



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - GEODETSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB - FACULTY OF GEODESY

Zavod za primijenjenu geodeziju - Institute of Applied Geodesy
Katedra za instrumentalnu tehniku

Fra Andrije Kačića Miošića 26, 10 000 Zagreb, Hrvatska/Croatia, Tel.: 00385 1 4639 370, Fax: 00385 1 4828 081

Prof. dr. sc. Zlatko Lasić

PRAKTIČNI RAD S GEODETSKIM INSTRUMENTIMA

S k r i p t a

Zagreb, siječanj 2008.g.

SADRŽAJ

1. TEODOLITI.....	4
1.1 OSNOVNI DIJELOVI TEODOLITA.....	4
1.2 OSI TEODOLITA	5
1.3 KONSTRUKTIVNI UVJETI TEODOLITA	5
1.4 POSTAVLJANJE TEODOLITA	5
1.5 HORIZONTIRANJE TEODOLITA	5
1.6 CENTRIRANJE TEODOLITA.....	6
1.7 POGREŠKE OSI TEODOLITA.....	7
1.7.1 Pogreška vizurne osi (kolimacijska pogreška)	7
1.7.1.1 Ispitivanje i rektifikacija.....	7
1.7.2 Pogreška nagibne (horizontalne) osi.....	8
1.7.2.1 Ispitivanje i rektifikacija.....	8
1.7.3 Pogreška glavne (vertikalne) osi.....	9
1.7.4 Pogreška ekscentriciteta horizontalnog kruga	9
1.7.5 Ekscentricitet vizurne ravnine	10
1.8 ODREĐIVANJE STANDARDNOG ODSUPANJA PRAVCA, VIZIRANJA I OČITANJA PRECIZNOG TEODOLITA	11
1.8.1 Princip mjerenja.....	11
1.9 ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI ALHIDADNE LIBELE	13
1.10 ISPITIVANJE POGREŠKE HORIZONTALNE OSI	14
1.11 MJERENJE KUTOVA REPETICIJSKOM METODOM	16
1.12 MJERENJE VERTIKALNOG KUTA S PRECIZNIM TEODOLITOM	17
2. NIVELIRI	18
2.1 OSNOVNI DIJELOVI NIVELIRA I NJIHOVA FUNKCIJA	19
2.1.1 Niveliri s kompenzatorom	20
2.1.2 Princip kompenzacije	20
2.2 POGREŠKE NIVELIRA	21
2.3 ISPITIVANJE I REKTIFIKACIJA NIVELIRA S KOMPENZATOROM	22
2.4 DODACI NIVELIRU	23
2.5 ODREĐIVANJE STANDARDNOG ODSUPANJA VIZIRANJA, VIZURNE OSI I HORIZONTIRANJA VIZURNE OSI PRECIZNOG NIVELIRA S OPTIČKIM MIKROMETROM	23
2.6 ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI NIVELACIJSKE LIBELE	25
2.7. ROTACIJSKI LASERSKI NIVELIR	26

2.8. DIGITALNI NIVELIR	27
2.8.1 Građa digitalnog nivelira	27
3. ELEKTRONIČKI TAHIMETRI.....	29
3.1 GRAĐA ELEKTRONIČKIH TAHIMETARA	30
3.2 MJERENJE PRAVACA (KUTOVA) ELEKTRONIČKIM TAHIMETRIMA	31
3.3 MJERENJE DUŽINA ELEKTRONIČKIM TAHIMETRIMA.....	32
3.4 PROGRAMI U ELEKTRONIČKIM TAHIMETRIMA.....	33
4. POGREŠKE TERESTRIČKIH MJERENJA	34
4.1 POGREŠKE PRI MJERENJU HORIZONTALNIH PRAVACA (KUTOVA)	34
4.2 POGREŠKE PRI MJERENJU ZENITNIH UDALJENOSTI.....	34
4.3 POGREŠKE PRI ELEKTROOPTIČKOM MJERENJU DUŽINA.....	35
4.4 POGREŠKE MJERENJA U GEOMETRIJSKOM NIVELMANU	35
4.5 POGREŠKE MJERENJA U TRIGONOMETRIJSKOM NIVELMANU	36
5. KOREKCIJE TERESTRIČKIH MJERENJA	37
5.1 METEOROLOŠKE KOREKCIJE	37
5.2 INSTRUMENTALNE KALIBRACIJSKE KOREKCIJE	37
5.3 GRAVIMETRIJSKE KOREKCIJE	38
5.3.1 Geometrijske redukcije mjerenih veličina.....	39
5.3.1.1 Korekcije i redukcije mjerene dužine.....	39
5.3.1.2 Redukcija mjerenog pravca (kuta) na elipsoid	41
6. PRAKTIČNI RAD S INSTRUMENTIMA	42
6.1 OPTIČKI TEODOLITI.....	42
6.2 NIVELIRI S KOMPENZATORIMA.....	42
6.3 ELEKTRONIČKI TAHIMETRI	42
6.4 DIGITALNI NIVELIRI.....	42
6.5 PRIJENOS PODATAKA	42
6.6 OBRADA PODATAKA.....	44
6.7 PRIMJERI.....	45
6.7.1 Mjerenje teodolitom i nivelirom s kompenzatorom	45
6.7.2 Mjerenje elektroničkim tahimetrom i digitalnim nivelirom.....	52
6.7.3. Prikaz točaka i popis koordinata u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta	78
LITERATURA	79

1. TEODOLITI

Teodolit je geodetski instrument za mjerenje horizontalnih i vertikalnih kutova. Osnovni dijelovi teodolita su: podnožje (nepomično, sa podnožnim vijcima koji služe za horizontiranje), gornji (alhidada) i okretni dio teodolita (zajedno sa horizontalnim krugom) na kojem se nalaze nosači dalekozora, a okreće se oko glavne (vertikalne) osi. Na alhidadi se nalazi alhidadna libela. Dalekozor se okreće oko nagibne (horizontalne) osi zajedno sa vertikalnim krugom.

Podjela teodolita prema točnosti, a u skladu sa njemačkom *DIN* - normom 18724 (1mgon = 3",24):

- teodoliti visoke točnosti $\leq 0,2 \text{ mgon} / 0'',6$
- teodoliti veće točnosti $\leq 0,6 \text{ mgon} / 2''$
- teodoliti srednje točnosti $\leq 2,0 \text{ mgon} / 6''$
- teodoliti manje točnosti $\leq 8,0 \text{ mgon} / 25''$

Podjela teodolita prema njihovoj građi:

- Mehanički teodoliti – krugovi (limbovi) su napravljeni od metala koji se čitaju primjenom lupe ili jednostavnog mikroskopa. Princip izoštravanja slike dalekozora je vanjsko izoštravanje. Prvi teodolit ove građe datira iz 1730 god.
- Optički teodoliti – naglašena je primjena optičkih sustava, stakleni krugovi (limbovi), očitavanje se vrši uz korištenje složenih mikroskopa i primjenom optičkih mikrometara.
- Elektronički teodoliti – posebne su građe krugova pogodnih za digitalno očitavanje.

1.1 OSNOVNI DIJELOVI TEODOLITA

Svaki teodolit ima dvije zasebne cjeline – donji dio (nepomičan) i gornji dio (alhidada) koji se okreće oko glavne (vertikalne) osi teodolita.

Donji dio teodolita se sastoji od podnožja sa tri pravilno raspoređena podnožna vijka koji služe za horizontiranje teodolita s pomoću libela. Podnožje se pomoću centralnog vijka spaja sa stativom. Horizontalni krug (limb) može biti čvrsto vezan uz donji dio i čini jednu cjelinu. Međutim, kod preciznih (točnijih) teodolita, horizontalni krug se može okretati oko svoje osovine, te čini zasebni dio – srednji dio teodolita.

Vertikalna osovina kao glavna osovina povezuje sve dijelove teodolita u jednu cjelinu. Druga osovina oko koje se okreće dalekozor naziva se nagibna ili horizontalna osovina.

U srednjem dijelu teodolita, kod nekih konstrukcija, nalazi se uređaj za repeticiju. Ovaj uređaj omogućuje da se horizontalni krug (limb) okreće zajedno s alhidadom oko glavne osi, a da se pri tome očitavanje ne mijenja. Znači da se na traženi pravac u prostoru može namjestiti željeno očitavanje horizontalnog kruga.

Horizontalni krug ima oblik kružne ploče, načinjen je od kvalitetnog materijala (metala ili stakla), na kojem se nalazi kružna podjela koja se još naziva i limb. Vertikalna (glavna) os teodolita je okomita na horizontalni krug. Horizontalni krug je krug koji je građuiran, te se još naziva i limb.

Horizontalni krug ima oblik kružne ploče, načinjen od kvalitetnog materijala (metal ili staklo), na kojoj se nalazi kružna podjela. Vertikalna (glavna) os teodolita okomita je na horizontalni krug.

Kružna podjela nanosi se u kutnim jedinicama: stupanj (seksagezimalna podjela) i gon (gradusna ili centezimalna podjela).

Gornji dio teodolita čini kućište s nosačima dalekozora – alhidada, dalekozor, horizontalna osovina sa vertikalnim krugom, kočnice alhidade i dalekozora, vijci za fini pomak alhidade i dalekozora, libele, uređaji za očitavanje kruga. Mehanički dijelovi teodolita moraju biti kvalitetno izvedeni da bi dobra optika dalekozora i primijenjeni elektronički sustav pridonijeli ukupnoj kvaliteti instrumenta.

1.2 OSI TEODOLITA

Teodolit ima dvije mehaničke osovine, vertikalnu i horizontalnu. Kada se govori o pojedinoj osi, podrazumijeva se da je to geometrijska os rotacije mehaničke osovine.

Glavna ili vertikalna os (VV) je os na čiju su mehaničku građu i kvalitetu izrade postavljeni visoki zahtjevi. Alhidada se okreće oko glavne osi zajedno sa svim dijelovima koji se na njoj nalaze.

Kućište alhidade završava sa nosačima horizontalne (nagibne) osovine. Horizontalna osovina nosi dalekozor i vertikalni krug koji se zajedno okreću oko horizontalne geometrijske osi. Horizontalna os treba biti okomita na vertikalnu, te zbog toga postoji mogućnost njezinog podešavanja za male pomake.

1.3 KONSTRUKTIVNI UVJETI TEODOLITA

Instrumentalni uvjeti teodolita su slijedeći:

- $LL \perp VV$ – os alhidadne libele okomita na glavnu os,
- $KK \perp HH$ – vizurna (kolimacijska) os okomita na nagibnu (horizontalnu) os,
- $HH \perp VV$ – nagibna (horizontalna) os okomita na glavnu os,
- $KV \equiv VV$ – vizurna os optičkog viska identična je sa glavnom osi.

Također, treba zadovoljiti da horizontalna nit nitnog križa bude horizontalna prostoru, kao i da indeks za očitavanje vertikalnog kruga bude u ispravnom položaju.

Radni uvjet teodolita je da se glavna os teodolita treba dovesti u vertikalni položaj što se radi postupkom horizontiranja.

1.4 POSTAVLJANJE TEODOLITA

Za mjerenje kutova teodolit se postavlja na stativ iznad geodetske točke. U nekim slučajevima teodolit se direktno postavlja na geodetsku točku ako se ista nalazi na stabiliziranoj (fiksnoj) podlozi kao što je betonski stup.

Stativ se sastoji od tri noge i glave stativa. Noge stativa izrađuju se od drva ili aluminija, a završavaju sa metalnim šiljcima koji se nogom utiskuju u podlogu (zemlju ili drugo). Noge stativa su u većini slučajeva promjenjive duljine, a mogu biti i stalne duljine. Noge se spajaju sa ravnom pločom glave stativa koja u sredini ima otvor promjera 30 – 50 mm, a kroz čiju sredinu prolazi centralni vijak za pritezanje teodolita na glavu stativa.

1.5 HORIZONTIRANJE TEODOLITA

Horizontirati teodolit znači da treba glavnu os teodolita dovesti u smjer vertikale (smjer sile teže). Horizontiranje je važna operacija jer svako odstupanje glavne osi od ispravnog položaja utječe na ispravno mjerenje kutova.

Postupak horizontiranja se izvodi na slijedeći način: na približno horizontalno postavljenu glavu stativa stavimo teodolit koji lagano pritegnemo centralnim vijkom. Zakrećemo alhidadu i alhidadnu libelu dovedemo u smjer dvaju podnožnih vijaka. Vrhunimo

libelu zakretanjem podnožnih vijaka u suprotnom smjeru. Zatim okretanjem alhidade dovodimo libelu u smjer trećeg podnožnog vijka i vrhunimo je tim vijkom. Postupak se ponavlja dok libela ne vrhuni u bilo kojem smjeru.

Prije postupka horizontiranja teodolita treba provjeriti ispravnost libele tj., uvjet da je glavna tangenta LL (os libele) okomita na vertikalnu os teodolita VV ($LL \perp VV$). Postupak ispitivanja i ispravljanja navedenog uvjeta naziva se rektifikacija alhidadne libele.

