dozna libela vrhuni, mora biti vrtilna os vertikalna.
2. Srednja horizontalna nit nitnega križa mora biti ob horizontalnem instrumentu horizontalna.
3. Glavni pogoj nivelirja – ob uravnani dozni libeli mora biti vizurna os horizontalna, torej mora biti vizurna os vzporedna z osjo kompenzatorja.

Zaradi zunanjih vplivov na niveliranje, predvsem temperature, prihaja do različnega raztezanja oz. krčenja nekaterih delov nivelirja, kar povzroča spremembo razmerja med osmi nivelirja med meritvami. Pri tem je posebej pomemben odklon vizurne osi od horizontalne ravnine, kar poznamo kot kolimacijski pogrešek.



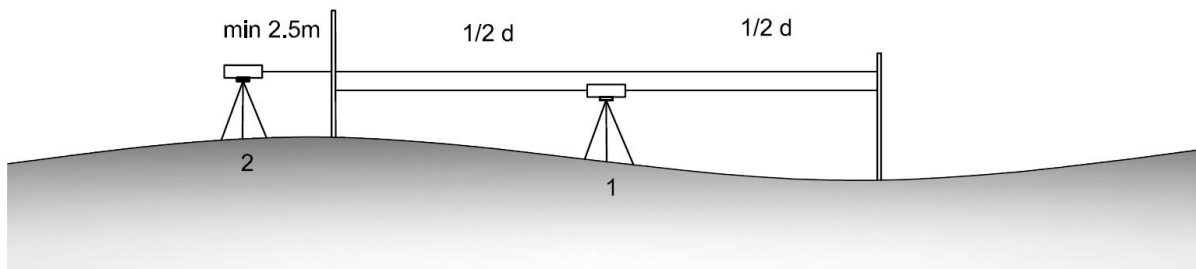
Slika 8: Kolimacijski pogrešek i .

Nehorizontalna vizurna os oz. kot, ki ga vizurna os oklepa s horizontom, je kolimacijski pogrešek i , ki ga vidimo kot napako višinske razlike, kadar razdalja med lato spredaj in zadaj ni enaka. Različna razdalja med lato zadaj in spredaj ter različna temperatura instrumenta in okolice med merjenjem, ima lahko za posledico, da nehorizontalna vizurna os vpliva na višinsko razliko z različnim predznakom.

Programska oprema vgrajena v nivelir Leica DNA03 omogoča določitev in popravek kota nehorizontalnosti na 4 načine (preizkus glavnega pogoja nivelirja):

- Navadni način,
- Försterjev način,
- Näbaurjev način,
- Kükkamakijev način.

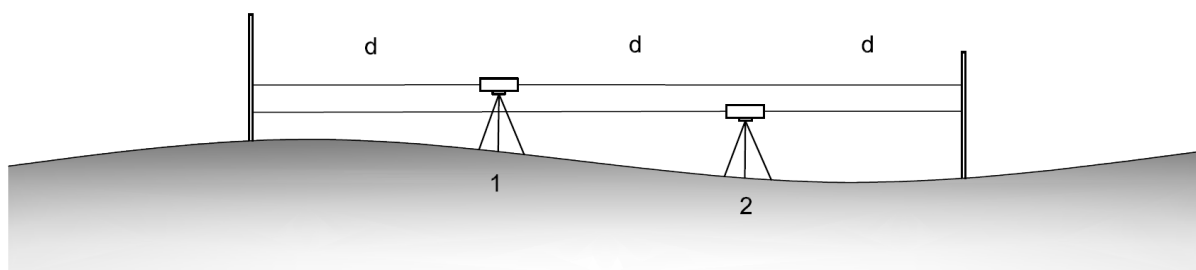
Navadni način



Slika 9: Navadni način preizkusa glavnega pogoja nivelirja.

Višinsko razliko določimo z niveliranjem iz sredine in krajišča, na približno horizontalnem terenu. Navadni način ne uporabljamo pri preciznih nivelirjih, ker ima nekatere pomanjkljivosti. Prvič postavimo nivelir približno na sredino med lati, drugič na krajišče. Izračun pogreška poteka ob določenih poenostavitvah in predpostavkah ($\Delta d \approx 0$). Pri meritvah s krajišča je oddaljenost od nivelirja do obeh lat zelo različna, zato je različen tudi položaj fokusirnih leč. Pojavi se pogrešek nestabilnosti vizure.

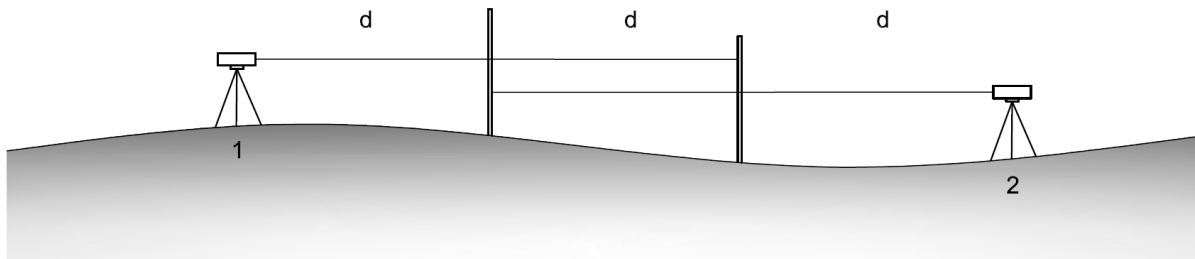
Försterjev način



Slika 10: Preizkus glavnega pogoja nivelirja po Förstnerjevem načinu.

Preizkus poteka na približno horizontalnem terenu, kjer imamo postavljeni lati na krajiščih. Je bolj primeren kot navadni način, saj je oddaljenost med nivelirjem in latama bolj konstantna (manjši premik fokusirnih leč kot pri navadnem načinu). Poleg tega tudi ni potrebno rotirati late. Vpliv nehorizontalnosti se direktno ne izloči.

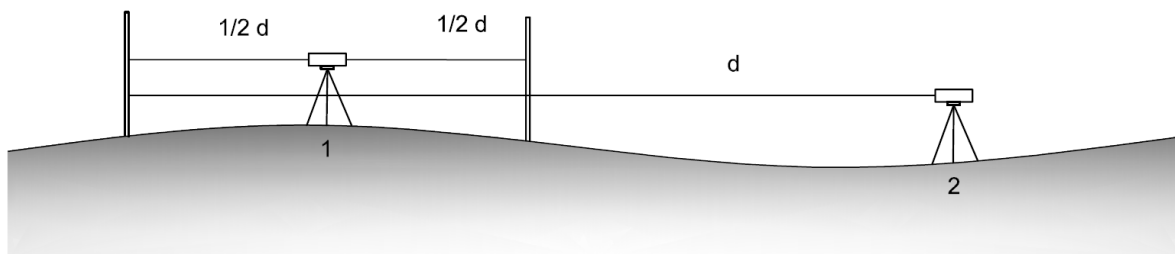
Näbaurjev način



Slika 11: Preizkus glavnega pogoja nivelirja po Näbaurjevem načinu.

Ta način je primeren za preizkušanje preciznih nivelirjev. Slabost je ta, da je potrebno obračanje in vrtenje lat. Premik fokusirnih leč je pri večji oddaljenosti manjši. Način izračuna je točen. Potrebno je upoštevati refrakcijo in ukrivljenost Zemlje.

Kökkamakijev način



Slika 12: Preizkus glavnega pogoja nivelirja po Kökkamakijevem načinu.

Ta način je najnatančnejši. Primerjamo točno s približno vrednostjo. Tu se dodatno zmanjša pogrešek nestabilnosti vizure. Višinska razlika je določena z niveliranjem iz sredine. Pogrešek nehorizontalnosti se določi na večji oddaljenosti, kot je oddaljenost od instrumenta do late pri praktičnih meritvah.

3 TEMPERATURA

Temperatura je ena osnovnih termodinamičnih spremenljivk, ki določa stanje teles. Merimo jo s termometrom. Termodinamika zahteva vpeljavo pojma temperature, ki meri, kako toplo ali hladno je nekaj. Temperaturo lahko vpeljemo kot količino, ki je sorazmerna prostornini plina pri stalnem tlaku. Vpeljemo jo lahko tudi kot količino, s katero je sorazmerna prenesena toplota pri Carnotovem toplotnem stroju, t.j. tako imenovana termodinamična definicija temperature. Temperature pravzaprav ne bi bilo treba vpeljevati posebej, ker pa so ljudje temperaturo definirali še preden so poznali mehanske lastnosti plina, je ostala definicija, kot jo poznamo.

Navadni termometri temelje na dejstvu, da se snovi pri zvišanju temperature raztezajo in pri znižanju temperature skrčijo. To lastnost ima večina plinastih, trdnih in tekočih snovi. V praksi se največ uporablja živosrebrni termometer. Sestoji iz kapilarne cevke (cevke z zelo majhnim prerezom), ki je na zgornjem koncu zataljena, na spodnjem pa razširjena v okroglo ali valjasto bučko. Ta razširjeni del je napolnjen z živim srebrom. Pri segretju se živo srebro raztegne, razširi pa se lahko le v ozko kapilaro. Zato že majhno povečanje volumna pri segretju povzroči znaten dvig v kapilari. V termometrih, ki se uporabljajo za merjenje nizkih temperatur, se živo srebro ne more uporabljati kot polnilo, ker se strdi že pri -39°C . Te termometre polnijo z obarvanim alkoholom, ki ima bistveno nižje zmrzišče. Najnižja temperatura, ki si jo lahko teoretično zamislimo, se imenuje absolutna ničla $-273,16^{\circ}\text{C}$.

Termometer umerimo pri dveh stalnih točkah. Spodnja je ledišče, zgornja vrelišče vode pri normalnem tlaku 60 mm živega srebra. Razlika višin živosrebrne nitke med obema točkama je po Celziju razdeljena na 100 enakih delov in en del se imenuje 1°C . Ledišče vode je torej pri 0°C , njeno vrelišče pri 100°C . Pod in nad tema dvema točkama so stopinje nanese v enakih odmikih.

3.1 Merjenje temperature

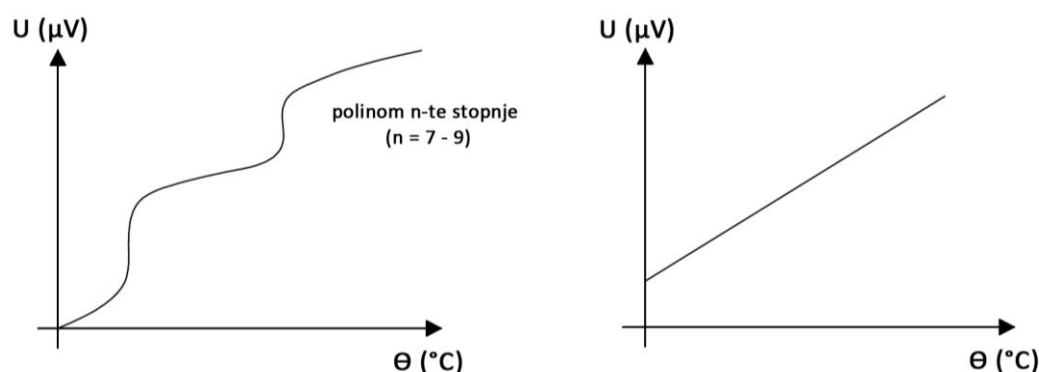
Poznamo več različnih načinov merjenja temperature:

- glede na raztezek snovi ter
- električno merjenje.

Kapljevinski termometer je naprava za merjenje temperature, ki temelji na temperaturnem raztezanju snovi. Večinoma je ta snov alkohol ali živo srebro. Je zelo natančen, vendar tudi zelo občutljiv na udarce. Ne zaznava dinamičnih meritev in je primeren samo za stacionarno merjenje temperature.

Termoelementi uporabljajo električno in kontaktno merjenje temperature. Prednost pred tekočinskimi termometri je v tem, da so zelo odzivni. Tanjši kot sta kovini, boljša je odzivnost in obratno. Deluje na principu združevanja dveh različnih kovin, ki imata vsaka svoj elektropotencial. Tok začne teči, ko eno kovino začnemo segrevati oz. ohlajati. Pri tem pa zaradi elektrolize ni vseeno kakšni sta ti dve kovini.

Uporovni termometri delujejo na principu električnega in kontaktnega merjenja temperature. So zelo natančni, ker imajo bolj linearno karakteristiko, kot termoelementi. Merilniki izkoriščajo odvisnost ohmske upornosti od temperature, pri čemer opazujemo padec napetosti na uporih ter tam merimo temperaturo.



Grafikon 1: Karakteristiki termoelementa in uporovnega termometra.