Ispitivanje i rektifikacija libele izvodi se na slijedeći način: alhidadna libela se postavi u smjer dva podnožna vijka i njima se navrhuni, okrenemo tada alhidadu za 180° , ako libela vrhuni uvjet je ispunjen. Ako mjehur libele odstupa od vrhunjenja, ono je dvostruko. Polovicu otklona ispravljamo podnožnim vijcima u smjeru kojih je libela postavljena, a drugu polovicu korekcijskim vijcima libele.

1.6 CENTRIRANJE TEODOLITA

Centriranjem teodolita treba vertikalnu os u prostoru postaviti tako da prolazi centrom točke stajališta instrumenta. Horizontiranje i centriranje teodolita su radnje koje su međusobno povezane. Centriranje se izvodi uz korištenje viska koji može biti: običan, kruti ili optički. Običan visak je metalni uteg, često u obliku stošca, na uzici, i ovjesi se o kukicu centralnog vijka na glavi stativa. Pomicanjem teodolita po glavi stativa dovodi se vrh viska iznad stajališne točke. Ovakav način centriranja otežan je za vrijeme vjetrovitog vremena. Kruti visak se sastoji od dviju metalnih cijevi od kojih se gornja može izvlačiti i pričvršćena je za centralni vijak. Na donjoj cijevi nalazi se kružna libela koju je potrebno vrhuniti produljivanjem ili skraćivanjem nogu stativa. Kruti visak potrebno je ispitati, tj. os kružne libele treba biti paralelna sa geometrijskom osi cijevi viska. Ispitivanje se radi u dva položaja libele, a odstupanje se ispravlja tako da se pola otklona popravi sa korekcijskim vijcima libele, a pola pomakom teodolita po glavi stativa.

Najčešće se centriranje izvodi pomoću optičkog viska. On se sastoji od objektiva, nitnog križa (često u obliku kružića), prizme za otklon zrake (viture) za 90° i okulara. Optički visak treba zadovoljiti uvjet da dio vizurne osi viska bude identična sa glavnom (VV) osi teodolita. Ispitivanje se radi u dva položaja alhidade, projekcija nitnog križa optičkog viska treba pogoditi istu točku.

Ako se pojavi odstupanje, na sredinu spojnice dviju projekcija nitnog križa, treba sa korekcijskim vijcima nitnog križa dovesti presjek niti nitnog križa.

U praksi se postupak horizontiranja i centriranja izvodi brzo na slijedeći način: glava stativa se postavi približno iznad stajališne točke i horizontalno u prostoru. Teodolit se centralnim vijkom pričvrsti za glavu stativa. Promatramo kroz okular optičkog viska i djelovanjem na podnožne vijke teodolita dovedemo da nitni križ optičkog viska pogodi stajališnu točku. Odstupanje dozne libele popravimo dizanjem ili spuštanjem nogara stativa. Slika točke stajališta će se pritom vjerojatno malo pomaknuti. Sada je potrebno napraviti horizontiranje teodolita (alhidadna libela se postavlja u smjer dva podnožna vijka te u smjer trećeg vijka) i precizno centrirati pomicanjem teodolita po glavi stativa. Ako treba, ponoviti horizontiranje. Umjesto optičkog viska u novije vrijeme se koristi laserski visak kod kojega je vizura materijalizirana sa laserskim snopom svjetlosti. Postupak centriranja i horizontiranja jednak je onom sa optičkim viskom.

Kod mjerenja najviših točnosti potrebno je izvesti precizno centriranje. Teodolit se postavlja na betonski stup u kojem se nalazi fiksno postavljen centralni vijak, ili se koristi specijalni uređaj za centriranje.

Kako bi se izbjegla pogreška centriranja koja utječe na mjerenja, upotrebljava se prisilno centriranje. Podnožna ploča koja je prethodno postavljena horizontalno te je centrirana na stajališnu točku (uz korištenje optičkog viska), ostaje na glavi stativa. Umjesto

teodolita na podnožnu ploču se postavlja značka, prizma ili drugi instrument i njihove vertikalne osi zauzimaju isti položaj u dozvoljenim granicama odstupanja.

1.7 POGREŠKE OSI TEODOLITA

U poglavlju 1.3 navedeni su konstruktivni uvjeti teodolita. Odstupanje položaja osi od tih uvjeta nazivamo pogreškama osi teodolita ili instrumentalnim pogreškama.

Većina instrumentalnih pogrešaka mogu se lako ispitati, rektificirati, metodom mjerenja ukloniti. Kod elektroničkih teodolita izvediva je i automatska eliminacija nekih instrumentalnih pogrešaka.

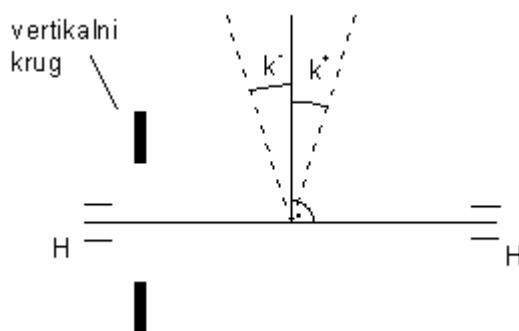
Korištenjem programa u instrumentu mogu se ukloniti i veće mehaničke pogreške, što omogućuje veće mehaničke tolerancije u proizvodnom procesu izrade instrumenata. Pri tome treba imati na umu da automatika nije savršena, takvi instrumenti trebaju se češće podvrgnuti kontroli i laboratorijskim ispitivanjima jer su stručnjaku na terenu prepušteni samo mali zahvati u rektifikaciji. Geodetski stručnjak mora znati ispitati instrument, provjeriti njegovu ispravnost, konstatirati moguće nedostatke i dostaviti instrument na daljnju kontrolu i detaljno podešavanje u ovlaštenu instituciju.

1.7.1 Pogreška vizurne osi (kolimacijska pogreška)

Vizurna os je definirana pravcem koji prolazi presjecištem glavnih niti nitnog križa i glavnom točkom objektiva.

Vizurna os treba biti okomita na nagibnu (horizontalnu) os. Pogreška vizurne osi k određena je kutom što ga zatvara vizurna os prema objektu sa okomicom na nagibnu os. Kut k je pozitivan kada vizurna os rotira u smjeru kazaljke na satu od idealnog položaja (instrument se nalazi u prvom položaju, tj. vertikalni krug je sa lijeve strane).

Pogreška vizurnog pravca ovisi o udaljenosti opažane točke te zbog toga pogrešku vizurne osi ispitujemo viziranjem na daleku točku, preko 100m i u horizontu instrumenta (kako bi eliminirali utjecaj pogreške horizontalne osi).



Slika 1. Pogreška vizurne osi

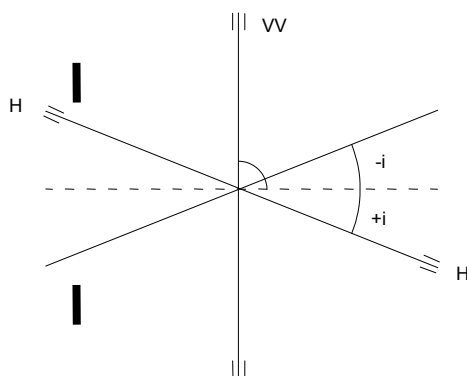
1.7.1.1 Ispitivanje i rektifikacija

Teodolit postavimo na stativ i horizontiramo ga. U horizontu na udaljenosti većoj od 100m odaberemo točku, te je viziramo sa vertikalnom niti nitnog križa. Očitamo horizontalni krug – O_1 . U drugom položaju teodolita viziramo istu točku i očitamo očitavanje horizontalnog kruga – O_2 . Razlika očitavanja O_1 i O_2 , umanjena za $180^\circ / 200\text{gon}$ -a, daje dvostruku pogrešku ($2k$) vizurne osi. Pogreška se ispravlja tako da na horizontalnom krugu, u prvom položaju teodolita, sa vijkom za fini pomak alhidade, namjestimo očitavanje aritmetičke sredine. U vidnom polju vertikalna nit nitnog križa neće poklopiti točku, te pomoću vijka za pomak nitnog križa u horizontalnom smislu dotjeramo vertikalnu nit nitnog križa da pogodi točku.

Kod elektroničkih teodolita postupak ispitivanja i rektifikacije je u potpunosti identičan. Memorijska jedinica ima mogućnost memoriranja pogreške vizurne osi, što omogućuje automatsku korekciju mjerenog pravca. Rektifikacija se izvodi samo kod većih pogrešaka vizurne osi.

1.7.2 Pogreška nagibne (horizontalne) osi

Oko horizontalne osi se okreće dalekozor zajedno sa vertikalnim krugom. Horizontalna os treba biti okomita na vertikalnu os. Pogreška nagibne osi „i“ određena je razlikom pravog kuta i kuta kojeg zatvaraju nagibna i vertikalna os.

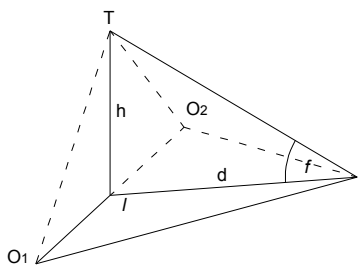


Slika 2. Pogreška nagibne osi

Posljedica ove pogreške je nehorizontalan položaj horizontalne osi u prostoru kada je glavna os u prostoru vertikalna nakon horizontaliranja teodolita. Vizurna ravnina je u prostoru nagnuta što za posljedicu ima pogrešku u mjerenju horizontalnog pravca.

1.7.2.1 Ispitivanje i rektifikacija

Jedna od metoda ispitivanja pogreške horizontalne osi je metoda projekcije visoke točke. Kod zakločene alhidade viziramo točku T velikog elevacijskog kuta. Spuštamo dalekozor do horizonta, gdje se nalazi mjerna letva i očitamo projekciju točke – O_1 . Mjerna letva nalazi se u horizontu instrumenta i horizontalno je postavljena. Postupak ponovimo u drugom položaju teodolita i očitamo – O_2 . Razlika očitavanja na letvi $l = O_2 - O_1$ daje dvostruku pogrešku horizontalne osi.



Slika 3. Ispitivanje pogreške horizontalne osi

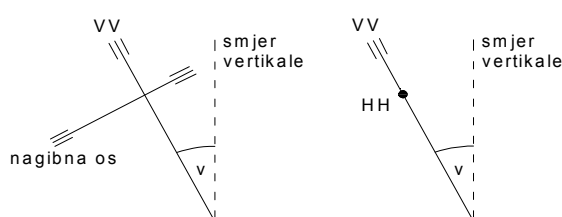
Pogreška je dana izrazom:

$$\operatorname{tg} i = \frac{l}{z \cdot d \cdot \operatorname{tg} f}$$

Prava projekcija točke T bit će na očitaniu letve $O = \frac{O_1 + O_2}{2}$. Viziramo očitavanje O zakretanjem alhidade sa vijkom za fini pomak, podižemo dalekozor do točke T, te ponovo viziramo točku dizanjem ili spuštanjem jednog kraja horizontalne osovine.

1.7.3 Pogreška glavne (vertikalne) osi

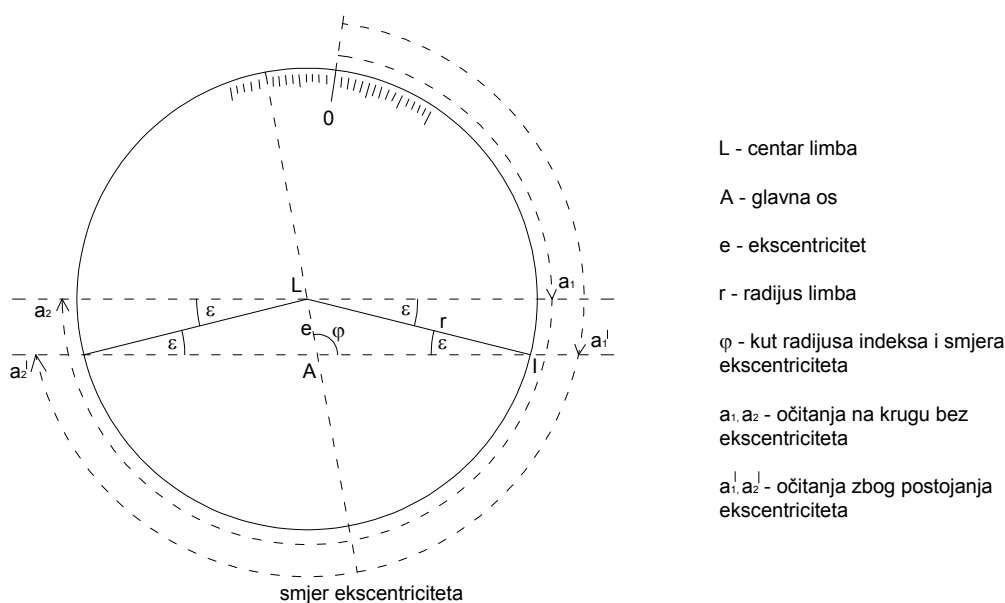
Pri mjerenju kutova glavna os mora, u prostoru, biti vertikalna. Pogreška glavne osi „v“ određena je kutom što ga zatvara glavna os sa smjerom vertikale. Posljedica pogreške glavne osi je nagib horizontalne osi (iako je $HH \perp VV$) kao i vizurne ravnine. Zbog toga se mjerenjem u dva položaja teodolita utjecaj pogreške ne može eliminirati. Zbog toga se ispunjenju uvjeta $LL \perp VV$, kao i samom horizontiranju teodolita mora posvetiti velika pažnja.