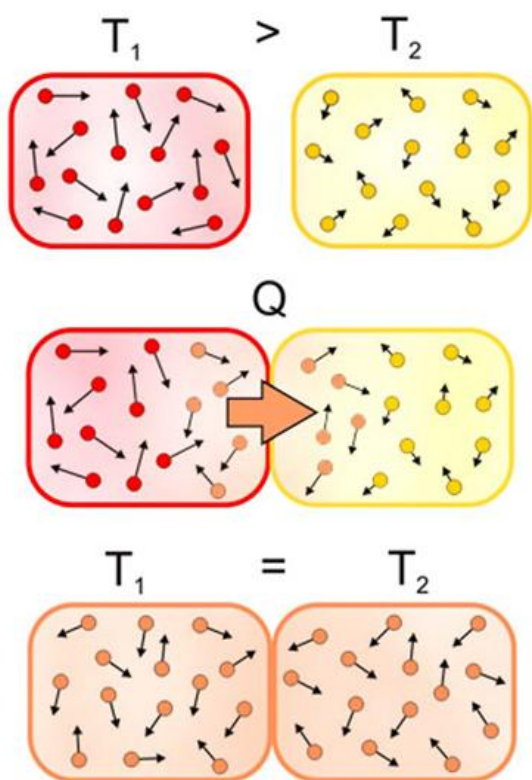
Infrardeči merilniki delujejo na principu nekontaktnega merjenja. Temperaturo merimo na podlagi sevanja toplote (Stefanov zakon). To so točkovni merilniki in IR kamere.

Termometri na tekoče kristale so polimeri, ki s temperaturo menjajo svojo usmerjenost in s tem odboj svetlobe, kar vidimo kot različne barve. Za svoje delovanje morajo biti popolnoma umirjeni.

3.2 Specifična toplota, toplotna prevodnost in toplotni tok

Toplota je v fiziki količina, ki meri energijo, katera zaradi razlike v temperaturi prehaja iz enega telesa na drugo. O toploti govorimo, kadar imamo opravka s spreminjanjem notranje energije telesa. Ker je merilo za notranjo energijo temperatura, se z dovajanjem toplote (segrevanjem telesa) notranja energija in s tem temperatura povečuje, z odvajanjem toplote (ohlajanjem telesa) pa zmanjšuje.

Toplota je del notranje energije, ki se pretaka z mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo, če sta mesti staknjeni. Z medsebojnimi trki molekul toplejši del oddaja, hladnejši del pa prejema notranjo energijo. Skladno s prvim zakonom termodinamike je sprememba notranje energije toplotno izoliranega telesa enaka vsoti prejetega ali oddanega dela in toplote. Toplote ne moremo izmeriti neposredno, ampak le posredno prek temperaturnih sprememb, ki jih povzročajo. Mednarodni sistem enot določa za merjenje toplote izpeljano enoto Joule (J), starejše enote so kalorija in kilokalorija.



Slika 13: Termično ravnovesje.

Specifična toplota nam pove, koliko toplote moramo dovesti enemu kilogramu snovi, da jo segrejemo za en kelvin oz. koliko toplote moramo odvesti enemu kilogramu snovi, da jo ohladimo za en kelvin. Specifično toploto označujemo s črko c in ima enoto $J/(kg\ K)$.

Različne snovi imajo torej različne specifične toplote. Da segrejemo 1 kg vode za 1 K, potrebujemo 4200 J toplote in obratno, če se 1 kg vode ohladi za 1 K, odda prav tudi 4200 J toplote. Za segrevanje 1 kg aluminija za 1 K potrebujemo 880 J toplote, za segrevanje 1 kg bakra za 1 K pa 380 J toplote.

Če želimo segreti maso m neke snovi za temperaturno razliko ΔT , ji moramo dovesti toploto $Q = mc\Delta T$, pri čemer je c specifična toplota snovi.

Za povečanje temperature snovi z visoko specifično toploto je potrebno več toplotne energije kot za snov z manjšo specifično toploto. Izmeriti je moč specifično toploto skoraj katerekoli snovi, kemičnih elementov, spojin, zlitin ali kompozitnih materialov.

Toplotna prevodnost (oznaka λ) je snovna konstanta in intenzivna količina, določena pri prevajanju toplote kot sorazmernostni koeficient med gostoto toplotnega toka in gradientom temperature. Toplotna prevodnost je podatek, ki nam pove, kako dobro neka snov prevaja toploto. Mednarodni sistem enot predpisuje za toplotno prevodnost izpeljano enoto $W/(m\ K)$ (watt na meter kelvin). Toplotna prevodnost za trdnine se v splošnem zelo malo spreminja, za pline in tekočine pa je zelo odvisna od temperature.

Toplotni tok (oznaka P), ki teče skozi snov je sorazmeren s toplotno prevodnostjo. Odvisen je od površine telesa, debeline telesa s toplotno prevodnostjo λ in od temperature. Bolj kot je debelo telo, manjši toplotni tok teče skozenj ter večja kot je temperaturna razlika, večji je toplotni tok.

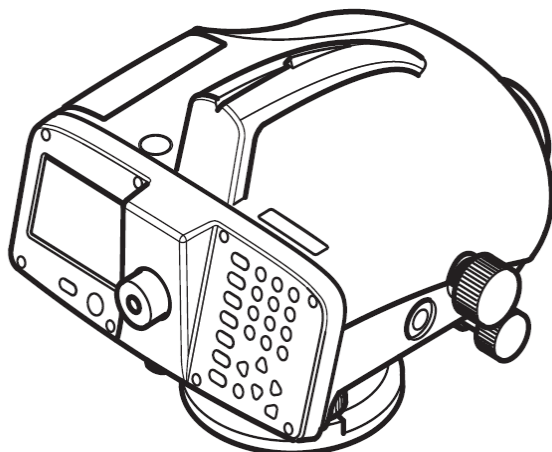
4 PRAKTIČNE MERITVE

Pri praktičnih meritvah smo opravili več testov. Pri prvem testu smo preverjali trditev, da je pri ohlajanju oz. segrevanju instrumenta na zunanjo temperaturo okolice potrebno počakati približno 2 minuti za temperaturno spremembo 1°C. Pri drugem testu smo s pomočjo kaloriferja segrevali zrak na različnih razdaljah od nivelirja do nivelmanske late in pri tem opazovali spremembe odčitkov na lati. Tretji preizkus smo opravili v slepi ulici v nakupovalnem središču Rudnik. Opazovali smo spremembe merskih vrednosti (odčitkov) na različnih razdaljah lat, pri čemer sta se v začetku testa nivelirja ohlajala, po eni uri pa smo meritve opravljali v pogojih, ko sta že bila ohlajena na temperaturo okolice. Glavni cilj je bil ugotoviti vpliv spremembe temperature na horizontalno vizurno os.

4.1 Uporabljen instrumentarij in oprema

Za potrebe praktičnih meritev je bila uporabljena naslednja oprema:

- 2 digitalna nivelirja Leica DNA03,
- 2 stativa Leica GST120-9,
- 7 dvonožnikov Leica GSR111,
- 7 Leicinih kodnih nivelmanskih lat (6x dvometrskih, 1x trometrška),
- 7 podnožk oz. žab,
- 2 termometra,
- laserski razdaljemer Leica DISTO D3a.



Slika 14: Nivelir Leica DNA03.

Preglednica 1: Tehnične značilnosti digitalnega nivelirja Leica DNA03.

Natančnost (točnost)	standardni odklon km dvojnega nivelmana (ISO17123-2)
Elektronska meritev z invar lato	0.2 mm
s standardno lato	1.0 mm
Optična meritev	2.0 mm
Meritev dolžine	1 cm / 20 m (500 ppm)
Mersko območje	
Elektronska meritev	1.8 m - 110 m
Optična meritev	od 0.6 m
Čas meritve	3 sekunde
Povečava daljnogleda	24 kratna
Kompenzator	
Tip	nihalo z magnetnim dušenjem
Delovno območje	$\pm 10'$
Natančnost	0.3"
Shranjevanje podatkov	
Vgrajeni pomnilnik	6000 meritev ali 1650 stojišč
Dodatni pomnilnik	PCMCIA kartica (ATA - Flash, SRAM)
Zaslón	LCD, 8 x 24 znakov
Teža (z baterijo GEB 111)	2.8 kg
Temperaturno območje	
Delo	-20 °C do +50 °C
Shranjevanje	-40 °C do +70 °C

4.2 Delovanje instrumenta

Slika je pri nivelirju Leica DNA03 zajeta s pomočjo novega visoko občutljivega CCD linearnega senzorja, ki je občutljiv na vidni spekter svetlobe. Prihajajoča svetloba se razdeli na dva dela in sicer na del za vizualno meritev in na del za elektronsko meritev - CCD. Elektronska meritev uporablja spektralno območje, ki je deloma brez vidnega dela svetlobe. V pogojih slabše vidljivosti oz. teme se lahko uporabljajo halogenske luči.

Imamo različni vidni polji za grobo in fino ujemanje. Za grobo ujemanje je potrebna vidnost polja 2° na razdalji do 50m, vidnost je nato zmanjšana z dvema korakoma na končni kot 1.4° na maksimalni razdalji 110m. Za fino ujemanje je tipičen kot pogleda 1.1° . Visoko občutljivi senzor je zmožen opraviti stabilne meritve med opazovanjem tudi v slabših svetlobnih pogojih oz. mraku.

Digitalni nivelir Leica DNA03 je možno uporabljati za enostavne meritve (enojni odčitki na lati), za merjenje linijskega nivelmana, za izmero detajlnih točk in za zakoličbo višin.

Pri meritvah imamo možnost več načinov čitanja na lati, in sicer:

- *Single* - način pri katerem nivelir odčita samo en odčitek na lati,
- *Mean (average)* - način pri katerem nivelir opravi n odčitkov in izračuna aritmetično sredino odčitkov,
- *Median* - način pri katerem nivelir opravi n odčitkov in če je n liho število, vzame srednji odčitek, če je n sodo število pa vzame sredino med srednjima vrednostima,
- *Mean Single* - način pri katerem nastavimo standardno deviacijo, ki se primerja z izračunano standardno deviacijo srednje vrednosti,
- *Repeat Single* - način pri katerem nivelir ponavlja meritve na lati dokler jih sami ne prekinemo, pri čemer se shrani zadnji odčitek.

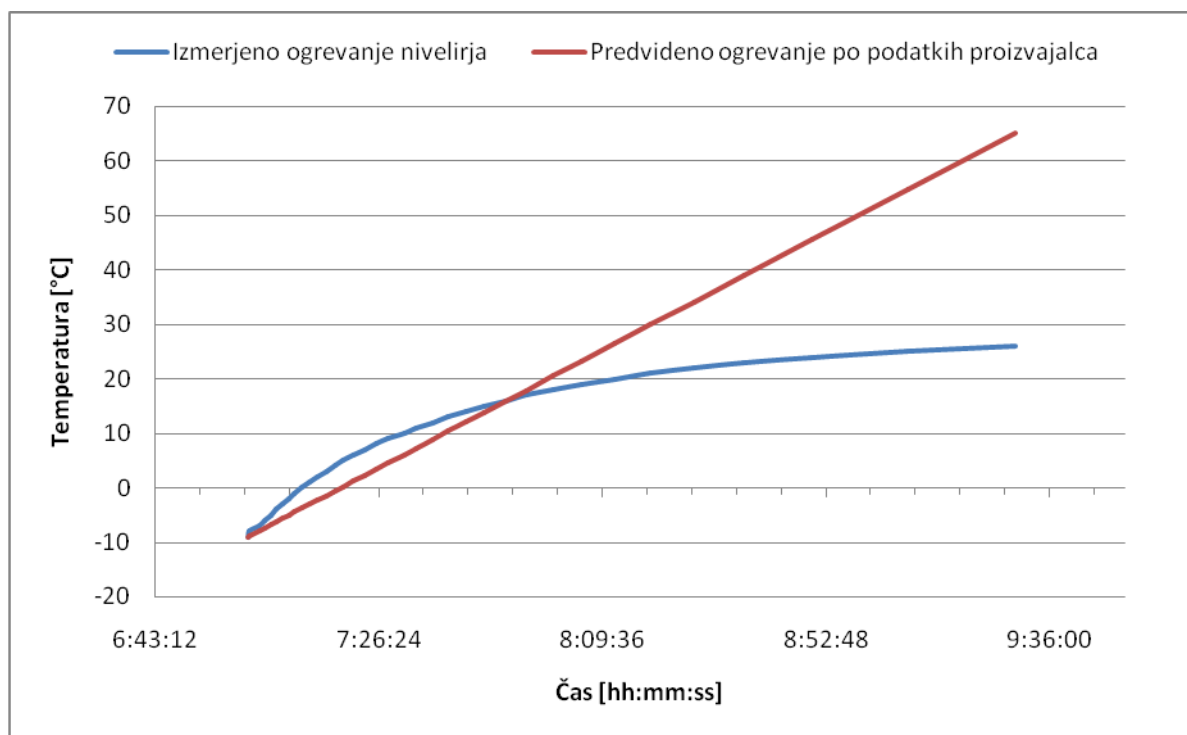
4.3 Opis problema in motiv za izvedbo raziskave

Pri digitalnih nivelirjih se pojavljajo specifični pogreški, ki so posledica zunanjih vplivov. Predvsem v bolj ekstremnih razmerah, npr. ko se zunanja temperatura giblje okoli ledišča ter obratno, ko je instrument izpostavljen visokim temperaturam, se pojavlja vprašanje ali razlika med temperaturo okolice in temperaturo instrumenta vpliva na vrednost odčitkov. V diplomski nalogi bomo podrobneje obravnavali prvega, torej tistega, ko je nivelir izpostavljen zelo nizkim temperaturam.