Slika 4. Pogreška glavne (vertikalne) osi

1.7.4 Pogreška ekscentriciteta horizontalnog kruga

Glavna os teodolita treba prolaziti kroz središte podjele horizontalnog kruga. Ako to nije slučaj, dolazi do pogreške zvane ekscentricitet središta kružne podjele horizontalnog kruga ili, kraće, ekscentricitet alhidade. Također, zbog ove pogreške dolazi i do neispravnog mjerenja pravca.



Slika 5. Pogreška ekscentriciteta horizontalnog kruga

Iznos pogreške očitavanja $\varepsilon = a' - a$. Iz trokuta L A I, prema sinusovom poučku, proizlazi:

$$e : \sin \varepsilon = r : \sin \varphi$$

$$\sin \varepsilon = \frac{e}{r} \sin \varphi,$$

a za male kuteve:

$$\varepsilon'' = \frac{e \cdot \rho''}{r} \sin \varphi$$

Iznos pogreške je minimalan za $\varphi = 0^\circ$ (180°), a maksimalan za $\varphi = 90^\circ$ (270°).

Čitanjem na dva dijametralno suprotna mjesta horizontalnog kruga, te uzimanjem aritmetičke sredine eliminira se utjecaj ove pogreške na mjereni horizontalni pravac.

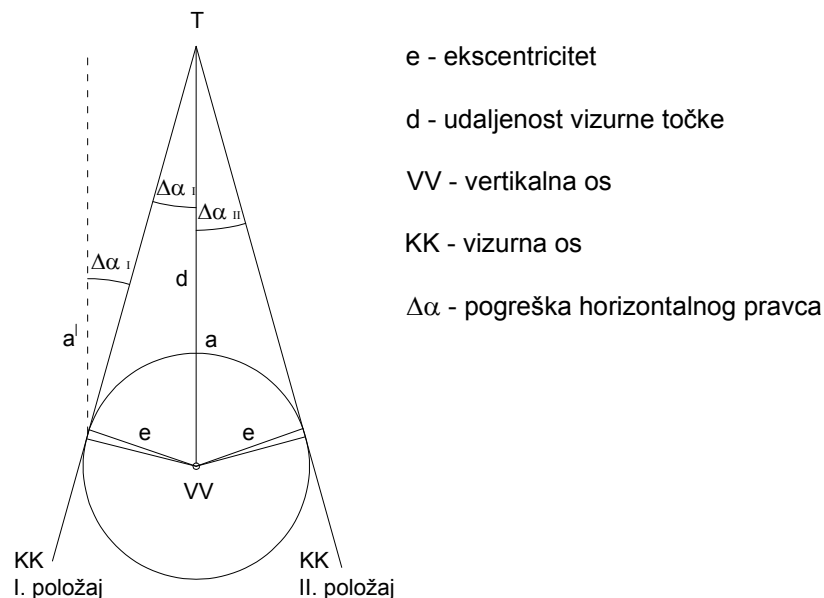
$$a_1' = a_1 + \varepsilon$$

$$a_2' = a_2 - \varepsilon$$

$$\frac{a_1' + a_2'}{2} = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

1.7.5 Ekscentricitet vizurne ravnine

Vizurna ravnina treba biti u prostoru vertikalna da bi ispravno mjerili kuteve. Međutim, u vizurnoj ravnini treba se nalaziti i glavna os teodolita. Ako vizurna ravnina ne prolazi kroz glavnu os, dolazi do pogreške ekscentriciteta vizurne ravnine. Pri okretanju alhidade vizurna ravnina tangira plašt valjka (umjesto pravog očitavanja pravca a očitava se pogrešni pravac a').



Slika 6. Ekscentricitet vizurne ravnine

U prvom položaju pravac je pogrešan za iznos:

$$\Delta\alpha_I = \frac{e}{d} \cdot \rho'' ,$$

a u drugom položaju za iznos:

$$\Delta\alpha_{II} = - \frac{e}{d} \cdot \rho''$$

Mjerenjem pravca u dva položaja teodolita i uzimanjem sredine eliminira se utjecaj ekscentriciteta vizurne osi.

1.8 ODREĐIVANJE STANDARDNOG ODSUPANJA PRAVCA, VIZIRANJA I OČITANJA PRECIZNOG TEODOLITA

Za određivanje standardnog odstupanja pravca, viziranja i očitavanja, služiti ćemo se preciznim teodolitom kojeg smo prije početka mjerenja rektificirali. Ispitivanje vršimo u laboratoriju gdje će nam signal kolimatora služiti kao vizurna marka. Prije početka rada moramo izvršiti slijedeće radnje:

- horizontirati teodolit
- izvršiti dioptriranje nitnog križa dalekozora
- izvršiti izoštravanje signala
- izvršiti dioptriranje okulara mikroskopa

1.8.1 Princip mjerenja

Izvršimo grubo viziranje signala u kolimatoru, te kod zakočene alhidade vijkom za fini pomak alhidade precizno viziramo signal s vertikalnom niti nitnog križa dalekozora. Nakon toga se očita pravac na vizirani signal. Pošto očitavanje vršimo na H_z krugu, treba obratiti pažnju da li se H_z krug nalazi u vidnom polju okulara za očitavanje (vijak za prebacivanje H_z i V kruga). Očitavanje pravca vrši se tako da poklapamo podjele na limbu pomoću mikrometričkog vijka, očitamo stupnjeve, minute i dijelove mikrometričke skale. Zatim pokvarimo poklapanje, ponovo poklapamo podjele na limbu i očitamo skalu mikrometra. Ovim postupkom završili smo jedno opažanje. Da bi izvršili drugo opažanje, potrebno je vijkom za fini pomak alhidade poremetiti vizuru, ponovo vizirati signal kolimatora i izvršiti očitavanje pravca na opisani način. Postupak se ponavlja 10 puta. Standardno odstupanje pravca (s_p) dobije se formulom:

$$s_p = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

Kako standardno odstupanje pravca bitno ovisi o standardnom odstupanju viziranja (s_v) i standardnom odstupanju očitavanja (s_o), proizlazi:

$$s_p^2 = s_v^2 + s_o^2$$

Standardno odstupanje očitavanja izračunavamo po formuli:

$$s_o = \pm \frac{s_k}{\sqrt{2}}$$

Standardno odstupanje jednog poklapanja:

$$s_k = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}$$

gdje je:

d – razlika između očitavanja skale mikrometra

n – broj opažanja

Standardno odstupanje viziranja:

$$s_v = \pm \sqrt{s_p^2 - s_o^2}$$

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU GEODETSKI ZAVOD

PRAKTIKUM

ISPITIVANJE PRECIZNOG TEODOLITA

IŠVERENJE IZVRŠIO:		DATUM:		INSTRUMENT:		NR.:	
BR. OČITANJE HZ KRUGA	ili OČITANJE HZ s sekundama	V	Vv	d s jed. skale mikrometra	dd		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
redna			Σ+	Σ		Σ	
			Σ-				

SREDNJA POGREŠKA PRAVCA:

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm \sqrt{\quad} = \quad$$

SREDNJA POGREŠKA JEDNE KOINCIDENCIJE:

$$m_k = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \pm \sqrt{\quad} = \quad \text{ s jed. skale mikrometra } = \quad$$

SREDNJA POGREŠKA OČITANJA:

$$m_o = \pm \frac{m_k}{\sqrt{2}} = \pm \frac{\quad}{\sqrt{2}} = \quad$$

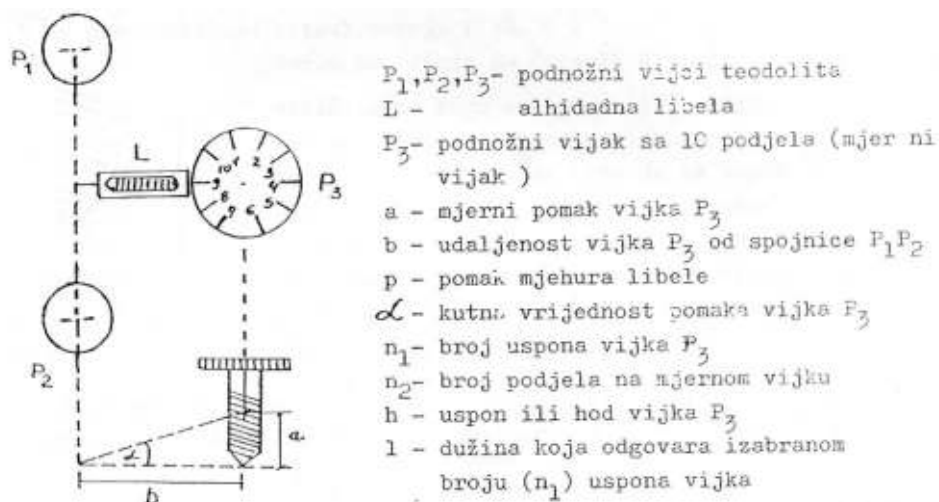
SREDNJA POGREŠKA VIZIRANJA:

$$m_v = \pm \sqrt{m_p^2 - m_o^2} = \pm \sqrt{\quad} = \quad$$

DATUM: ONJERIG:

Slika 7. Obrazac za ispitivanje preciznog teodolita

1.9 ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI ALHIDADNE LIBELE



Slika 8. Shema osjetljivosti alhidadne libele

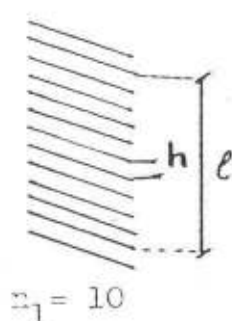
Nakon što je teodolit horizontiran, alhidadna libela postavi se tako da os libele bude u smjeru mjernog vijka P_3 , tj. okomita na spojnicu P_1P_2 . ta spojnica je okretna os oko koje se vrši zakretanje donjeg dijela teodolita zajedno s libelom. Vijkom P_3 dovodi se mjehur na lijevu stranu libele, te očita položaj lijevog (l_1) i desnog (d_1) kraja mjeheura. Pomičnim indeksom zabilježimo položaj na obodu mjernog vijka. Nakon toga pomiče se mjerni vijak za jednu podjelu njegovog oboda i to tako da se mjehur libele pomiče u desnu stranu. Kad se mjehur umiri, očita se položaj lijevog (l_2) i desnog (d_2) kraja mjeheura.

Pomak mjeheura za libelu s kontinuiranom podjelom računa se po izrazu:

$$p = \frac{d_2 + l_2}{2} - \frac{d_1 + l_1}{2}$$

Veličina b (vidi sliku 8.) mjeri se tako da se instrument postavi na papir na kojem će ostati otisci podnožnih vijaka. Spoje se otisci vijaka P_1 i P_2 , a duljina okomice između njihove spojnice i otisaka vijka P_3 je veličina b .

Uspun vijaka h mjeri se tako da se mjerni vijak odviše s instrumenta i zarotira preko indiga postavljenog na papir. Na otisku navoja vijka P_3 izmjeri se dužina l , koju čini n_1 razmaka između crtica koje predstavljaju otisak navoja (slika 9.).



Slika 9. Mjerenje uspona vijka

Uspun se računa po formuli $h = \frac{l}{n_1}$, a predstavlja veličinu za koju se spusti ili podigne alhidada pri punom okretu mjernog vijka.