S poizkusi, ki bodo predstavljeni v nadaljevanju diplomske naloge, bomo poskušali dokazati ali ovreči vpliv temperaturne razlike med instrumentom in okolico na vrednost/določitev odčitkov. Ugotovitve, do katerih bomo prišli, nam bodo v pomoč pri delu na terenu pri nizkih zunanjih temperaturah. Vprašanje na katerega bomo tudi poskušali odgovoriti je, ali je potrebno instrument pred začetkom opravljanja meritev temperirati (temperaturno uskladiti) na zunanjo temperaturo, t.j. na temperaturo okolice.

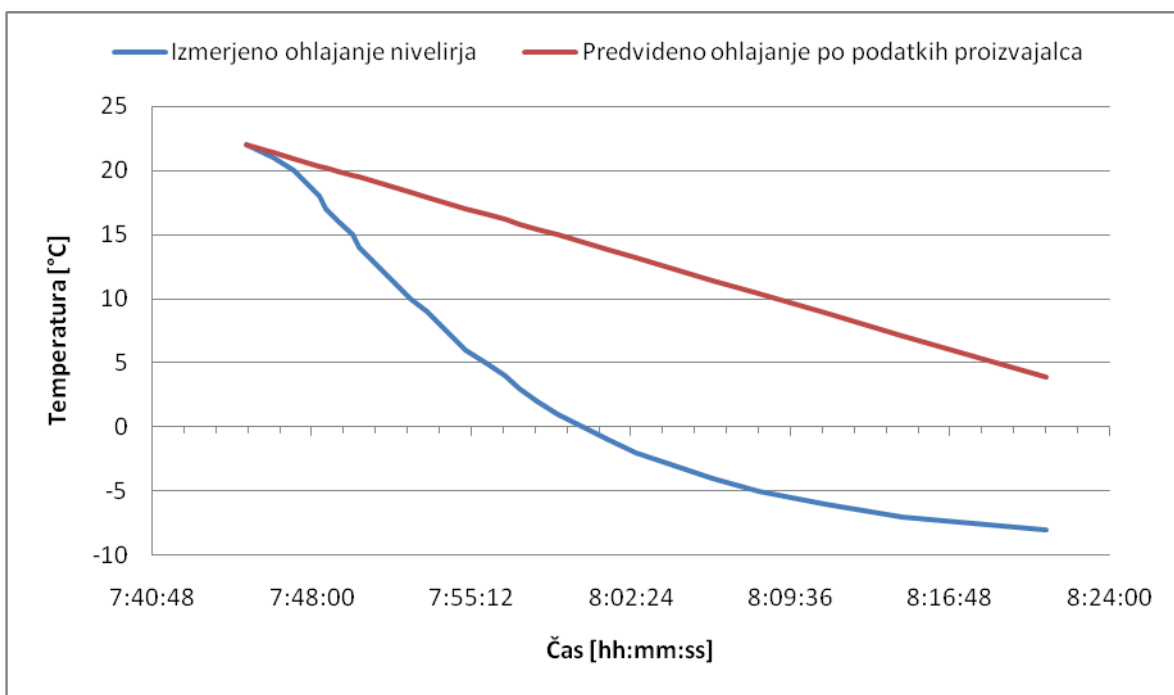
4.4 Test 1 – Temperiranje instrumenta

Pri prvi nalogi smo preverjali trditev ali je res potrebno počakati 2 minuti za temperaturno spremembo 1°C, kot priporoča proizvajalec za temperiranje instrumenta. Opravili smo dva testa, in sicer ohlajanje instrumenta s sobno temperaturo na zunanjo temperaturo, kot tudi ogrevanje instrumenta s temperaturo okolice na sobno temperaturo. Test je bil opravljen v mesecu februarju, ko so se jutranje zunanje temperature gibale okoli -7°C. Sobna temperatura pa je bila 26°C. Temperaturo okolice smo merili z dvema živosrebrnima termometroma, temperaturo nivelirja, ki se izpiše na zaslonu, pa podaja notranje tipalo.



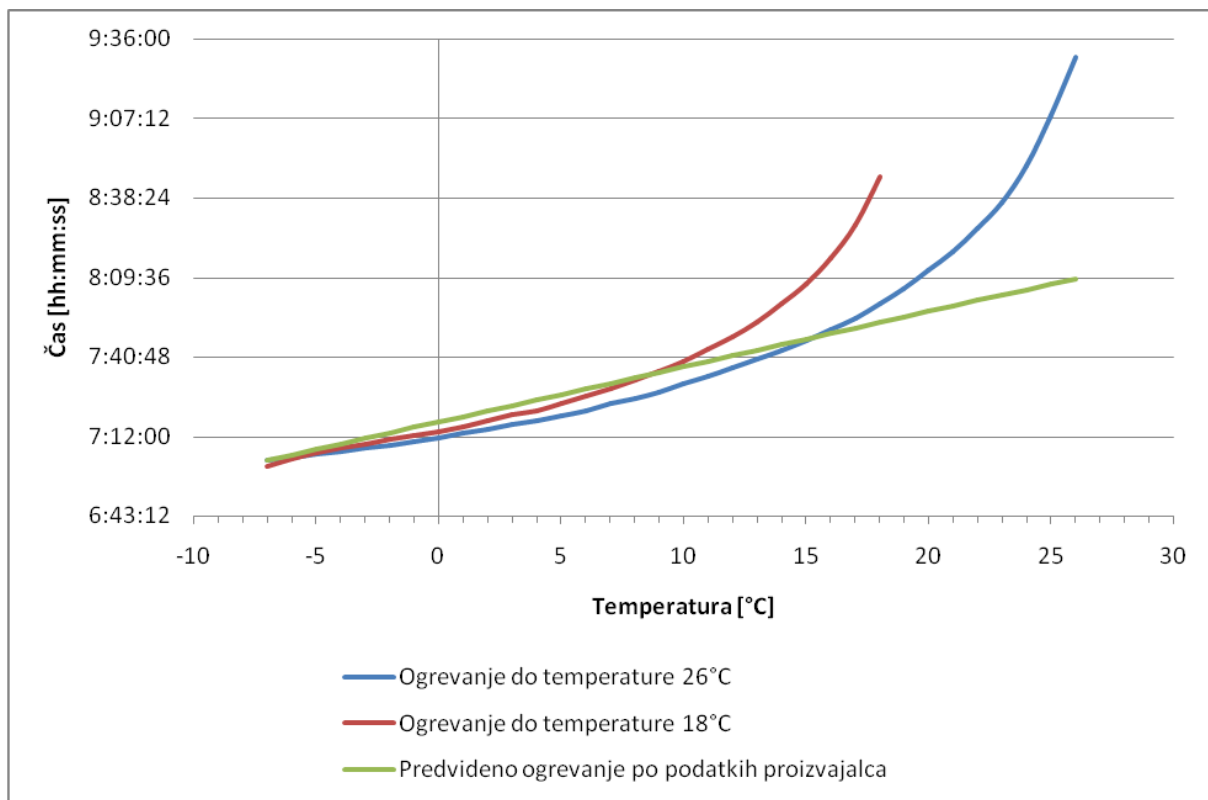
Grafikon 2: Ogrevanje instrumenta iz zunanje na sobno temperaturo.

Kot je razvidno iz grafikona 2 smo za temperiranje instrumenta iz zunanje temperature -9°C na sobno temperaturo 26°C (temperaturna razlika 35°C) potrebovali skoraj 2 uri in 30 minut. Po podatkih proizvajalca nivelirjev Leica pa bi bilo dovolj, da bi za to temperaturno spremembo počakali 1 uro in 10 minut, torej kar pol manj, kot je bilo dejansko potrebno. Opaziti je tudi, da se krivulja v začetku vzpenja nekoliko hitreje, vzrok za to pa je vsekakor večja temperaturna razlika na začetku.



Grafikon 3: Ohlajanje instrumenta iz sobne na zunanjo temperaturo.

Za razliko pa smo pri temperiranju nivelirja na zunanjo temperaturo -8°C (iz sobne temperature 22°C) potrebovali vsega 36 minut. Po priporočilih proizvajalca bi bilo za temperaturno razliko 30°C potrebno počakati točno eno uro, torej se je nivelir temperaturno uskladil na temperaturo okolice hitreje, kot je bilo pričakovati. To je lepo razvidno iz grafikona 3. Razlog je morda iskati v rahlem vetru, ki je omogočil kroženje toplega zraka v okolici nivelirja in s tem pospešil ohlajanje.



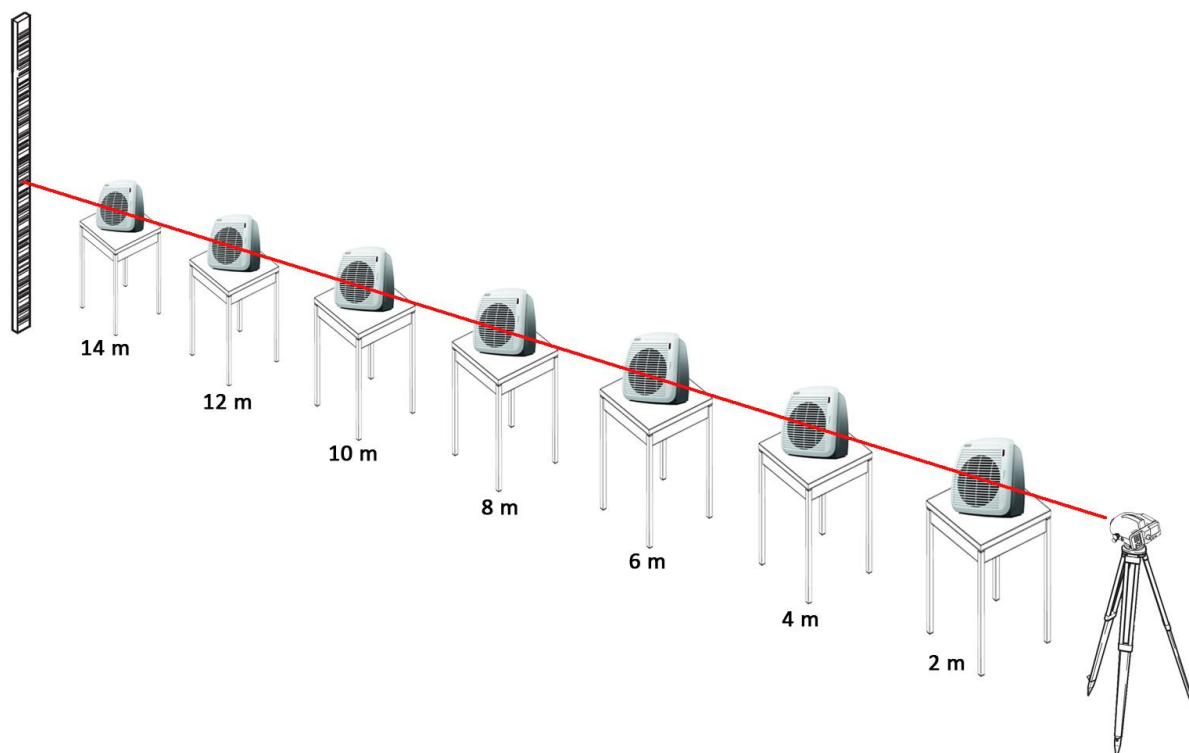
Grafikon 4: Primerjava ogrevanja nivelirja do različne sobne temperature.

Grafikon 4 prikazuje razliko pri ogrevanju dveh nivelirjev na sobno temperaturo, pri čemer je bila prvič sobna temperatura 26°C, drugič pa je ta znašala 18°C. Opazimo lahko, da je za drugačno temperaturno razliko potreben različen čas aklimatizacije, kar je seveda razumljivo. Obliki krivulje pa sta v obeh primerih zelo podobni, torej v začetku (prvih 10°C) je za spremembo temperature za 1°C potrebnega manj časa, kot nato v nadaljevanju.