Veličina a (slika 8.) određuje se tako da se uspon vijka h podijeli s brojem podjela na njegovom obodu (n_2), a predstavlja veličinu za koju se podigne ili spusti alhidada pri okretu mjernog vijka za jednu podjelu.

$$a = \frac{h}{n_2} = \frac{1}{n_1 n_2},$$

gdje je:

$$n_2 = 10$$

Veličina α predstavlja promjenu nagiba osi libele pri pomaku mjehura za veličinu p , tj. kutna vrijednost mjernog pomaka vijka P_3 .

$$\alpha'' = \frac{a}{b} \cdot \rho''$$

Osjetljivost libele ε je kutna vrijednost kod pomaka mjehura libele za jedan pars (2 mm).

$$\varepsilon'' = \frac{\alpha''}{p}$$

PRAKTIKUM

ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI ALHIDADNE LIBELE

MJERENJE (VRŠIO): _____ DATUM: _____ INSTRUMENT: _____ NR: _____

MJERENJE VELIČINE b (UDALJENOSTI OSI MJERNOG VIJKA OD OKRETNE OSI)

MJERENJE USPONA VIJKA h			
	h_1	h_2	
1. mjerenje			
2. mjerenje			
3. mjerenje			
sredina			

Red.	I. položaj mjehura		II. položaj mjehura		$L_2 - L_1$	$d_2 - d_1$	p	ε''	γ	γ'	h_1	n_1
	L_1	d_1	L_2	d_2								
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

$\rho'' = 206\,260$
 $\varepsilon'' = \frac{\alpha''}{p}$
 $m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} = \pm \sqrt{\quad} = \pm \quad$
 $M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\quad} = \pm \quad$
 $\varepsilon_{gr}'' = \quad$

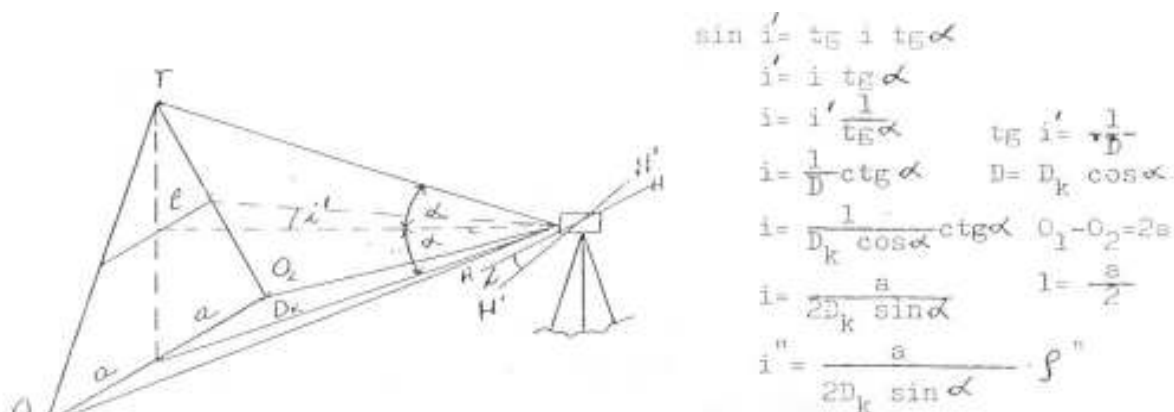
DATUM: _____ OVIJENIO: _____

Slika 10. Obrazac za određivanje osjetljivosti alhidadne libele

1.10 ISPITIVANJE POGREŠKE HORIZONTALNE OSI

Ispitivanje pogreške horizontalne osi vrši se u laboratoriju. Postupak je sljedeći:
 U prvom položaju teodolita viziramo marku koja se nalazi na zidu. Izvršimo očitavanje visinskog (elevacijskog) kuta (ili zenitne daljine) $\alpha_1(z_1)$, ne dirajući alhidadu spuštamo

dalekozor do skale smještene na podu ispod marke. Marka se nalazi na depresijskom kutu jednakom elevacijskom kutu α . Na skali izvršimo očitavanje O_1 . Postupak ponavljamo u drugom položaju teodolita, te dobijemo očitavanje O_2 i α_2 (z_2). Ako mjerimo zenitne daljine, visinski kut jednak je $\alpha = 90^\circ - z$. Razlika očitavanja na skali je $O_1 - O_2 = 2a$. Potrebno je izmjeriti dužinu od horizontalne osi teodolita do skale (D_k), (vidi sliku 11.).



Slika 11. Shema ispitivanja pogreške horizontalne osi

Konačna pogreška horizontalne osi dobije se po formuli:

$$i'' = \frac{a}{2D_k \sin \alpha} \cdot \rho''$$

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU GEODETSKI ZAVOD

PRAKTIKUM

ISPITIVANJE POGREŠKE HORIZONTALNE OSI

MIJERENJE OVRŠIO: _____ DATUM: _____ INSTRUMENT: _____ NR: _____

$$i'' = \frac{a}{2 \cdot D_k \cdot \sin \alpha} \cdot \rho''$$

$\alpha_1 (z_1) =$ $\alpha_2 (z_2) =$
 $O_1 =$ $O_2 =$
 $D_k =$
 $2a = O_1 - O_2 =$
 Pogreška horizontalne osi:
 $i'' = \frac{a}{2 \cdot 206\,265} =$

DATUM: _____ OVRŠIO: _____

Slika 12. Obrazac za ispitivanje pogreške horizontalne osi

1.11 MJERENJE KUTOVA REPETICIJSKOM METODOM

Repeticijska metoda mjerenja kutova upotrebljava se kada radimo s instrumentom koji ima relativno veliku točnost viziranja, a malu točnost očitavanja limba (grubi podatak čitanja). Ovim načinom rada povećavamo preciznost mjerenog kuta, a za n (broj repeticija) smanjujemo pogrešku očitavanja.

Postupak mjerenja:

- instrument se centrira i horizontira
- otkoči se alhidada i grubo vizira lijeva marka (L)
- zakoči se alhidada, te vijkom za fini pomak alhidade fino viziramo L marku
- očitamo pravac na L marku (horizontalni krug) O_1
- otkoči se alhidada, zakrećemo je u smjeru kretanja kazaljke na satu do desne marke (D)
- zakočimo alhidadu, te vijkom za fini pomak alhidade fino viziramo marku D
- otkočimo repeticijski uređaj, okrećemo alhidadu zajedno s krugom u smjeru kretanja kazaljke na satu dok se u vidno polje ne pojavi L marka
- zakoči se repeticijski uređaj i vijkom za fini pomak repeticije fino viziramo L marku

Ovo je postupak za jednu repeticiju. Postupak se ponavlja n repeticija. Na kraju n -te repeticije, kada je vizirana D marka, očitamo pravac na horizontalnom krugu O_2 .

Isti postupak ponavljamo u suprotnom smjeru kretanja kazaljke na satu. Na početku se vizira D marka (očitanje O_3), a na kraju n -te repeticije izvršimo očitavanje na L marku (O_4).

Kut između lijeve i desne marke dobije se po formuli:

$$\alpha_{LD} = \frac{O_2 - O_1}{n} \quad \alpha_{DL} = \frac{O_3 - O_4}{n}$$

$$\alpha = \frac{LD + DL}{2} \quad \alpha_{LD} = \alpha_{DL}$$

PRAKTIKUM

MJERENJE KUTOVA REPETICIJSKOM METODOM

SERIJA		OČITANJE		METODOM		α
LD	DL	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	
I	LD	O ₁				
	DL	O ₂				
	LD	O ₃				
	DL	O ₄				
II	LD	O ₁				
	DL	O ₂				
	LD	O ₃				
	DL	O ₄				
III	LD	O ₁				
	DL	O ₂				
	LD	O ₃				
	DL	O ₄				

α =

α_{LD} =

α_{DL} =

DATA: _____

Slika 13. Obrazac za mjerenje kutova repeticijskom metodom

Pošto smo izmjerili paralaktički kut, možemo odrediti i duljinu od instrumenta do bazisne letve na čije smo marke vizirali.

$$D = \frac{b}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2},$$

gdje je:

$b = 2 \text{ m}$ (duljina bazisne letve)

α = paralaktički kut

1.12 MJERENJE VERTIKALNOG KUTA S PRECIZNIM TEODOLITOM

Vertikalni kut je kut čiji krakovi leže u vertikalnoj ravnini. Ako jedan krak leži horizontalno, govorimo o visinskom kutu (ϕ), a ako jedan krak leži u vertikali, govorimo o zenitnoj udaljenosti (z).

Mjerenje vertikalnog kuta radimo s preciznim teodolitom, čiji dalekozor ima nitni križ s tri horizontalne niti (gornja, srednja i donja nit).

U prvom položaju instrumenta viziramo signal s gornjom, srednjom i donjom niti, te istim redom upisujemo u formular. U drugom položaju instrumenta redoslijed viziranja je donja, srednja, pa gornja nit, te se tim redom upisuju opažanja u formular.

Napomena: u drugom položaju dalekozora treba uzeti u obzir da su niti, gornja i donja, zbog okretanja dalekozora zamijenjene u svom položaju.

Nakon n girusa izračunava se srednja vrijednost vertikalnog kuta.

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU GEODETSKI ZAVOD

PRAKTIKUM

MJERENJE VERTIKALNIH KUTEVA									
MJERENJE IZVRŠIO:		DATUM:		INSTRUMENT:		NR.:			
girs	nit	P O L O Ž A J				Skica vizurne marke:			
		I	II	III	IV				
1	G								
	S								
	D								
2	G								
	S								
	D								
3	G								
	S								
	D								
girs	gornja nit	v	vv	srednja nit	v	vv	donja nit	v	vv
1									
2									
3									
sr:		+	-	sr:	+	-	sr:	+	-
Vertikalni kut $z =$		$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-3}} = \pm \sqrt{\quad} = \pm \quad$ $M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\quad} = \pm \quad$							
TRIGONOMETRIJSKO MJERENJE VISINSKIH RAZLIKA									
Vertikalni kut:		$z =$		Skica terenske izmjere:					
Visina instrumenta:		$i =$							
Visina signala:		$r =$							
Visina stajališta:		$H_S =$							
Udaljenost:		$D =$							
$H_T = H_S + D \operatorname{ctg} (z) + i - r =$									
DATUM:					OVJERIO:				

Slika 14. Obrazac za mjerenje vertikalnih kutova

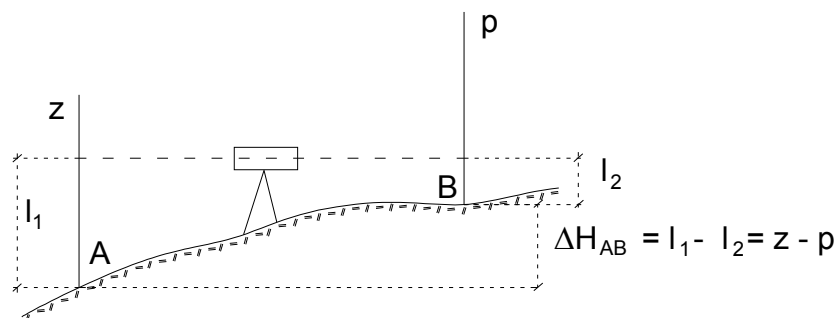
2. NIVELIRI

Nivelir je osnovni instrument za mjerenje visinskih razlika u geometrijskom nivelmanu.



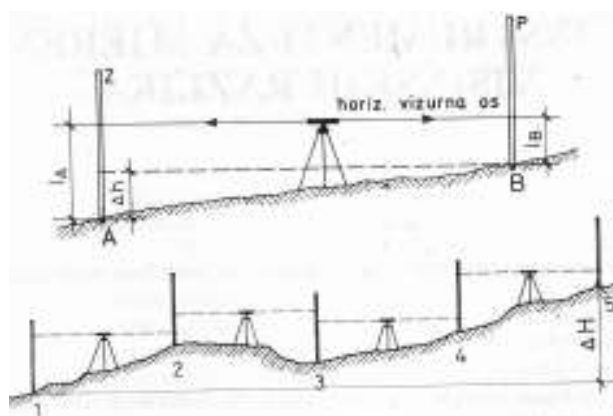
Slika 15. Nivelir

Osnovni princip bazira se na djelovanju sile teže, odnosno dovođenje vizurne osi dalekozora u horizontalni položaj. To se postiže primjenom libele ili kompenzatora. Korištenjem nivelira, visinske razlike se dobivaju iz direktnih mjerenja.



Slika 11. Mjerenje visinske razlike

Korištenjem nivelira, visinske razlike se određuju očitanjem na nivelmanskim letvama koje se postavljaju vertikalno pomoću dozne libele na točke na kojima se određuju visinske razlike. Pri tome, vizurna linija treba biti u horizontalnoj ravnini. Nivelir se postavlja na stativ u pravilu u sredinu između točaka čija se visinska razlika određuje.



Slika 12. Mjerenje visinske razlike točaka niveliranjem iz sredine

Za određivanje visinske razlike između udaljenih točaka potrebno je postupno prenositi visine od točke do točke.

Visina neke točke na Zemljinoj površini je udaljenost te točke od srednje nivo plohe mora. Nivo ploha mora određuje se dugogodišnjim opažanjem s instrumentima – mareografima.

Nivelire dijelimo po točnosti na osnovi srednje visinske razlike po 1 km obostranog niveliranja:

- niveliri najviše točnosti $\leq 0,5$ mm/km
- niveliri visoke točnosti $\leq 1,0$ mm/km
- niveliri više točnosti $\leq 3,0$ mm/km
- niveliri srednje točnosti $\leq 8,0$ mm/km
- obični ili jednostavni niveliri

Podjela nivelira po namjeni:

- precizni niveliri
- inženjerski niveliri
- građevinski niveliri

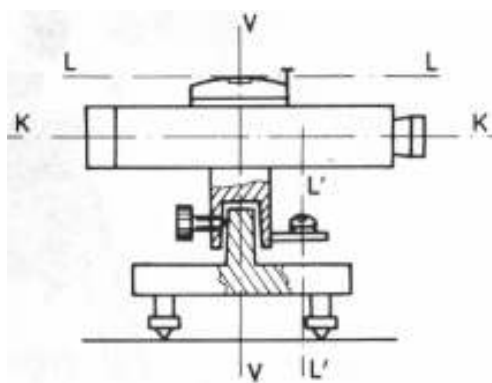
Podjela nivelira prema načinu horizontiranja vizurne linije:

- niveliri s libelom
- digitalni niveliri

2.1 OSNOVNI DIJELOVI NIVELIRA I NJIHOVA FUNKCIJA

Donji dio nivelira sastoji se od podnožne ploče s tri podnožna vijka, koji služe za horizontiranje. Neki tipovi nivelira (uglavnom starije konstrukcije) imaju cilindričan podnožni dio s konkavnim sfernim ploham koje direktno naliježe na sfernu glavu stativa. Kod nivelira može postojati horizontalni krug; u pravilu s malom točnošću očitavanja. Podnožni dio se pomoću centralnog vijka pričvrsti za glavu stativa.

Gornji dio nivelira okreće se oko vertikalne osovine. Glavni dio je dalekozor unutar kojeg je smješten kompenzator. Kod starijih konstrukcija na dalekozoru se nalazi nivelacijska libela. Gornji dio se može zakočiti pomoću kočnice, a vijkom za fini pomak može se zakretati za male iznose.



Slika 13. Nivelir s cilindričnim sustavom vertikalne osi

Optički mikrometar služi za preciznije očitavanje mjerne letve i nalazi se ispred objektiva dalekozora; ili kao dodatak ili kao njegov sastavni dio.

2.1.1 Niveliri s kompenzatorom

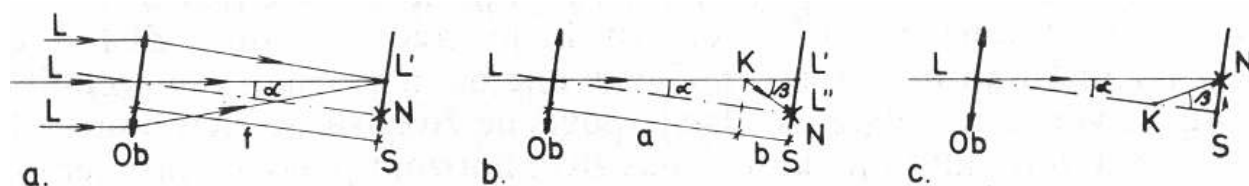
U današnjoj primjeni najviše se koriste niveliri s kompenzatorom koji omogućuje automatsko horizontiranje geodetske vizurne linije u radnom području kompenzatora.

Kompenzator je optičko-mehanički sklop koji unutar područja rada (hoda) automatski kompenzira utjecaj nagiba vertikalne osi na položaj vizurne osi, te je dovodi horizontalno u prostoru. Kompenzator radi na principu fizikalnog njihala. Kompenzator je u većini nivelira smješten unutar kućišta dalekozora, između objektiva i nitnog križa.

2.1.2 Princip kompenzacije

Prva konstrukcija nivelira, gdje se kao kompenzator primjenjuje optički element na njihalu, datira od 1950.g. (prvi nivelir izrađen je u tvornici ZEISS – Opton, Oberkochen, ondašnja Zapadna Njemačka).

Zadatak kompenzatora je da pri nagnutom dalekozoru (tj. nagnutoj vertikalnoj osi) unutar područja kompenzacije, obično od 5' do 30', automatski otkloni zrake snopa tako da vizurna linija bude u prostoru horizontalna.



Slika 14. Osnovni princip kompenzacije

Kompenzator djeluje tako da se slika točke L na letvi (očitanje pri horizontalnoj vizurnoj liniji), neovisno o nagibu dalekozora, preslikava u horizontalnoj niti nitnog križa (N). Slika a. prikazuje preslikavanje kada je vertikalna os u prostoru vertikalna. Slika b. prikazuje preslikavanje kada je dalekozor (odnosno vertikalna os) nagnut za kut α . U tom slučaju kompenzator otklanja snop svjetlosti za kut β da bi se točka L preslikala u nitni križ.

Vizura je u prostoru horizontalna. Prema slici c. proizlazi i uvjet kompenzacije, koji će biti:

$$L'N \approx f \cdot \alpha = b \cdot \beta$$

$$\beta = f/b \cdot \alpha = k \cdot \alpha \quad \text{jednadžba kompenzacije}$$

f = žarišna daljina objektiva

a = udaljenost kompenzatora od objektiva

b = udaljenost kompenzatora od nitnog križa

α = nagib dalekozora

β = otklon zrake djelovanjem kompenzatora

Slijedi:

$$k = f/b = \beta/\alpha$$

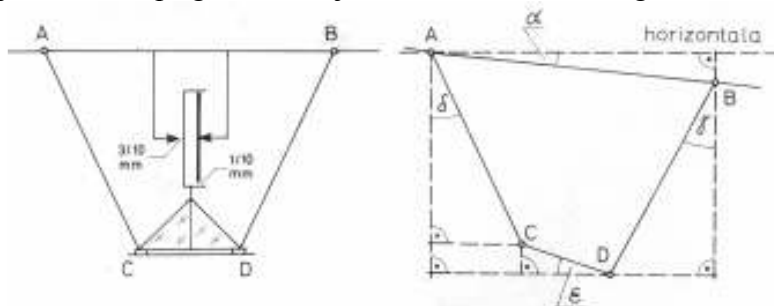
gdje se k naziva faktorom kompenzacije.

Veličina faktora kompenzacije ovisi o položaju samog kompenzatora unutar dalekozora. Položaj kompenzatora proizlazi iz jednadžbe kompenzacije:

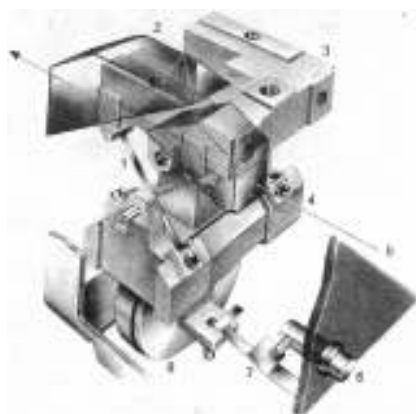
$$b = f/k \quad ; \quad a = f \cdot (k-1)/k$$

Uređaj za kompenzaciju je složene optičko – mehaničke građe, gdje se kompenzatorom naziva samo pomični element. Kao pomični optički elementi koriste se: prizme za refleksiju (pravokutna, krovna, sustav prizama), ravno zrcalo, kutno zrcalo, leća, te u nekim slučajevima i tekućina. Unutar samog kompenzatora nalazi se i optički sustav od više optičkih elemenata koji su nepomični.

Pomični optički element obješen je uz pomoć tankih žica, te djeluje kao njihalo. Za prigušenje njihaja koristi se prigušivač, koji može biti: zračni, magnetski ili tekućina.



Slika 15. Princip optičko-mehaničke kompenzacije nivelira Ni 2



1. elastične vrpce
2. krovna prizma
3. okvir za pričvršćenje
4. njihalo s prizmom
5. prolaz zrake svjetlosti
6. tipka za kontrolu kompenzatora
7. opruga
8. zračni prigušivač

Slika 16. Shematski presjek kompenzatora nivelira WILD NA 2

Po svojem položaju kompenzatori se mogu nalaziti:

- između objektiva i nitnog križa
- između pozitivnog i negativnog člana objektiva
- unutar dalekozora gdje je kompenzator uređaj za izoštravanje slike
- ispred objektiva

Današnji niveliri, najčešće, imaju kompenzator između objektiva i nitnog križa.

2.2 POGREŠKE NIVELIRA

Kao i kod teodolita tako i kod nivelira, ispituje se ispravnost pojedinih osi: ispravnost glavne osi, vizurne osi, osi kružne libele.

Glavna ili vertikalna os nivelira za vrijeme mjerenja mora biti vertikalna. Vizurna os mora biti u prostoru horizontalna. Os kružne libele treba biti paralelna s glavnom osi.

Kod niveliranja glavni uvjet nivelira je da pri vertikalnom položaju glavne osi vizurna os mora biti u prostoru horizontalna. Ako uvjet nije zadovoljen, kao posljedica je pogreška visinske razlike pri nejednakim udaljenostima nivelmanske letve od nivelira. Svi ostali uvjeti su sporedni.

2.3 ISPITIVANJE I REKTIFIKACIJA NIVELIRA S KOMPENZATOROM

- Rektifikacija kružne libele

Uvjet kružne libele je da os libele bude paralelna s glavnom osi (L'L' II VV).

Ispitivanje se izvodi na sljedeći način: u prvom položaju nivelira podnožnim vijcima vrhunimo libelu. Od toga položaja zakrenemo dalekozor (zajedno s libelom) za 180° . Ako libela ne vrhunje, pola otklona ispravljamo korekcijskim vijcima libele, a pola otklona podnožnim vijcima.

- Provjera funkcije kompenzatora

Ova provjera podrazumijeva ispitivanje da li kompenzator koji je njihalo obavlja svoju funkciju, tj. da li njihalo njiše ili je kojim slučajem zakočeno.

Nivelir postavimo na stativ s jednim podnožnim vijkom u smjeru letve i horizontiramo kružnu libelu. Nakon izoštravanja slike letve, zakrećemo podnožni vijak, tj. pomaknemo libelu do ruba marke. Ako je kompenzator (njihalo) u funkciji, slika letve u odnosu na nitni križ će se pomaknuti i vratiti u prvobitni položaj. Ponovimo radnju zakretanjem vijka u drugi smjer i provjerimo njihalo.

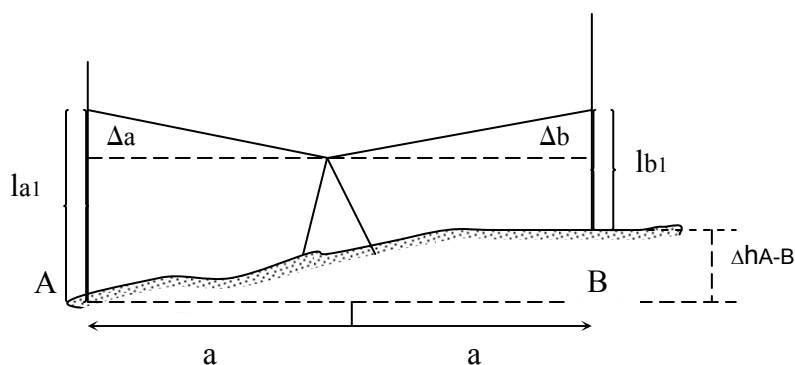
- Ispitivanje i rektifikacija glavnog uvjeta

Kada je glavna os nivelira u prostoru vertikalna (vrijedi za male pomake glavne osi unutar radnog područja kompenzatora) kompenzator treba biti u položaju da vizurna os bude u prostoru horizontalna. Terenski postupak ispitivanja izvodi se niveliranjem "iz sredine i s kraja".

Na terenu stabiliziramo dvije točke A i B na razmaku od 50-60 m (poželjno je na točkama postaviti nivelmansku papuču).

Nivelir postavimo u sredinu, očitamo odsječak na letvama A i B, izračunamo visinsku razliku $\Delta h_{A-B} = l_a - l_b$.

Ako postoji pogreška vizurne osi (nije horizontalna) visinska razlika je ispravna budući da je nivelir u sredini razmaka, te su Δa i Δb jednake veličine.

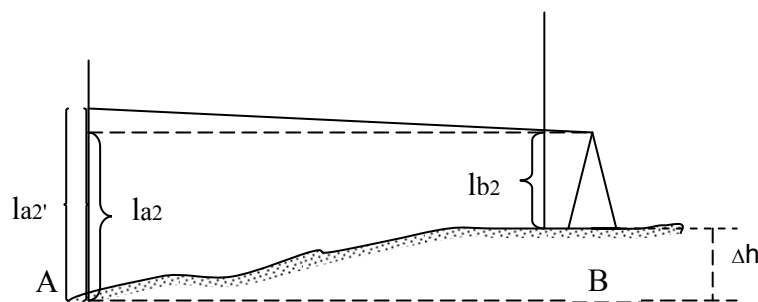


Slika 17. Niveliranje „iz sredine“

Nivelir prenesemo što bliže jednoj letvi (npr. B) na minimalnu duljinu izoštravanja, u smjeru spojnice dviju letava. Očitavanje na letvi B može se smatrati ispravnim jer je pogreška očitavanja zbog blizine letve zanemariva. Ispravno očitavanje na daljoj letvi A treba iznositi:

$$l_{a2} = l_{b2} + \Delta h_{A-B}$$

ili općenito $la_2 = lb_2 - (\pm \Delta H_{A-B})$, ako očitavanje ne iznosi la_2 nego la_2' tada korekcijskim vijcima nitnog križa namjestimo horizontalnu nit na ispravno očitavanje na letvi.