Zaključimo lahko, da v notranjih prostorih, kjer ni občutnejšega gibanja oz. kroženja zraka (vetra oz. prepaha) je za aklimatizacijo nivelirja potrebnega več časa, kot v primeru, ko instrument s sobno temperaturo nesemo na teren, kjer so prisotni še drugi vplivi, kot je npr. veter, hitrejša sprememba vlažnosti in zračnega tlaka.

4.5 Test 2 – Vpliv toplega zraka na horizontalno vizurno os

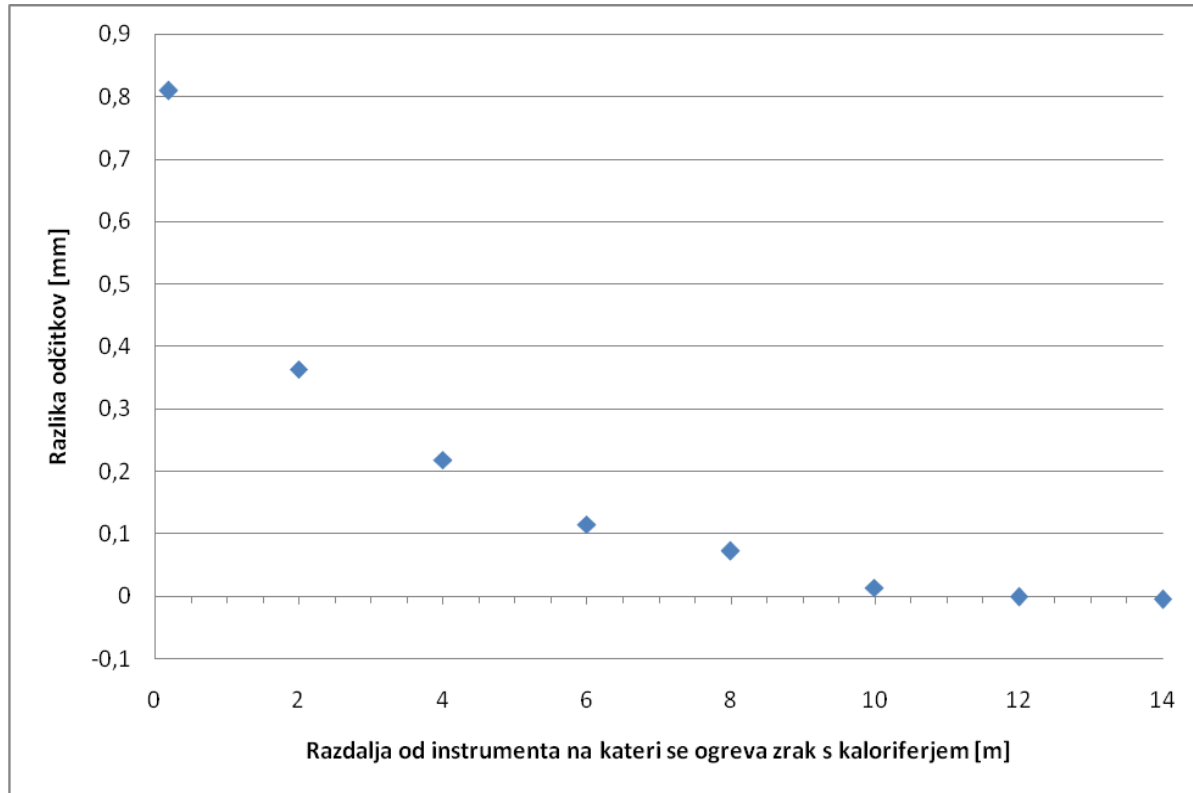
Preizkus smo opravljali na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, in sicer v prostoru zimskih vaj. Na razdalji 15 metrov od instrumenta smo postavili nivelmansko lato. Nato smo s pomočjo kaloriferja ogrevali zrak na višini vizure na različnih dolžinah od nivelirja, pri čemer smo opazovali odčitke na instrumentu. Opravili smo ogrevanje zraka iz štirih smeri, in sicer z desne, z leve, od spodaj in od zgoraj. Vsakokrat smo naredili enajst kontinuiranih odčitkov (repeat single) in nato vzeli povprečje le-teh ter ga primerjali z referenčnim odčitkom. Za referenčni odčitek smo vzeli odčitek opravljen pred segrevanjem zraka.



Slika 15: Poizkus s kaloriferjem.

Preglednica 2: Vpliv toplega zraka na vizurno os z desne strani.

razdalja od nivelirja na kateri smo segrevali zrak [m]	14	12	10	8	6	4	2	0,2
referenčni odčitek [m]	1,53914	1,53907	1,53909	1,53910	1,53907	1,53910	1,53909	1,53906
začetek ogrevanja zraka na višini vizure; kontinuirane meritve na 11 odčitkov								
1.	1,53915	1,53906	1,53911	1,53888	1,53885	1,53882	1,53866	1,53805
2.	1,53915	1,53905	1,53901	1,53903	1,53895	1,53889	1,53865	1,53825
3.	1,53915	1,53904	1,53907	1,53904	1,53900	1,53889	1,53877	1,53832
4.	1,53915	1,53907	1,53907	1,53906	1,53896	1,53889	1,53878	1,53824
5.	1,53912	1,53910	1,53909	1,53905	1,53895	1,53887	1,53872	1,53818
6.	1,53908	1,53910	1,53907	1,53902	1,53900	1,53889	1,53874	1,53821
7.	1,53914	1,53907	1,53908	1,53902	1,53899	1,53890	1,53873	1,53823
8.	1,53918	1,53906	1,53909	1,53906	1,53896	1,53892	1,53877	1,53835
9.	1,53918	1,53904	1,53906	1,53904	1,53894	1,53887	1,53874	1,53839
10.	1,53915	1,53909	1,53909	1,53904	1,53894	1,53889	1,53871	1,53823
11.	1,53915	1,53910	1,53910	1,53906	1,53896	1,53887	1,53872	1,53830



Grafikon 5: Razlika med povprečjem odčitkov in referenčnim odčitkom pri ogrevanju zraka z desne strani.

Iz poizkusa lahko zaključimo, da so temperaturne spremembe zraka, ki se dogajajo v okolici instrumenta bolj očitne, kot tiste v okolici late ter da na odklon vizurne osi zelo vpliva smer toplotnega toka.

4.6 Test 3 – Vpliv na odčitke pri ohlajanju nivelirja

Ta del naloge je bil najobširnejši in je zahteval dobro pripravo na terensko delo.

Iz raziskave, ki je bila narejena v laboratoriju za meteorologijo instituta za geodezijo in geoinformatiko fakultete za geodezijo v Beogradu, lahko razberemo, da je sprememba kolimacijske napake v razponu med +10°C in +40°C neznačilna, t.j. sprememba je v mejah, ki so določene za precizno niveliranje (Gučević et al, 2011). Pri temperaturah pod +10°C pa je značilna sprememba kolimacijske napake *i* ter njena vrednost vsekakor ni zanemarljiva. Prišli so do ugotovitve, da naj bo pri delu pri nižjih temperaturah (proizvajalec omogoča delo nivelirja pri temperaturi do -20°C) vrednost kolimacijske napake posebej določena, da bo rezultat meritev pravilen, torej, da bo nehorizontalnost vizurne osi popravljena za pravo vrednost.

Iz raziskave je razvidno, da z nivelirji Leica DNA03 sprememba kolimacijske napake značilno vpliva na meritve pri nižjih temperaturah. Še več, pri klasičnih nivelirjih je opaziti linearni trend spreminjanja kolimacijske napake v odvisnosti od temperature, medtem ko je pri digitalnih nivelirjih kolimacijska napaka naključnega predznaka.

4.6.1 Teoretične osnove

Pod pojmom razpršenost razumemo variiranje (odklanjanje) vseh ali dela individualnih vrednosti neke populacije okoli mere sredine. Sredina se lahko pojavlja v več oblikah, npr. kot aritmetična sredina, kot mediana ali kot modus. Če so vsi podatki identični in se ne

odklanjajo od mere sredine, je razpršenost enaka nič. Velik povprečni odklon posameznih vrednosti od povprečne vrednosti populacije pomeni veliko razpršenost.

Povprečje ali aritmetična sredina je kvocient vsote vseh vrednosti statistične spremenljivke s številom vseh vrednosti. Mediana ali središčnica je tista vrednost statistične spremenljivke, pri kateri je polovica vrednosti večjih, druga polovica pa manjših od nje. Modus ali gostiščnica je vrednost podatka, ki se v množici vseh vrednosti najpogosteje ponavlja.

Ena bolj pomembnih mer razpršenosti je varianca. Standardni odklon je kvadratni koren variance in je bolj razširjena oblika za ponazoritev variiranja kot varianca. Druge mere razpršenosti pa so različni razmiki (variacijski razmik, kvartilni razmik, decilni razmik) in odkloni (varianca, standardni odklon, kvartilni odklon in povprečni absolutni odklon). Nobena izmed mer ne more biti negativna, najbolj redka vrednost pa je nič.

Variacijski razmik oz. razpršenost je razlika med maksimalno in minimalno vrednostjo:

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (3)$$

Varianca je povprečje kvadratov razlik od srednje vrednosti:

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} \quad (4)$$

Standardni odklon je kvadratni koren variance:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} \quad (5)$$

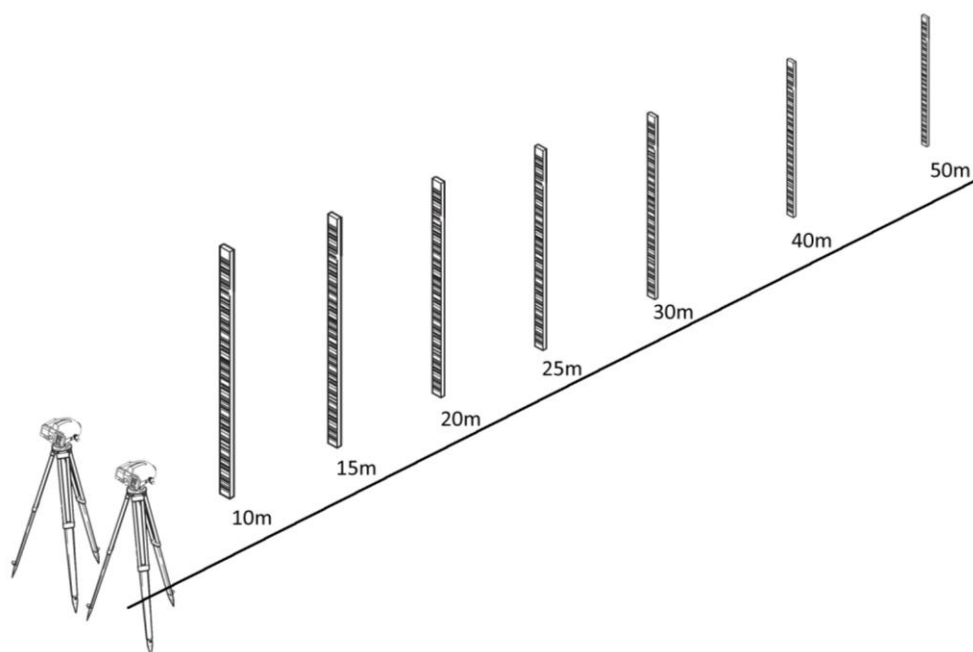
Standardni odklon nam pove kvaliteto določitve aritmetične sredine, torej ali je dober ali slab reprezentant vrednosti neke množice. Bolj ko se večja standardni odklon, bolj so vrednosti razpršene in različne med seboj. Če standardni odklon znaša nič, potem v podatkih ni variabilnosti, njihove vrednosti so torej identične.

4.6.2 Izbira metode merjenja, izbira lokacije in časa

Ker smo se želeli izogniti različnim vplivom in s tem zagotoviti, da bodo pridobljene meritve kar se da zanesljive oz. točne, smo morali za praktične meritve izbrati primeren kraj in čas meritev. Pri tem smo pazili, da je teren čim bolj raven ter da se izognemo tudi optičnim oviram, kot je npr. vegetacija, objekti ali ograje, ki bi lahko vplivale na odčitke (vpliv bočne refrakcije). Tem pogojem je zadostila slepa ulica na območju nakupovalnega središča na Rudniku. Meritve so potekale v oblačnem vremenu, s tem pa smo se izognili vplivom direktne sončne svetlobe, ki bi lahko povzročila segrevanje razdelbe na lati in s tem vplivala na odčitke. Problem, ki se pojavi v sončnem vremenu je tudi nastanek nivelmanske refrakcije. Kot smo že omenili v poglavju 2.5.3 nivelmanska refrakcija vpliva na svetlobni žarek – vizuro, ki potuje od instrumenta do late in se zaradi nehomogene atmosfere (različni optični sloji) v prizemnih plasteh lomi, kar povzroči bolj pogošen odčitek. Drugi problem, ki se pojavi v sončnem vremenu je tudi migetanje zraka in s tem deformiranje slike late, tako da njeno iz vrednotenje v takih pogojih ni možno. Ker smo ugotavljali spremembo horizontalne vizurne osi glede na temperaturno razliko med instrumentom in okolico je bilo potrebo izbrati tudi primeren čas meritev. Najbolj ugodno je bilo merjenje v jutranjem času, ko je bila zunanja temperatura dovolj nizka (pod lediščem) oz. je bila temperaturna razlika med instrumentom in okolico največja.