Slika 18. Niveliranje „s kraja“

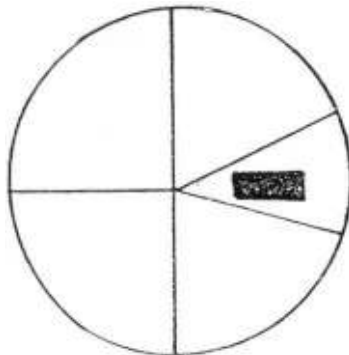
2.4 DODACI NIVELIRU

- Plan paralelna ploča kao mikrometar može biti ugrađena ispred objektiva dalekozora ili samostalno kao dodatak ispred objektiva. Primjenjuje se kod nivelira najviše točnosti ili kod preciznih nivelira
- Objektivna prizma za otklon zrake svjetlosti za 90° . Primjenjuje se za dovođenje vizurne osi u vertikalnu ravninu
- Predleća kao dodatak objektivu radi viziranja vrlo bliskih točaka ili očitavanja lineala.
- „Slomljeni“ okular za promatranje kroz dalekozor odozgo
- Dodatak za osvjtljenje nitnog križa
- Laserski okular za projekciju nitnog križa laserskom svjetlošću kod mjerenja u tamnim prostorijama (npr. tunel i dr.)
- Izmjenljivi okulari za različita povećanja dalekozora

2.5 ODREĐIVANJE STANDARDNOG ODSTUPANJA VIZIRANJA, VIZURNE OSI I HORIZONTIRANJA VIZURNE OSI PRECIZNOG NIVELIRA S OPTIČKIM MIKROMETROM

Letva na koju vršimo viziranje ima dvije podjele nanese na invarsku traku. Podjele su polucentimetarske i pomaknute za konstantan iznos ($k = 60650$).

Viziranje podjele letve: s nitima klina nitnog križa nivelira obuhvatimo jednu crticu podjele letve (slika 19.), što postizemo okretanjem bubnja mikrometra. Buba mikrometra povezan je s planparalelnom pločom ispred objektiva dalekozora. Očitavanje se sastoji od očitavanja obuhvaćene podjele na letvi i očitavanja na skali bubnja mikrometra.



Slika 19. Viziranje podjele letve

Postupak mjerenja: viziramo podjelu prve letve (lijevu) tj. djelovanjem na vijak za fini pomak alhidade i na bubanj mikrometra obuhvatimo, s klinom nitnog križa, jednu crticu podjele na letvi. Očita se letva i mikrometar. Vijkom za fini pomak alhidade pomaknemo vizuru na drugu podjelu (desnu), te ponovimo postupak viziranja i očitavanja. Razlika očitavanja desne (II) i lijeve (I) podjele daje nam konstantu u granicama od $k = 60650 \pm 6$. Postupak ponavljamo 10 puta.

Standardno odstupanje viziranja:

$$s_v^2 = \frac{1}{2} \cdot (s_{v1}^2 + s_{v2}^2),$$

gdje su:

s_{v1} i s_{v2} odstupanja viziranja na I. i II. podjelu letve.

PRAKTIKUM

ISPITIVANJE PRECIZNOG NIVELIRA

I. podjela			II. podjela			konstanta	Srednja pogreška viziranja (m)
LETVA	V	VV	LETVA	V	VV		
1							$m_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{v_i^2}{n-1}} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \dots$ $m_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{v_i^2}{n-1}} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \dots$ $m^2 = \frac{1}{2} (m_1^2 + m_2^2) = \dots$ $m = \sqrt{m^2} = \dots$
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

Srednja pogreška viziranja (m):

$m_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{v_i^2}{n-1}} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \dots$ $m_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{v_i^2}{n-1}} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \dots$

$m^2 = \frac{1}{2} (m_1^2 + m_2^2) = \dots$ $m = \sqrt{m^2} = \dots$

Srednja pogreška horizontaliziranja vizurne osi (m):

$m_1^2 = m_1^2 - m_2^2 = \dots$ $m_2 = \dots$ $m = \dots$

$m = \dots$ $m_1 = \dots$ $m_2 = \dots$

Slika 20. Obrazac za ispitivanje preciznog nivelira

Drugi dio opažanja sastoji se u određivanju standardnog odstupanja vizurne osi. Za određivanje ovog odstupanja potrebno je u postupak mjerenja uključiti nivelacijsku libelu. Postupak mjerenja je identičan prije navedenom, s razlikom što je potrebno, prije svakog očitavanja podjele letve, elevacijskim vijkom navrhnuti nivelacijsku libelu (vrhunimo nivelacijsku libelu, viziramo prvu podjelu letve, očitamo, viziramo drugu podjelu letve, „poremetimo“ libelu – ponovno je vrhunimo, viziramo, očitamo letvu i bubanj mikrometra). Postupak ponavljamo 10 puta.

Standardno odstupanje vizurne osi:

$$s_{v0}^2 = \frac{1}{2} \cdot (s_{v01}^2 + s_{v02}^2),$$

gdje su:

s_{v01} i s_{v02} odstupanja vizurne osi na I. i II. podjelu letve.

Standardno odstupanje vizurne osi sastoji se od standardnog odstupanja viziranja s_v i standardnog odstupanja horizontiranja vizurne osi s_L :

$$s_{vo}^2 = s_v^2 + s_L^2$$

Standardno odstupanje horizontiranja:

$$s_L = \pm \sqrt{s_{vo}^2 - s_v^2}$$

Kutna vrijednost standardnog odstupanja horizontiranja vizurne osi dobije se formulom:

$$s_L'' = \frac{s_L}{s} \cdot \rho''$$

gdje je:

s udaljenost letve od nivelira.

2.6 ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI NIVELACIJSKE LIBELE

Za određivanje osjetljivosti nivelacijske libele služit ćemo se nivelirom s čvrstim dalekozorom i elevacijskim vijkom.

PRAKTIKUM

ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI NIVELACIJSKE LIBELE

POSJEDNIK ZAKAZA			DATUM		NIVELIRANJE		SV.		
RED.	ODTAKA NIVELIRA		L ₁ -L ₂	D ₁ -D ₂	P	O ₁ -O ₂	s''	V	VV
	L ₁	D ₁							
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

LIBELA SA DVA OČITANJA

$$p = \frac{L_1 - L_2 + (O_1 - D_1)}{2}$$

s =

Površina =

$E_{s''} = \frac{s}{\rho''}$

LIBELA SA DVA OČITANJA

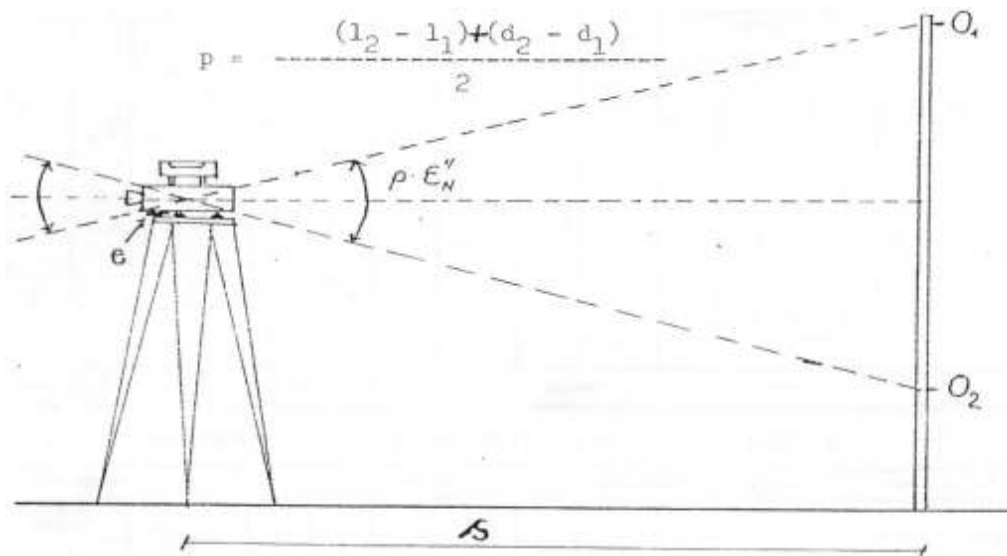
$$s'' = \frac{O_1 - O_2}{p - s}$$

$m = \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}}$

$M = \frac{1}{\sqrt{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{10-1}} = \frac{1}{3}$

Slika 22. Obrazac za određivanje osjetljivosti nivelacijske libele

Na udaljenosti s od nivelira postavi se letva vertikalno u prostoru (s se može odrediti Reichenbachovim daljinomjerom). Mjehur nivelacijske libele dovodi se, pomoću elevacijskog vijka (e) na lijevu stranu libele i očita položaj lijevog (L_1) i desnog (D_1) kraja mjehura. Nakon toga očita se letva srednjom niti nitnog križa (O_1). Mjehur tada pomaknemo na desnu stranu libele i očita ponovno lijevi (L_2) i desni (D_2) kraj mjehura, a na letvi izvršimo očitavanje sa srednjom niti nitnog križa (O_2). Postupak se ponavlja 10 puta.



Slika 21. Prikaz mjerenja na letvu

Pomak mjehura p za libelu sa simetričnom podjelom računa se po formuli:

$$p = \frac{(l_2 - l_1) + (d_2 - d_1)}{2}$$

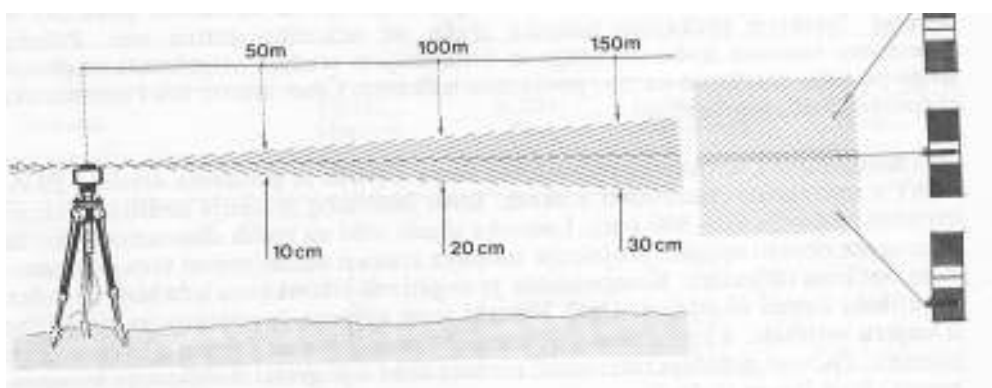
Osjetljivost nivelacijske libele izračuna se:

$$p = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{o_2 - o_1}{s}, \quad \varepsilon'' = \frac{o_2 - o_1}{s \cdot p} \cdot \rho''.$$

2.7. ROTACIJSKI LASERSKI NIVELIR

Posebne konstrukcije nivelira su rotacijski laserski niveliri s rotirajućom laserskom zrakom.

Princip rada: glava nivelira rotira oko glavne osi cca 10 okretaja u sekundi. Na njoj se nalaze dva otvora kroz koja se propušta polarizirana laserska zraka, čiji se izvor nalazi u laserskoj diodi. Jedna je zraka otklonjena za mali elevacijski kut od referentne ravnine a druga zraka je otklonjena za isti depresijski kut.



Slika 22. Odašiljanje i prijam laserskih snopova pomoću fotoelektričnog detektora

Fotodetektor se pomiče po nivelmanskoj letvi dok indikator ne bude na nuli tj. u referentnoj ravnini. Na prijamniku (fotodetektoru) nalaze se dvije fotodiode koje primaju svjetlosne impulse. Kada svjetlost padne na obje diode istim intenzitetom (ako je vrlo usko

područje) indikator pokazuje da se prijamnik nalazi u referentnoj ravni. Položaj prijamnika se visinski očita na centimetarskoj nivelmanskoj letvi.

U instrument može biti ugrađen kompenzator za automatsko dovodenje zrake u horizontalni položaj. Ovaj tip instrumenta se koristi kada treba u visinskom smislu snimiti veće površine, odrediti horizontalne i vertikalne ravnine pri gradnji i kontroli raznih objekata.

2.8. DIGITALNI NIVELIR

2.8.1 Građa digitalnog nivelira

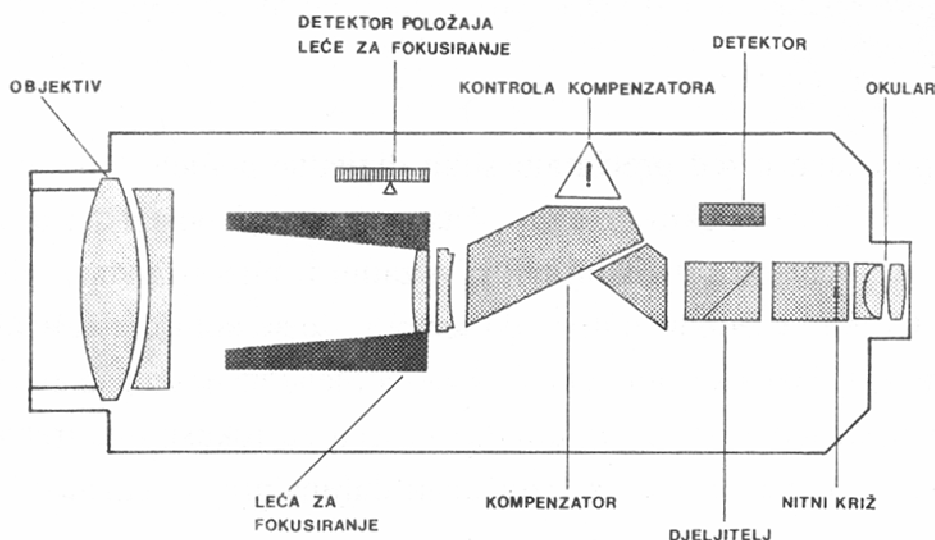
- Optika i mehanika

Digitalni nivelir izrađen je isto kao nivelir s kompenzatorom. Optički i mehanički dijelovi su istovjetni. S digitalnim nivelirom mogu se izvoditi i klasična vizualna opažanja.

Digitalni nivelir ima ugrađenu diobenu kocku koja ima ulogu djelitelja zračenja (svjetlosti). Diobena kocka dijeli infracrvenu svjetlost od vidljive. Infracrvenu svjetlost (sliku) otklanja na fotodiode poredane u jednom redu, a vidljivu svjetlost (sliku) otklanja na nitni križ. U redu se nalazi 256 fotodiode na približno 6,5 mm dužine.



Slika 23. Digitalni nivelir DiNi 22



Slika 24. Shematski presjek nivelira (glavni dijelovi)

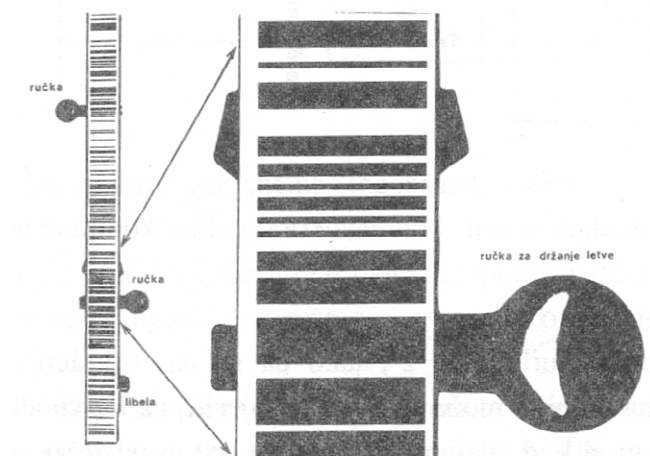
Pomoću detektora položaja leće za izoštravanje, grubo se određuje duljina do letve.

- Elektronika

Fotodiode pretvaraju sliku kodirane (digitalne) podjele u analogni videosignal. Signal odlazi na analogno-digitalni pretvarač, a zatim podaci odlaze u procesor na obradu. Poslije obrade mjernih signala u procesoru, na ekranu se prikazuje duljina do letve i očitavanje letve. Putem tipkovnice unose se različiti numerički podaci i upravlja radom nivelira.

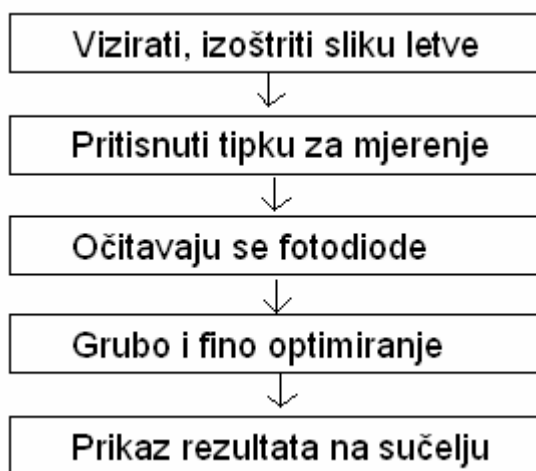
Mjerni podaci se registriraju u modulu za registraciju podataka. Nivelir ima niz programa koji omogućavaju kontrolu i obradu dobivenih podataka – očitavanje letve, duljina, broj točke, stajalište, visinske razlike i dr. Podaci se prenose na računalo za daljnju obradu.

Uz digitalni nivelir postoji specijalna letva, koja kao podjelu ima binarni kod – kodirana letva. S druge strane letve obično se nalazi klasična podjela u jedinicama za dužinu. Ta podjela služi pri vizualnom opažanju. Kodirane letve su duljine 1.35 m, 2.70 m, ili 4.05 m.



Slika 25. Nivelmanska letva s kodiranom podjelom

Kod digitalnog nivelira mjerni tog se izvodi na sljedeći način:



Slika 26. Mjerni tok kod digitalnog nivelira

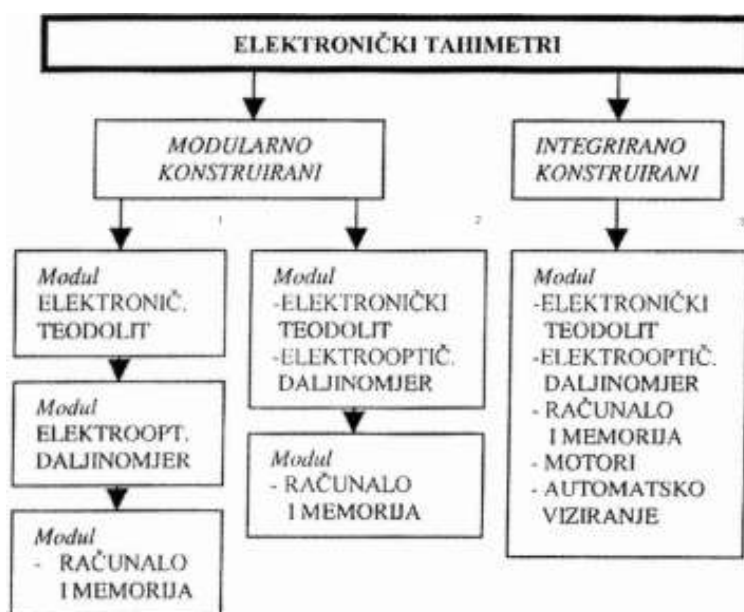
3. ELEKTRONIČKI TAHIMETRI

Elektronički tahimetri su geodetski instrumenti s elektroničkim očitavanjem horizontalnog i vertikalnog kruga, elektrooptičkim mjerenjem dužina, te automatskom registracijom mjerenih podataka. Sastavljeni su od tri osnovne jedinice: elektroničkog teodolita, elektrooptičkog daljinomjera i mikroprocesora.



Slika 27. Elektronički tahimetar Topcon GTS105N

U današnje vrijeme elektronički tahimetri izrađuju se integrirano, tj. u jednom modulu su elektronički teodolit, elektrooptički daljinomjer i unutarnja memorija s računalom³.



Slika 28. Principi konstrukcija tahimetara

Praktičnost i svojstva elektroničkih tahimetara mogu se dobro opisati s:

- dosegom daljinomjera
- točnošću mjerenja pravaca (kutova) i dužina
- vremenom trajanja jednog mjerenja
- programima za funkcioniranje tahimetra i za primjenu u geodetskim mjerenjima
- kapacitetom pohranjivanja mjernih podataka
- brojem mjerenja po jednom punjenju akumulatora

Početkom 90-ih godina 20. st. počinju se razvijati motorizirani tahimetri s automatskim traženjem reflektora. Taj su sustav proizvođači nazvali „jedan čovjek-mjerni sustav“ (engl. *on-man-system*), kod kojeg više nije potreban figurant za držanje reflektora. Mjeritelj, uz svoj posao, preuzima i ulogu držanja reflektora, te s točke na koju se mjeri instrumentu daje zapovijedi (upute) što treba mjeriti radiovezom preko upravljačke jedinice. Tako mjeritelj može u terensko računalo unijeti i sve informacije o mjernoj točki, koje su potrebne za zemljišni informacijski sustav tj. geoinformacijski sustav. To je princip tzv. kodirane izmjere detalja (Džapo, Lovrić, Šljivarić). Danas je kod svih elektroničkih tahimetara ostvaren neprekinuti digitalni tok podataka iz tahimetra u računalo i obrnuto, a pod time se podrazumijeva automatska digitalna registracija (zapis, pohranjivanje) mjerenja, daljnja obrada podataka i prikaz rezultata.

3.1 GRAĐA ELEKTRONIČKIH TAHIMETARA

Posljednjih godina znatno su se razvili svi tipovi elektroničkih tahimetara. Većim brojem elektroničkih tahimetara može se upravljati preko serijskog sučelja (engl. *interface*) (RS232, češće preko PCMCIA, a danas radiovezom engl. *bluetooth*) ili preko softvera u tahimetru. Svi elektronički tahimetri imaju kompleksne softvere u izborniku za redukcije, transformaciju i daljnju obradu podataka, te korisnik može razviti svoj softver i unijeti ga u tahimetar. Osim mjerenja dužina do reflektora ili refleksne folije, koaksijalnim tahimetrima može se mjeriti i bez reflektora, najčešće do 150 – 250 m. U velikom izboru pribora nalazi se laserski visak, upravljajuća svjetlost (eng. *position light*), grafički terenski zapisnik i dr., a upravljanje i dijagnostika pogrešaka u instrumentu može se obaviti radiovezom (engl. *bluetooth*), te telefonski (Internetom).

Široko područje rada u mjerenju zauzimaju mjerenja pomoću električnih osjetila (senzora) neelektričnih veličina, a tome se pribrajaju i geometrijske veličine, koje mjeritelj s tahimetrom određuje. U tom smislu, moderni tahimetar je višeosjetilni (engl. *multisensoric*) sustav sastavljen od optičkih, mehaničkih i elektroničkih dijelova. Instrumentom upravlja jedan ili više mikroprocesora, koji obavljaju različite zadatke.

Osjetila (senzori) u tahimetru mogu biti geodetska i pomoćna osjetila.

a) Geodetska osjetila (senzori)

Ta osjetila određuju geodetske veličine:

- horizontalni kut (H_z)
- vertikalni kut (V)
- kosa duljina (d')

Sastoje se od CCD- elemenata, fotodioda, luminiscentnih dioda, faznog mjerača i dr.

b) Pomoćna osjetila (senzori)

Pomoćna osjetila mjere nagib vertikalne osi tahimetra, temperaturu u instrumentu, temperaturu i tlak zraka, napon akumulatora, odstupanje cilja od optičke osi dalekozora (pri automatskom viziranju na cilj) i dr.

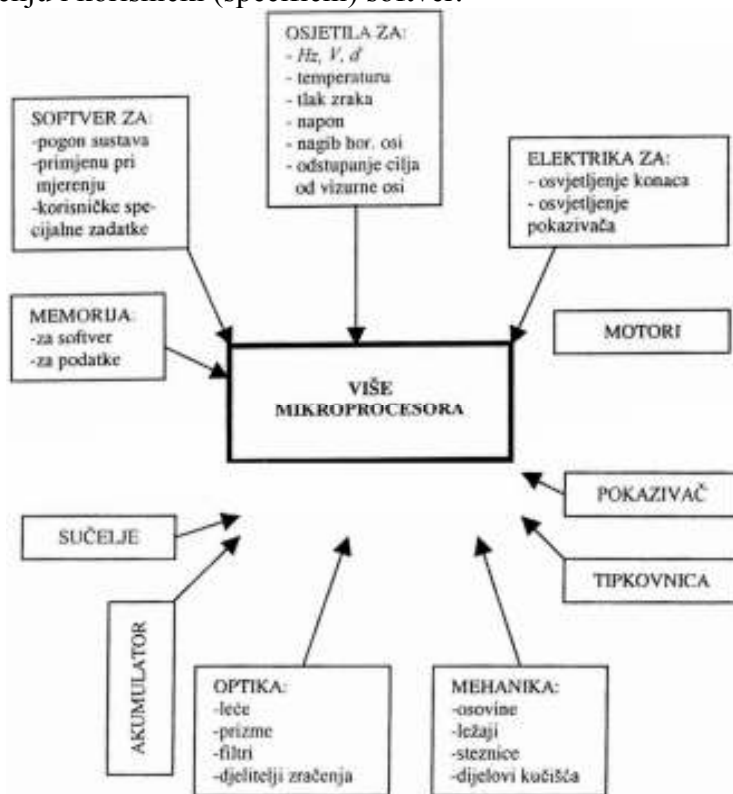
Geodetske mjerne veličine u elektroničkim tahimetrima sastoje se od originalnih (izravnih ili čistih) mjerenih veličina, mjerenja s pomoćnih osjetila i geometrijsko-fizikalnih korekcija. Na temelju mjerenja s pomoćnih osjetila i geometrijsko-fizikalnih korekcija popravljaju se originalne mjerene vrijednosti i prikazuju se na pokazivaču tahimetra. Osim

mjerjenja za korektorne veličine, pomoćna osjetila u tahimetrima imaju ulogu i pretvaranja upravljačkih zapovijedi iz digitalne ili analogne električne forme u mehanički rad ili svjetlost. Osjetila daju zapovijedi za pokretanje motora, za pretvaranje u mehanički rad ili daju zapovijedi za odašiljanje svjetlosti za osvjetljavanje niti u vidnom polju. Također, daju zapovijedi za osvjetljavanje pokazivača, za upravljačku svjetlost i dr. Za pokretanje dalekozora upotrebljavaju se elektronički upravljani istosmjerni motori i koračni (servo) motori.