Odločili smo se, da pri meritvah uporabimo funkcijo Mean (average), torej način merjenja pri katerem nivelir opravi štiri odčitke in nato izračuna aritmetično sredino med njimi.

Za primerjavo smo hkrati testirali dva nivelirja Leica DNA03. Kodne nivelmanske late smo postavili na razdalji 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 40m in 50m od instrumenta. Meritve smo izvajali pet ur, pri čemer smo izbrali 30 minutni interval meritev. V preglednici 3 so zbrani podatki o časovnem poteku posamezne serije ter o temperaturi okolice in nivelirja.



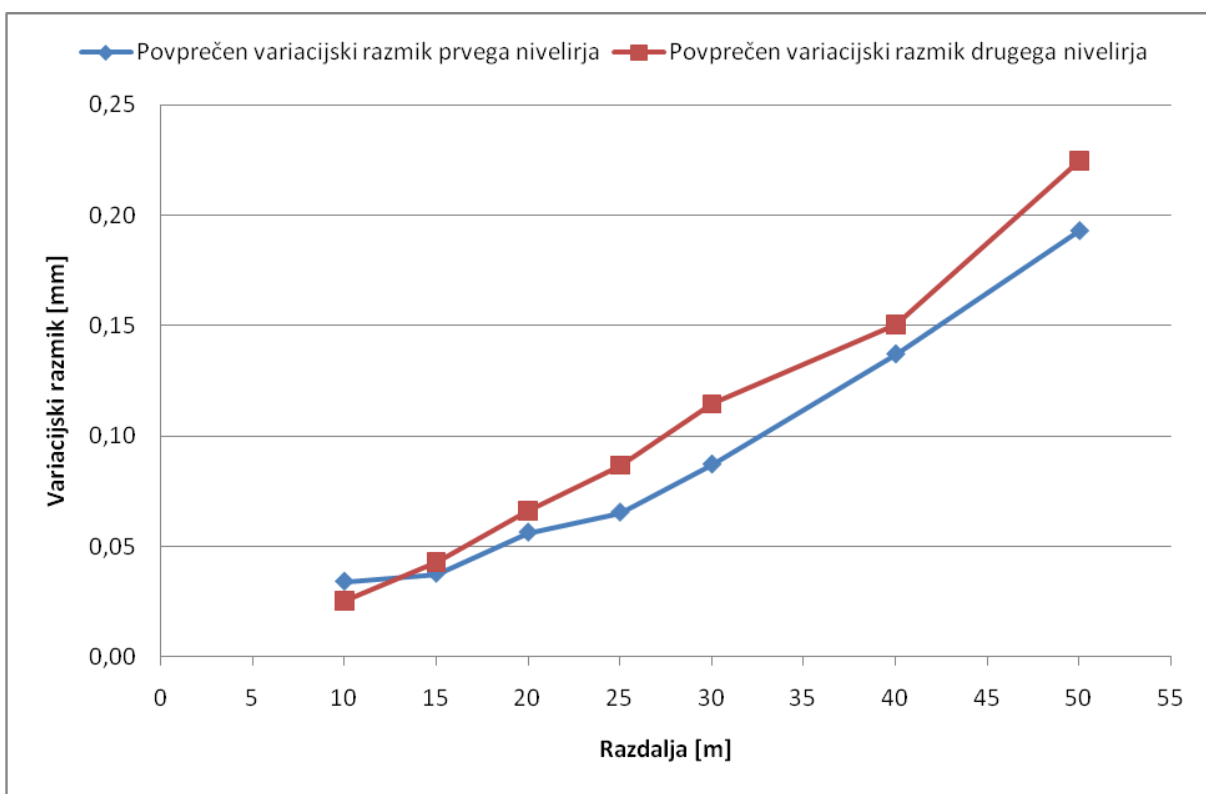
Slika 16: Postavitev lat na terenu.

Pri nivelirju smo preverjali stabilnost horizontalne vizurne osi oz. možnost klubovanja meteorološkimi vplivom tekom opravljanja meritev. Horizontalna vizurna os je določena s pomočjo kompenzatorja. Natančnost, ki vpliva na horizontalno vizurno os je odvisna od tehničnih karakteristik kompenzatorja in temperature. Prav tako pa je pomembno, da instrument ni izpostavljen tresenju tekom opravljanja meritev.

Preglednica 3: Časovni raspored meritev.

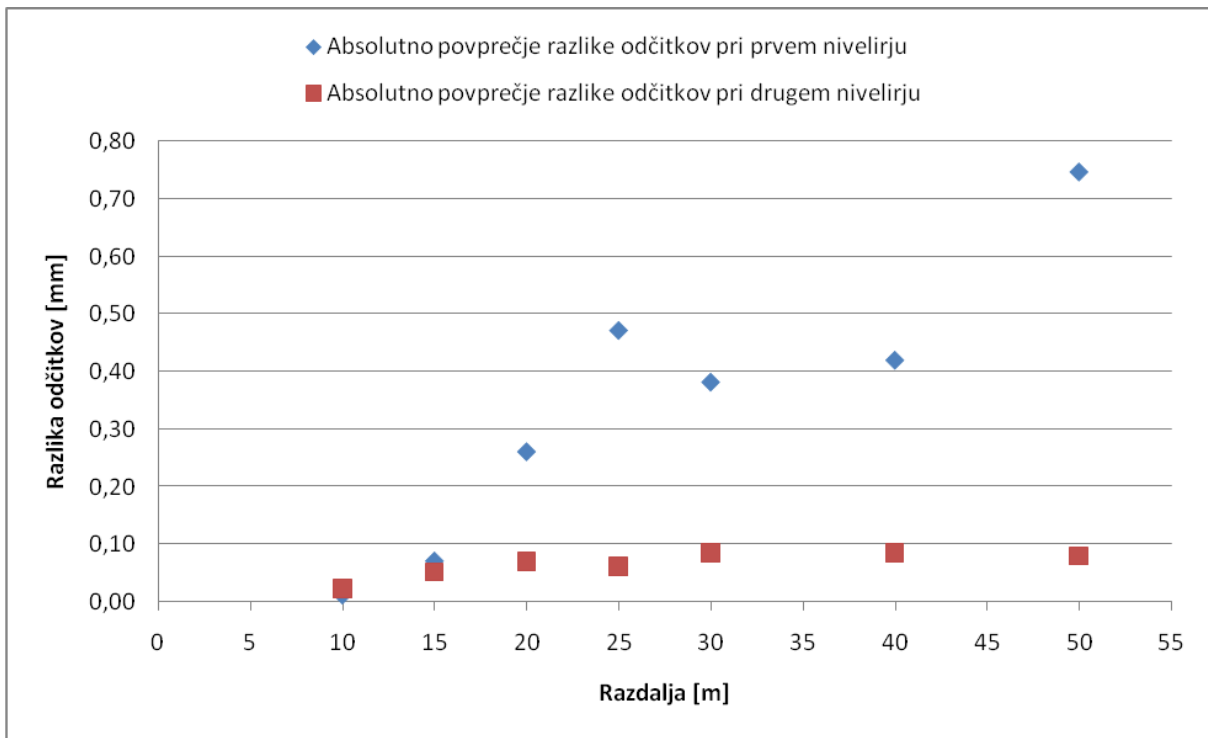
Serijska številka meritev	Čas meritev (od - do)	Zunanja temperatura [°C]	Temperatura nivelirja [°C]	Temperaturna razlika [°C]
1.	8:30 - 8:40	-6	3	9
2.	9:00 - 9:07	-6	-3	3
3.	9:30 - 9:37	-5	-4	1
4.	10:00 - 10:07	-4	-4	0
5.	10:30 - 10:37	-3	-3	0
6.	11:00 - 11:07	-2	-2	0
7.	11:30 - 11:37	1	2	1
8.	12:00 - 12:07	2	5	3
9.	12:30 - 12:37	3	6	3
10.	13:00 - 13:07	4	7	3
11.	13:30 - 13:37	4	7	3

Iz grafikona 6 lahko razberemo, da se variacijski razmik med odčitki z razdaljo pri obeh nivelirjih povečuje. Na razdalji 10 in 15 metrov znaša razpršenost pod 5 stotinkami milimetra, na najdaljši razdalji 50 metrov pa ta znaša že skoraj 25 desetink milimetra, kar pa ni več zanemarljivo.

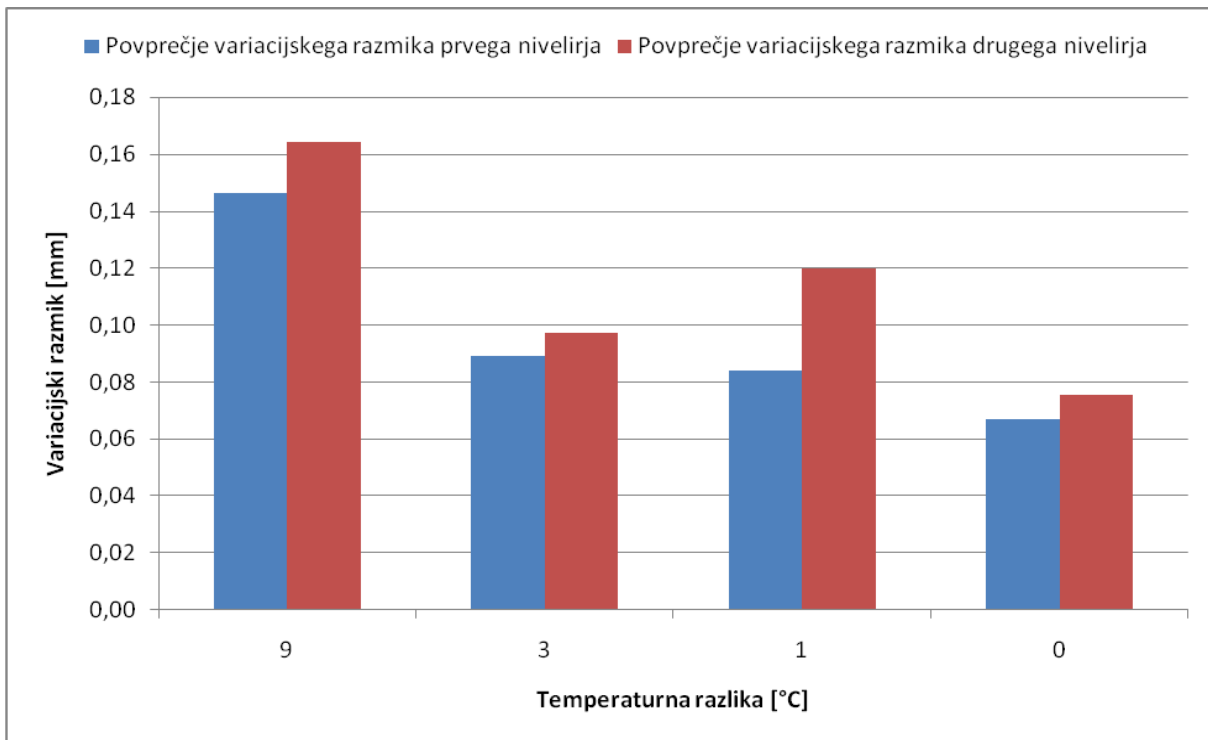


Grafikon 6: Primerjava povprečnega variacijskega razmika med nivelirjema glede na razdaljo.

V posamezni seriji smo na posamezni lati opravili dva odčitka, prvič ko smo čitali v eno smer, drugič, ko smo se vračali. S prvim nivelirjem smo v vseh serijah meritve začeli na lati na razdalji 50m, z drugim pa obratno na lati z najkrajšo testno razdaljo 10m. Za prikaz grafikona 7 smo izračunali absolutno vrednost razlike odčitkov v posamezni seriji ter na koncu izračunali povprečje vseh teh absolutnih vrednosti v vseh enajstih serijah. Pri prvem nivelirju je znašala največja razlika odčitkov nekaj več kot 0.7 mm, pri drugem nivelirju pa je bila največja razlika pod 0.1 mm. Zanimivo je, da je absolutno povprečje razlike odčitkov pri drugem instrumentu boljše, saj je bil povprečen variacijski razmik pri drugem instrumentu nekoliko slabši, kot pri prvem.



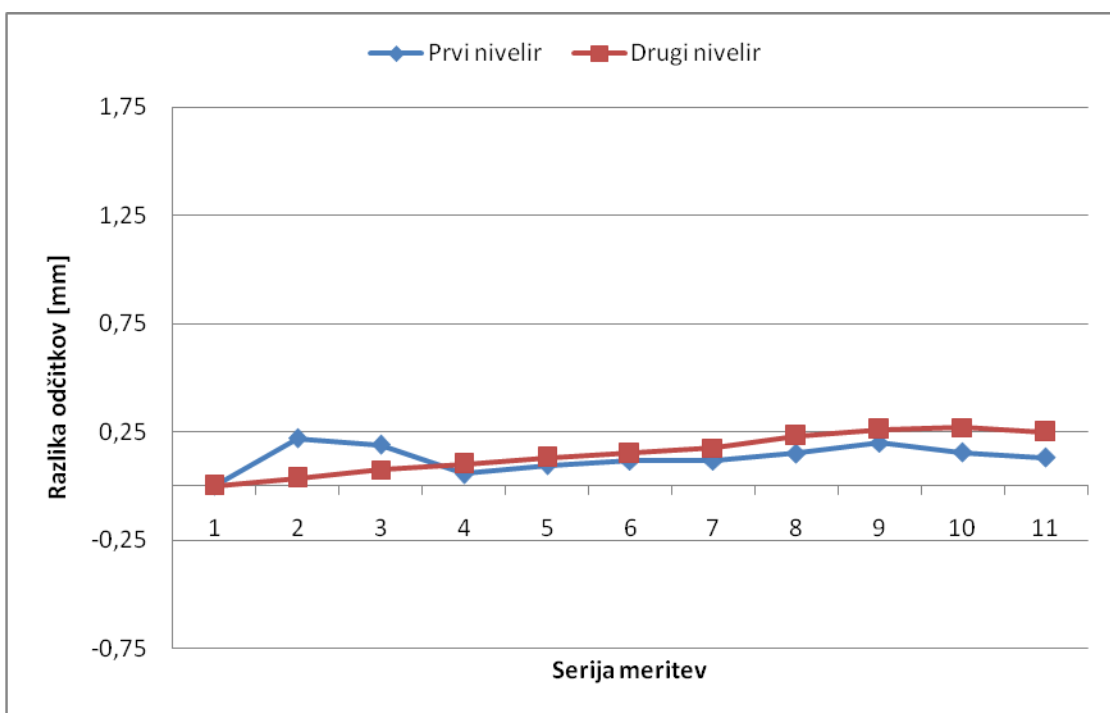
Grafikon 7: Primerjava absolutnega povprečja razlike odčitkov med nivelirjema glede na razdaljo.



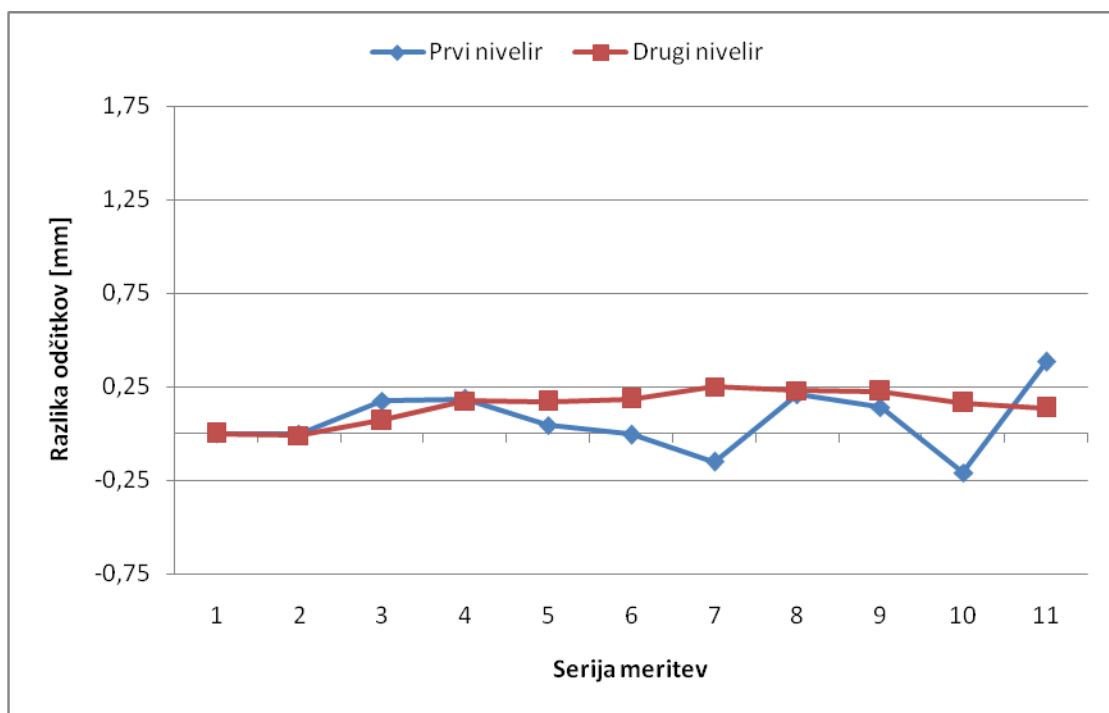
Grafikon 8: Primerjava povprečja variacijskega razmika med nivelirjema glede na temperaturno razliko med nivelirjem in okolico.

4.6.3 Ugotavljanje premika stativa oz. late ter ugotavljanje nagiba vizurne osi

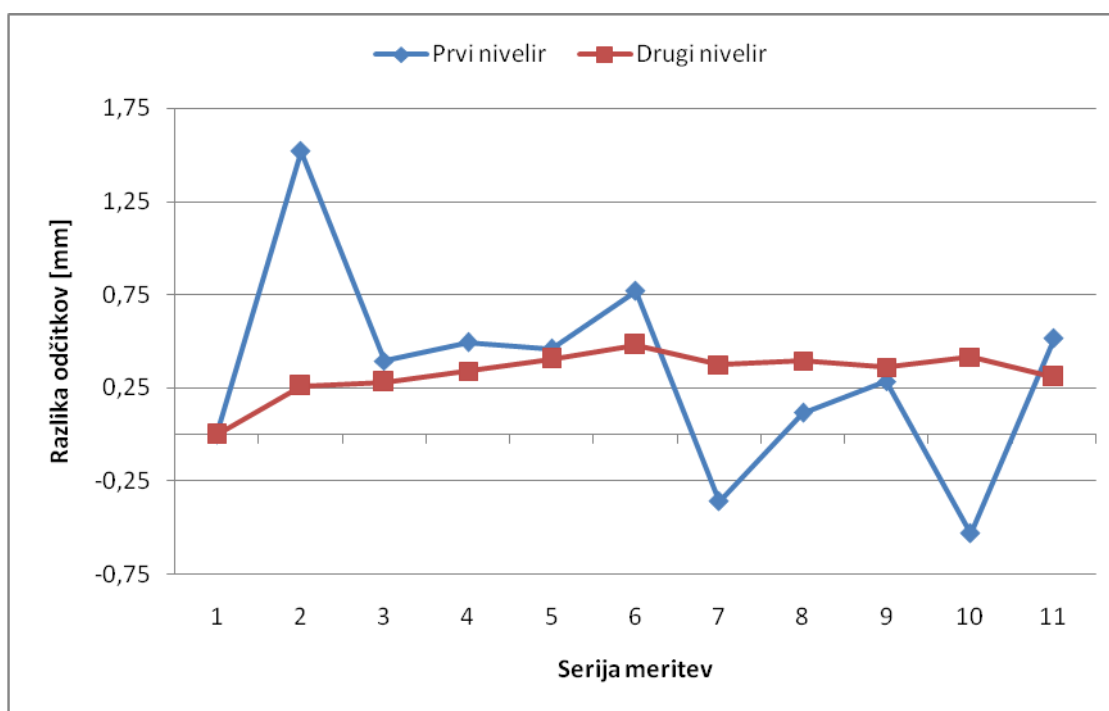
Iz opravljenih meritev smo poskušali ugotoviti tudi ali je v času meritev prišlo do posedanja bodisi instrumenta bodisi nivelmanskih lat. To smo naredili tako, da smo primerjali odčitke med instrumentoma na različno oddaljenih letah. Za primerjavo smo vzeli najkrajšo razdaljo med nivelirjem in lato (10 metrov), najdaljšo razdaljo (50 metrov) in vmesno razdaljo (30 metrov). V posamezni seriji meritev smo opravili dvakrat po 7 odčitkov (tja in nazaj). Za primerjavo smo vzeli povprečje odčitkov v posamezni seriji. V primeru, da bi se nivelirja oz. late posedale ali dvigovale, bi morali na grafikonih 9, 10 in 11 opaziti nek skupen trend gibanja krivulj, torej neko podobnost med gibanjem odčitkov med enim in drugim nivelirjem. Tako pa lahko opazimo, da je gibanje odčitkov med istimi časovnimi intervali meritev povsem slučajno. Variacijski razmik med odčitki vseh serij na razdalji 10 metrov je nekje do 0.3 milimetra, na razdalji 30 metrov se variacijski razmik poveča na 0.6 milimetra, na razdalji 50 metrov pa je ta že občutnejši in znaša 2.3 milimetra.



Grafikon 9: Primerjava odčitkov na razdalji 10 metrov.



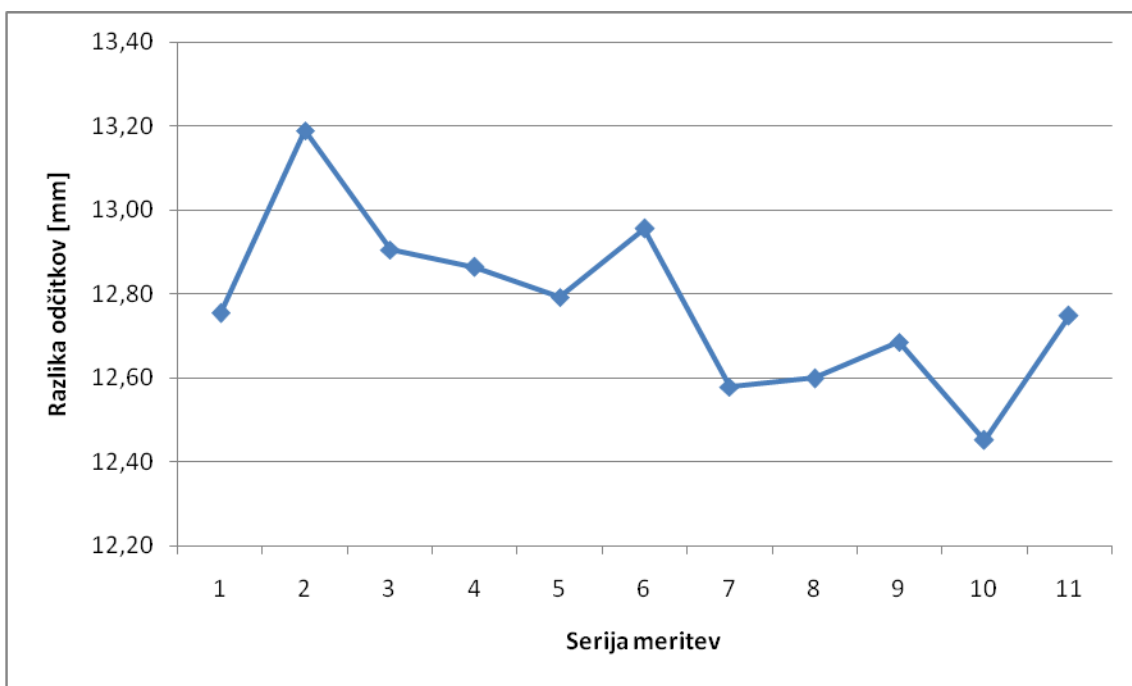
Grafikon 10: Primerjava odčitkov na razdalji 30 metrov.



Grafikon 11: Primerjava odčitkov na razdalji 50 metrov.

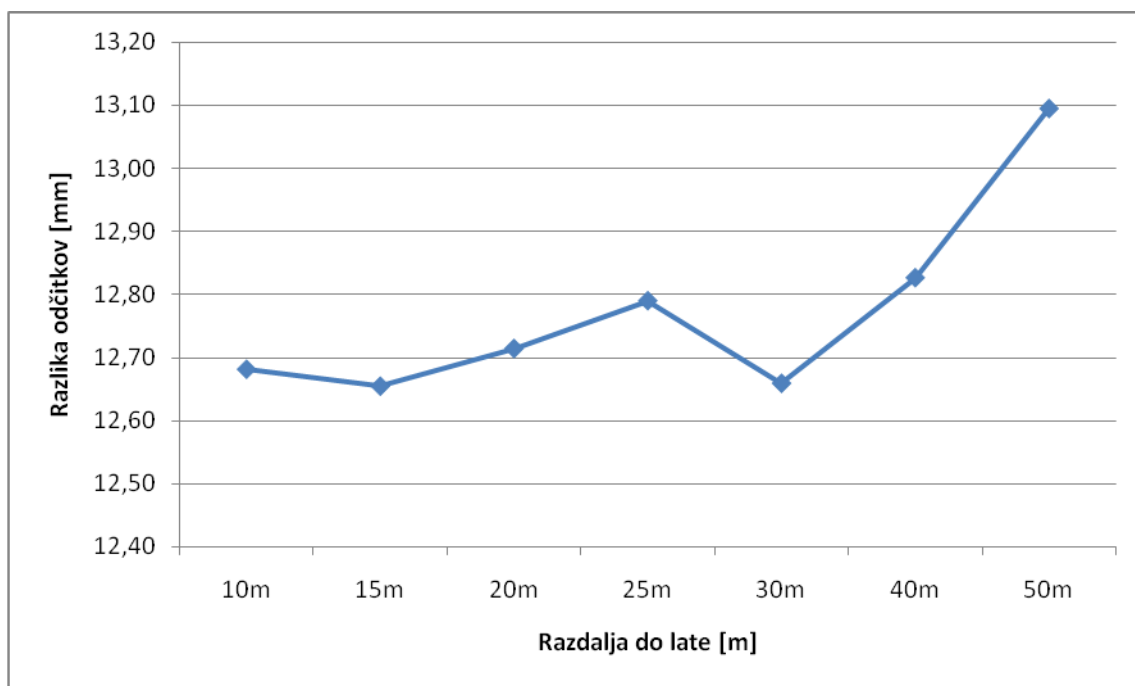
Zaradi različnih trendov gibanja odčitkov pri obeh nivelirjih lahko zaključimo, da dvigovanje oz. posedanje nivelirja in lat ni bilo prisotno, vzrok za različne odčitke (pa čeprav so ti majhni) gre torej iskati v drugih slučajnih vplivih.

Grafikon 12 prikazuje povprečje razlike odčitkov med enim in drugim nivelirjem v posameh serijah meritev. Kot lahko vidimo je gibanje odčitkov med nivelirjema povsem naključno.



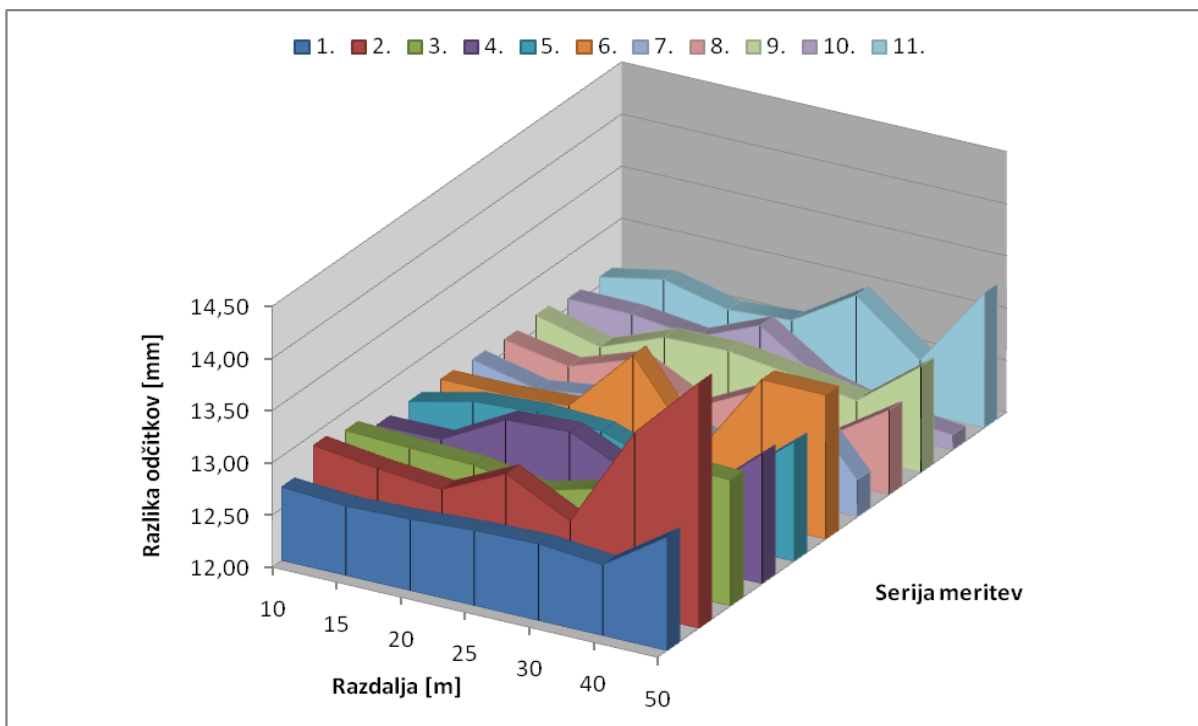
Grafikon 12: Povprečje razlike odčitkov med nivelirjema v posameznih serijah meritev.

Na grafikonu 13 pa je lepo opaziti večanje razlik med odčitkoma z razdaljo, torej večja kot je razdalja med nivelirjem in lato večja razlika med odčitkoma se pojavi. Grafikon ima podobno obliko kot jo ima grafikon 6, ki prikazuje spreminjanje povprečnega variacijskega razmika glede na razdaljo.



Grafikon 13: Povprečje razlike odčitkov med nivelirjema na posamezni dolžini.

Grafikon 14 prikazuje razliko odčitkov med nivelirjema na različnih dolžinah v posameznih serijah. Naredili smo ga z namenom ugotavljanja nagnjenosti vizurne osi. V primeru, da bi bilo opaziti na posameznih dolžinah isti trend vzpenjanja ali spuščanja razlike odčitkov, bi to potrdilo nagib vizurne osi. Tako pa lahko opazimo, da temu ni tako in lahko trdimo, da nagnjenosti vizurne osi v našem primeru ni bilo.



Grafikon 14: Razlika odčitkov med nivelirjema na različnih dolžinah v posameznih serijah.

5 ZAKLJUČEK

Ogrevanje oziroma ohlajevanje nivelirja ne poteka linearno, temveč po neki krivulji. Večja kot je temperaturna razlika med instrumentom in okolico, dlje časa bo potrebnega, da se nivelir temperira na temperaturo okolice. Vendar pa velja, da večja ko je temperaturna razlika, hitreje se temperatura instrumenta izenačuje s temperaturo okolice. Iz rezultatov vidimo, da prihaja do razlike v potrebnem času za ogrevanje in ohlajevanje instrumenta. Instrument se je veliko hitreje ohladil iz sobne na zunanjo temperaturo, kot pa ogrel iz zunanje temperature na sobno temperaturo. Verjetno gre razlago iskati v tem, da v sobi gibanja in kroženja zraka skoraj ni in tako potrebuje nivelir več časa da se temperira. Zunaj pa so poleg temperaturne razlike prisotni še drugi meteorološki pogoji (veter, vlažnost, zračni tlak), ki postopek temperiranja pospešijo.

Pri ogrevanju zraka na višini vizure iz različnih smeri smo vedno znova naleteli na različne odčitke (enkrat so bili večji, drugič manjši, prav tako pa so se razlikovali tudi po velikosti), tako, da bi bilo potrebno za podajanje končnega rezultata narediti dodatne preizkuse. Test bi bilo vsekakor potrebno ponoviti z večjim številom meritev. Glede na dobljene rezultate pa lahko zaključimo, da je vpliv temperaturne spremembe zraka na horizontalnost vizurne osi v okolici instrumenta bolj očiten, kot tisti v okolici nivelmanske late oz. da je le ta odvisen od smeri in moči dodanega toplotnega toka.

Z zadnjim testom, kjer smo postavili tesno bazo v dolžini 50m, smo ugotovili, da razpršenost odčitkov z razdaljo narašča, vendar zopet ne linearno, temveč ima obliko krivulje. Na razdalji 50m je razpršenost znašala nekaj več kot dve desetinki milimetra, kar nam pri preciznih meritvah lahko že povzroča težave. V primeru dvakratnega čitanja na latak je pri najdlje postavljeni lati priporočljivo čim hitreje ponoviti odčitek. Pri večji temperaturni razliki med nivelirjem in okolico je bila tudi razpršenost odčitkov večja. To je glavni pokazatelj, da je nivelir potrebno pred vsakim delom temperirati na temperaturo okolice.

Zaključimo lahko, da vpliv temperaturne razlike med nivelirjem in okolico na odčitke vsekakor ni zanemarljiv. Torej je priporočljivo instrument pred začetkom dela na terenu temperirati na temperaturo okolico, kar nam ne vzame preveč časa.

VIRI

Erčulj, M. 1993. Analiza vplivov na natančnost čitanja pri nivelmanu. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba M. Erčulj): 69 f.

Gučević, J., Delčev S., Ogrizović V. 2011. Determining temperature dependence of collimation error of digital level Leica DNA 03. FIG Working week 2011, Marocco, 18-22 May 2011, 1-12.

http://www.fig.net/pub/fig2011/papers/ts08e/ts08e_gucevic_delcev_et_al_4993.pdf

(Pridobljeno 5.4.2012.)

Ingensand, H. 2002. Check of digital levels. FIG XXII International Congress, Washington, D.C. USA, 19-26 April 2002, 1-10.

http://www.fig.net/pub/fig_2002/Ts5-11/TS5_11_ingensand.pdf

(Pridobljeno 5.4.2012.)

Kogoj, D., Stopar, B. 2009. Geodetska izmera. Strokovni izpit iz geodetske stroke. Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, Matična sekcija geodetov: f. 1-36.

Moretti, B. 1993. Merjenje temperaturnega gradienta za potrebe preciznega nivelmana. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba B. Moretti): 46 f.

Schneider, F., Dixon, D. 2002. The new Leica digital levels DNA03 and DNA10. FIG XXII International Congress Washington, D.C. USA, 19-26 April 2002, 1-12.

[http://www.leica-](http://www.leica-geosystems.com/media/new/product_solution/FIG_Congress_Paper_DNA.pdf)

[geosystems.com/media/new/product_solution/FIG_Congress_Paper_DNA.pdf](http://www.leica-geosystems.com/media/new/product_solution/FIG_Congress_Paper_DNA.pdf)

(Pridobljeno 5.4.2012.)

Ščap, M. 2010. Testiranje digitalnega nivelirja Leica DNA 03 za vpliv osvetljenosti late. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer (samozaložba M. Ščap): 54 f.

Topolnik, S. 2009. Sodobni komparatorji nivelmanskih lat v Evropi. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer (samozaložba S. Topolnik): 82 f.

Vodopivec, F. 1997. Geodezija II – višinomerstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 284 str.

Geoservis. 2012.

<http://www.geoservis.si/produkti/42-digitalni-nivelirji/98-leica-dna>

(Pridobljeno 28.4.2012.)

Leica. 2012.

http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-DNA03-Leica-DNA10_5287.htm

(Pridobljeno 28.4.2012.)

Miran Kuhar. 2012.

<http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/>

(Pridobljeno 14.4.2012.)

Ta stran je namenoma prazna.

PRILOGE

Priloga A: Obrazci terenskih meritev

V spodnjih obrazcih nam prva vrednost pri temperaturi podaja temperaturo okolice, druga vrednost pa podaja temperaturo nivelirja. Enote pri temperaturi so v stopinjah celzija [°C].

Pri dolžini, odčitkih, standardni deviaciji in razpršenosti pa so enote v metrih [m].

DNE: 17.01.2012 INŠTRUMENT: DNA03 - 4 MERIL: ANŽE

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
8:30	-6 / 3	10	1,31998	0,00004	0,00010	1,32000	0,00003	0,00008
		15	1,37436	0,00004	0,00010	1,37434	0,00002	0,00005
		20	1,40017	0,00004	0,00009	1,40023	0,00006	0,00012
		25	1,40111	0,00007	0,00017	1,40135	0,00004	0,00008
		30	1,42673	0,00005	0,00010	1,42631	0,00006	0,00012
8:40	-6 / 1	50	1,49689	0,00023	0,00049	1,49692	0,00013	0,00027

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
9:00	-6 / -3	10	1,32020	0,00004	0,00009	1,32022	0,00005	0,00011
		15	1,37444	0,00001	0,00003	1,37455	0,00001	0,00003
		20	1,40018	0,00002	0,00004	1,40045	0,00002	0,00004
		25	1,40141	0,00001	0,00003	1,40187	0,00005	0,00012
		30	1,42643	0,00001	0,00003	1,42660	0,00001	0,00002
9:07	-6 / -3	50	1,49894	0,00006	0,00014	1,49791	0,00023	0,00050

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
9:30	-5 / -4	10	1,32017	0,00001	0,00001	1,32019	0,00003	0,00007
		15	1,37451	0,00004	0,00009	1,37457	0,00001	0,00002
		20	1,40028	0,00005	0,00010	1,40043	0,00002	0,00004
		25	1,40142	0,00006	0,00014	1,40127	0,00003	0,00006
		30	1,42689	0,00004	0,00010	1,42650	0,00001	0,00004
9:37	-5 / -4	40	1,44203	0,00011	0,00027	1,44248	0,00002	0,00004
		50	1,49786	0,00010	0,00022	1,49674	0,00004	0,00008

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
10:00	-4 / -4	10	1,32004	0,00001	0,00001	1,32005	0,00001	0,00001
		15	1,37445	0,00001	0,00002	1,37447	0,00001	0,00002
		20	1,40034	0,00001	0,00002	1,40092	0,00002	0,00004
		25	1,40131	0,00001	0,00002	1,40208	0,00002	0,00004
		30	1,42657	0,00003	0,00007	1,42684	0,00003	0,00007
		40	1,44160	0,00004	0,00009	1,44188	0,00013	0,00031
10:07	-4 / -3	50	1,49691	0,00002	0,00003	1,49789	0,00014	0,00034

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
10:30	-3 / -3	10	1,32009	0,00001	0,00001	1,32008	0,00000	0,00000
		15	1,37456	0,00000	0,00001	1,37473	0,00005	0,00011
		20	1,40036	0,00000	0,00001	1,40060	0,00006	0,00011
		25	1,40130	0,00002	0,00005	1,40186	0,00002	0,00003
		30	1,42655	0,00002	0,00003	1,42658	0,00004	0,00009
		40	1,44157	0,00004	0,00009	1,44183	0,00004	0,00008
10:37	-3 / -2	50	1,49682	0,00003	0,00005	1,49791	0,00002	0,00004

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
11:00	-2 / -2	10	1,32011	0,00000	0,00001	1,32010	0,00001	0,00003
		15	1,37459	0,00001	0,00002	1,37448	0,00001	0,00002
		20	1,40032	0,00002	0,00005	1,40056	0,00009	0,00019
		25	1,40138	0,00000	0,00001	1,40287	0,00001	0,00002
		30	1,42646	0,00002	0,00004	1,42657	0,00007	0,00015
		40	1,44202	0,00003	0,00006	1,44305	0,00005	0,00011
11:07	-1 / -1	50	1,49845	0,00007	0,00016	1,49690	0,00006	0,00014

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
11:30	1 / 2	10	1,32009	0,00002	0,00004	1,32012	0,00001	0,00002
		15	1,37437	0,00001	0,00003	1,37440	0,00001	0,00002
		20	1,40025	0,00001	0,00003	1,40036	0,00002	0,00003
		25	1,40115	0,00004	0,00009	1,40141	0,00002	0,00006
		30	1,42636	0,00005	0,00011	1,42638	0,00002	0,00006
		40	1,44155	0,00004	0,00008	1,44255	0,00012	0,00026
11:37	1 / 3	50	1,49676	0,00005	0,00010	1,49633	0,00007	0,00014

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
12:00	2 / 5	10	1,32014	0,00001	0,00001	1,32014	0,00001	0,00001
		15	1,37446	0,00002	0,00004	1,37442	0,00001	0,00003
		20	1,40036	0,00003	0,00008	1,40072	0,00001	0,00003
		25	1,40114	0,00005	0,00011	1,40125	0,00001	0,00003
		30	1,42640	0,00000	0,00001	1,42706	0,00008	0,00019
		40	1,44136	0,00006	0,00014	1,44161	0,00009	0,00020
12:07	2 / 5	50	1,49658	0,00007	0,00014	1,49746	0,00021	0,00043

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
12:30	3 / 6	10	1,32019	0,00001	0,00002	1,32019	0,00000	0,00001
		15	1,37443	0,00001	0,00002	1,37440	0,00001	0,00002
		20	1,40030	0,00001	0,00003	1,40084	0,00001	0,00001
		25	1,40172	0,00007	0,00016	1,40120	0,00002	0,00004
		30	1,42623	0,00001	0,00002	1,42709	0,00001	0,00003
		40	1,44160	0,00006	0,00013	1,44162	0,00009	0,00020
12:37	3 / 7	50	1,49725	0,00018	0,00042	1,49713	0,00006	0,00012

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
13:00	4 / 7	10	1,32015	0,00001	0,00004	1,32014	0,00002	0,00005
		15	1,37457	0,00004	0,00009	1,37441	0,00001	0,00002
		20	1,40033	0,00002	0,00005	1,40032	0,00001	0,00002
		25	1,40137	0,00002	0,00004	1,40176	0,00002	0,00006
		30	1,42636	0,00002	0,00004	1,42626	0,00004	0,00010
		40	1,44128	0,00002	0,00005	1,44126	0,00004	0,00008
13:07	4 / 8	50	1,49636	0,00003	0,00006	1,49639	0,00006	0,00013

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
13:30	4 / 7	10	1,32012	0,00000	0,00001	1,32012	0,00001	0,00001
		15	1,37428	0,00001	0,00001	1,37431	0,00001	0,00003
		20	1,40022	0,00002	0,00005	1,40053	0,00003	0,00006
		25	1,40137	0,00003	0,00006	1,40161	0,00001	0,00002
		30	1,42632	0,00002	0,00005	1,42749	0,00019	0,00045
		40	1,44155	0,00007	0,00016	1,44163	0,00004	0,00010
13:37	5 / 8	50	1,49694	0,00005	0,00010	1,49790	0,00006	0,00015

___17.01.2012___ INSTRUMENT: ___DNA03 - 2___ MERIL: ___TILEN___

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
8:30	-6 / 3	10	1,30728	0,00002	0,00005	1,30729	0,00001	0,00002
		15	1,36168	0,00003	0,00008	1,36169	0,00003	0,00006
		20	1,38755	0,00010	0,00025	1,38748	0,00003	0,00007
		25	1,38849	0,00005	0,00010	1,38853	0,00007	0,00015
		30	1,41390	0,00008	0,00020	1,41367	0,00007	0,00016
		40	1,42878	0,00005	0,00009	1,42874	0,00008	0,00018
8:40	-6 / 1	50	1,48377	0,00014	0,00030	1,48386	0,00025	0,00059

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
9:00	-6 / -3	10	1,30732	0,00002	0,00004	1,30732	0,00000	0,00001
		15	1,36171	0,00002	0,00004	1,36166	0,00004	0,00009
		20	1,38756	0,00006	0,00014	1,38756	0,00003	0,00007
		25	1,38864	0,00005	0,00011	1,38854	0,00005	0,00012
		30	1,41371	0,00006	0,00011	1,41384	0,00019	0,00041
		40	1,42902	0,00006	0,00013	1,42893	0,00003	0,00008
9:07	-6 / -3	50	1,48408	0,00014	0,00031	1,48407	0,00007	0,00016

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
9:30	-5 / -4	10	1,30736	0,00001	0,00002	1,30736	0,00001	0,00001
		15	1,36176	0,00002	0,00004	1,36173	0,00002	0,00004
		20	1,38762	0,00004	0,00010	1,38754	0,00003	0,00007
		25	1,38862	0,00003	0,00006	1,38872	0,00000	0,00001
		30	1,41395	0,00006	0,00013	1,41376	0,00003	0,00006
		40	1,42912	0,00015	0,00032	1,42894	0,00005	0,00010
9:37	-5 / -4	50	1,48416	0,00017	0,00040	1,48403	0,00021	0,00042

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
10:00	-4 / -4	10	1,30740	0,00002	0,00005	1,30737	0,00001	0,00002
		15	1,36181	0,00004	0,00009	1,36178	0,00001	0,00001
		20	1,38766	0,00002	0,00004	1,38761	0,00003	0,00007
		25	1,38874	0,00005	0,00011	1,38860	0,00003	0,00006
		30	1,41399	0,00003	0,00007	1,41393	0,00007	0,00015
		40	1,42906	0,00003	0,00007	1,42899	0,00011	0,00026
10:07	-4 / -3	50	1,48401	0,00011	0,00024	1,48430	0,00009	0,00018

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
10:30	-3 / -3	10	1,30741	0,00001	0,00002	1,30742	0,00001	0,00002
		15	1,36186	0,00000	0,00001	1,36180	0,00000	0,00001
		20	1,38767	0,00001	0,00002	1,38759	0,00003	0,00007
		25	1,38877	0,00004	0,00010	1,38875	0,00004	0,00007
		30	1,41398	0,00002	0,00004	1,41393	0,00003	0,00005
		40	1,42907	0,00003	0,00006	1,42905	0,00002	0,00004
10:37	-3 / -2	50	1,48422	0,00005	0,00012	1,48422	0,00005	0,00011

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
11:00	-2 / -2	10	1,30744	0,00001	0,00002	1,30743	0,00000	0,00001
		15	1,36187	0,00002	0,00004	1,36186	0,00003	0,00006
		20	1,38775	0,00002	0,00004	1,38772	0,00003	0,00007
		25	1,38881	0,00002	0,00004	1,38877	0,00003	0,00006
		30	1,41395	0,00004	0,00009	1,41399	0,00003	0,00007
		40	1,42911	0,00004	0,00009	1,42919	0,00004	0,00008
11:07	-1 / -1	50	1,48433	0,00009	0,00017	1,48426	0,00007	0,00017

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
11:30	1 / 2	10	1,30748	0,00002	0,00004	1,30744	0,00002	0,00004
		15	1,36192	0,00002	0,00005	1,36184	0,00003	0,00007
		20	1,38780	0,00003	0,00006	1,38763	0,00003	0,00006
		25	1,38874	0,00005	0,00011	1,38870	0,00003	0,00006
		30	1,41403	0,00004	0,00008	1,41404	0,00003	0,00007
		40	1,42904	0,00005	0,00010	1,42894	0,00010	0,00021
11:37	1 / 3	50	1,48423	0,00011	0,00022	1,48415	0,00017	0,00041

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
12:00	2 / 5	10	1,30753	0,00000	0,00001	1,30750	0,00001	0,00001
		15	1,36194	0,00001	0,00003	1,36192	0,00002	0,00004
		20	1,38785	0,00004	0,00009	1,38779	0,00003	0,00006
		25	1,38879	0,00007	0,00017	1,38878	0,00001	0,00002
		30	1,41403	0,00007	0,00015	1,41400	0,00002	0,00006
		40	1,42905	0,00008	0,00018	1,42911	0,00014	0,00032
12:07	2 / 5	50	1,48425	0,00010	0,00020	1,48417	0,00004	0,00009

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
12:30	3 / 6	10	1,30757	0,00002	0,00005	1,30752	0,00000	0,00001
		15	1,36196	0,00001	0,00002	1,36190	0,00002	0,00005
		20	1,38790	0,00002	0,00004	1,38780	0,00001	0,00002
		25	1,38874	0,00004	0,00008	1,38871	0,00007	0,00015
		30	1,41401	0,00005	0,00010	1,41401	0,00003	0,00006
		40	1,42911	0,00003	0,00007	1,42902	0,00005	0,00013
12:37	3 / 7	50	1,48417	0,00014	0,00029	1,48418	0,00002	0,00005

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
13:00	4 / 7	10	1,30758	0,00001	0,00003	1,30753	0,00002	0,00004
		15	1,36199	0,00001	0,00003	1,36182	0,00002	0,00005
		20	1,38786	0,00001	0,00002	1,38777	0,00002	0,00005
		25	1,38884	0,00005	0,00010	1,38876	0,00003	0,00005
		30	1,41398	0,00009	0,00021	1,41392	0,00005	0,00009
		40	1,42909	0,00019	0,00044	1,42904	0,00004	0,00007
13:07	4 / 8	50	1,48427	0,00011	0,00020	1,48419	0,00004	0,00010

URA	TEMP.	D	ODČITEK 1	ST. DEV. 1	RAZPRŠ. 1	ODČITEK 2	ST. DEV. 2	RAZPRŠ. 2
13:30	4 / 7	10	1,30755	0,00000	0,00001	1,30752	0,00001	0,00003
		15	1,36162	0,00000	0,00001	1,36156	0,00001	0,00003
		20	1,38784	0,00001	0,00003	1,38779	0,00001	0,00002
		25	1,38893	0,00005	0,00010	1,38885	0,00004	0,00008
		30	1,41399	0,00005	0,00012	1,41385	0,00002	0,00004
		40	1,42917	0,00007	0,00017	1,42900	0,00006	0,00012
13:37	5 / 8	50	1,48415	0,00003	0,00007	1,48410	0,00006	0,00014