Daljnje sastavnice tahimetra:

- mehanički dijelovi
- optički dijelovi
- izvori energije (akumulatori)
- tipkovnica
- sučelje – zaslon (engl. *display*)
- memorija
- softver

Mehaničke sastavnice sastoje se od osovine, ležaja za osovine, stezaljki, finog pogona, motora i dijelova kućišta. Optički dijelovi sastoje se od leća, prizama, filtera i djelitelja svjetlosti. Postoje različiti softveri kao što su softver za pogon sustava tahimetra, softver za primjenu pri mjerenju i korisnički (specifični) softver.



Slika 29. Sastavni dijelovi elektroničkih tahimetara

3.2 MJERENJE PRAVACA (KUTOVA) ELEKTRONIČKIM TAHIMETRIMA

Prilikom mjerenja pravaca odnosno kutova (kut je razlika očitavanja između dva pravca) s elektroničkim tahimetrima mjeritelj vizira na ciljnu točku i izvodi se elektronički zapis (registracija, pohranjivanje) mjerenja. Mjerni rezultat sastoji se od elektroničkog očitavanja horizontalnog i vertikalnog kruga, te uzimanja u obzir nagiba vertikalne osi instrumenta,

pohranjenih vrijednosti za korekcije i računanja definitivnog očitavanja kruga. Cijelo mjerenje odvija se automatski, a konačni rezultat očitavanja horizontalnog i vertikalnog kruga ispiše se na pokazivaču.

Očitanje horizontalnog i vertikalnog kruga izvedeno je, najčešće, pomoću kodiranih staklenih limbova. Kodirani limb sastoji se od svjetlosno propusnih i nepropusnih dijelova ili dijelova znatno različite propusnosti svjetla. Postoje limbovi s jednim ili više kodiranih tragova apsolutnog kodiranja. Limbovi se očitavaju pomoću linearnih CCD-a ili fotodioda propusnom svjetlosti ili nakon refleksije na limbu. Kod većine konstrukcija stakleni limb je čvrsto vezan za donji dio nepomičnog instrumenta. Dio za očitavanje horizontalnog kruga okreće se zajedno s gornjim okretnim dijelom instrumenta. Kod vertikalnog kruga to je obrnuto; dio za očitavanje je nepomičan, a stakleni limb okreće se zajedno s dalekozorom.

Za vrijeme digitalnog toka podataka u elektroničkim tahimetrima gotovo da nema grubih pogrešaka. Ako se zbog točnosti opaža u više girusa, može se između girusa elektronički pomaknuti očitavanje prema prvoj točki. U novije vrijeme proizvođači staklenih limbova znatno su smanjili dugoperiodijske pogreške podjele limba, te je zato odlučeno da se limb ne pomiče. To je znatno pojednostavilo konstrukciju i pojeftinilo proizvodnju. Danas, elektronički tahimetri nemaju mogućnost pomicanja limba (repeticije).

3.3 MJERENJE DUŽINA ELEKTRONIČKIM TAHIMETRIMA

Elektrooptičko mjerenje dužina elektroničkim tahimetrima izvodi se faznim i impulsnim načinom. Glavna razlika između ova dva načina je u tome što se pri faznom načinu za vrijeme mjerenja neprekidno odašilje mjerni signal, a pri impulsnom slijed impulsa.

U oba načina mjeri se stvarno vrijeme koje je mjernom signalu potrebno da prijeđe put naprijed i natrag po mjerenoj dužini. Uz poznatu brzinu mjernog signala u atmosferi određuje se duljina.

Većina daljinomjera radi na fazni način, jer su elektronički elementi u daljinomjerima postali manji i mogu raditi na višim frekvencijama (100 – 300 MHz), što omogućuje kraće valne duljine modulacije odaslanog signala, a samim time i veće točnosti mjerenja.

Mjerna nesigurnost s „umjerenim“ daljinomjerima iznosi približno 1 do 5 mm na duljinama do 300 m. Osim točnosti, kod kinematičkog mjerenja dužina važna je i brzina mjerenja dužina, te sinkronizacija mjerenja dužina i očitavanja horizontalnog kuta (H_z) i vertikalnog kuta (V), tj. da su približno istovremeno obavljena mjerenja dužina i očitavanja H_z i V .

Zbog prolaska kroz različite slojeve atmosfere, odnosno promjenom indeksa refrakcije, mijenja se brzina i smjer elektrooptičkih valova, pa je potrebno uvesti meteorološke korekcije uzevši u obzir atmosferske uvjete u trenutku mjerenja. Dodatno, putanja elektromagnetskog vala prolaskom kroz atmosferu nije pravac nego krivulja, pa je potrebno uvesti i dodatnu korekciju odnosno reducirati krivulju na njenu tetivu (korekcija zbog zakrivljenosti refrakcijske krivulje). Za računanje potrebnih korekcija potrebno je na terenu, kod instrumenta i vizurne marke, mjeriti temperaturu, tlak i vlagu.

Prilikom izrade, elektronički tahimetri se baždare (kalibriraju) na određeno stanje atmosfere – referentnu atmosferu (kod proizvođača elektroničkih tahimetara Topcon, referentna atmosfera je 15°C i 1013.25 hPa). Na osnovi mjerenja stvarnih parametara atmosfere, mikroračunalo u elektroničkim tahimetrima obavlja račun i korekciju uz prethodni upis podataka u memoriju mikroračunala. U memoriju mikroračunala unosi se korekturni ppm (engl. *part per million*) podatak (jedan dio na milijun dijelova), tzv. faktor mjerila, kojim se obavljaju sve korekcije duljine. Podatak za atmosfersku ppm korekciju, na osnovi izmjerene temperature i tlaka zraka (približno i iz nadmorske visine dužine), direktno se računa u tahimetru, a može se i uzeti iz dijagrama.

3.4 PROGRAMI U ELEKTRONIČKIM TAHIMETRIMA

U instrumentima su instalirani sljedeći programi (Leica TC600):

- unos koordinata stajališta
- orijentacija horizontalnog kruga
- iskolčavanje
- raspon (duljina između dvije točke)
- koordinate ciljne točke
- brzi postupak mjerenja
- prijenos podataka iz instrumenta u računalo i obrnuto

Program koji nudi modul „koordinate“ (Trimble serije 3303/3305):

- presjek natrag
- presjek naprijed
- priključak na visoku točku
- polarno određivanje točaka
- iskolčenje

Maske pokazivača (engl. *display*):

Maska 1:

- broj točke
- horizontalni kut (Hz)
- vertikalni kut (V)
- kosa udaljenost (d')

Maska 2 :

- broj točke
- horizontalni kut (Hz)
- vertikalni kut (V)
- visinska razlika (Δh)

Maska 3:

- broj točke
- istočna koordinata (Y)
- sjeverna koordinata (X)
- visina (H)

4. POGREŠKE TERESTRIČKIH MJERENJA

4.1 POGREŠKE PRI MJERENJU HORIZONTALNIH PRAVACA (KUTOVA)

Izvori pogrešaka pri mjerenju horizontalnih pravaca (kutova) su:

- pogreške instrumenta i pogreške ispitivanja instrumenta
- pogreške pri mjerenju (npr. loše centriranje instrumenta i signala)
- pogreške mjerenja (npr. slučajne i sustavne pogreške viziranja)
- vanjski uvjeti (refrakcija, titranje zraka)
- osobna pogreška opažača (fiziološke osobine oka)

Varijanca srednje vrijednosti horizontalnog kuta β , izračunatog pomoću horizontalnih pravaca izmjerenih u n ponavljanja, računa se po formuli:

$$\sigma_{\beta}^2 = \frac{\sigma_v^2 + \sigma_{o\check{c}.}^2}{n} + 2\sigma_{hor.}^2 \cdot ctg^2 z + (\rho'')^2 \frac{4\sigma_c^2}{s^2} \left(1 - \frac{\cos\beta}{2}\right) + 2\left(\frac{s}{2R}\right)^2 \sigma_{k_h}^2,$$

gdje je:

- σ_v - nesigurnost viziranja
- $\sigma_{o\check{c}.}$ - nesigurnost očitavanja
- σ_c - nesigurnost centriranja instrumenta i vizurne marke
- $\sigma_{hor.}$ - nesigurnost horizontiranja instrumenta
- s - duljina vizurne linije
- z - zenitna udaljenost vizurne linije
- k_h - koeficijent bočne refrakcije
- R - srednji radijus Zemlje

4.2 POGREŠKE PRI MJERENJU ZENITNIH UDALJENOSTI

Zenitna udaljenost određuje se kao razlika dvaju direktnih mjerenja, od kojih je jedno mjerenje definirano vertikalnom osi teodolita.

Varijanca srednje vrijednosti zenitne udaljenosti z , izmjerene u n ponavljanja, računa se po formuli:

$$\sigma_z^2 = \frac{\sigma_v^2 + \sigma_{o\check{c}.}^2 + \sigma_i^2}{2n} + \left(\frac{s}{2R}\right)^2 \sigma_{k_v}^2$$

gdje je:

- σ_v - nesigurnost viziranja
- $\sigma_{o\check{c}.}$ - nesigurnost očitavanja
- σ_i - pogreška indeksa vertikalnog kruga (ili kompenzatora)
- σ_{kv} - nesigurnost određivanja koeficijenta vertikalne refrakcije
- R - srednji radijus Zemlje
- s - duljina vizure

Jedan od glavnih izvora sustavnih odstupanja pri mjerenju zenitnih udaljenosti vezan je uz atmosfersku refrakciju.

4.3 POGREŠKE PRI ELEKTROOPTIČKOM MJERENJU DUŽINA

Kao i kod kutnih mjerenja, pogreške koje utječu na mjerenje dužina mogu se podijeliti na unutarnje i vanjske. Kod elektrooptičkih daljinomjera unutarnje pogreške su: adicijska korekcija (pogreška nule), periodička pogreška i pogreška faznog inhomogeniteta, dok su vanjske pogreške uglavnom uzrokovane atmosferskom refrakcijom.

Pogreška nule, periodička pogreška i atmosferska refrakcija su sustavne pogreške, pa se duljine moraju korigirati.

Varijanca mjerene dužine računa se po formuli:

$$\sigma_s^2 = \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 \sigma_{\Delta\Phi}^2 + \sigma_z^2 + \sigma_c^2 + \frac{\sigma_n^2}{n^2} s^2$$

gdje je:

$\sigma_{\Delta\Phi}$ - nesigurnost određivanja faznog inhomogeniteta $\Delta\Phi$

σ_z - nesigurnost određivanja pogreške nule z_0

σ_c - nesigurnost određivanja periodičke pogreške

σ_n - nesigurnost određivanja indeksa refrakcije n

Gornja formula pokazuje zašto se preciznost dužina mjerenih elektronskim daljinomjerima obično izražava pomoću dva dijela: konstantnog i ovisnog o duljini:

$$\sigma_s^2 = a^2 + b^2 s^2$$

gdje je konstantni dio a , a sadrži utjecaj pogreške nule, periodičke pogreške i fazne pogreške, dok parametar b ovisi o duljini s , a naziva se pogreška mjera, koja predstavlja nesigurnost određivanja indeksa atmosferske refrakcije i kalibracije modulacijske frekvencije.

Ukupno standardno odstupanje mjerene dužine je:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_m^2 + a^2 + (s \cdot b \text{ ppm})^2}$$

gdje su σ_i i σ_m standardna odstupanja centriranja instrumenta i vizurne marke.

4.4 POGREŠKE MJERENJA U GEOMETRIJSKOM NIVELMANU

Slučajna i sustavna odstupanja pri izmjeri geometrijskim nivelmanom su:

Slučajna odstupanja:

- nesigurnost očitavanja letve
- nesigurnost horizontiranja instrumenta
- nevertikalnost letve

Sustavna odstupanja:

- pogreška vizurne osi
- zakrivljenost Zemlje
- atmosferska vertikalna refrakcija
- spuštanje instrumenta i letve. [Pogreške mjerne letve su: pogreška podjele (mjerila) letve i pogreška indeksa letve (pogreška nule letve)]

Standardno odstupanje visinske razlike dobivene geometrijskim nivelmanom (ako se zanemari pogreška zakrivljenosti Zemlje, refrakcija i pogreška vizurne osi, jer se mjerenjem iz sredine otklanjaju), računa se po formuli:

$$\sigma_{\Delta h} = D \sqrt{2N(\sigma_{r/D}^2 + \sigma_{\alpha}^2)}$$

gdje je:

D - duljina vizure od instrumenta do letve

N - broj stajališta

$\sigma_{r/D}$ - procjena pogreške u očitavanju letve na jedinicu duljine vizure

σ_{α} - procjena pogreške horizontiranja instrumenta

U nivelmanskoj mreži koja se koristi na gradilištu, potrebno je poznavati nesigurnost kojom je određena visina nekog repera. Npr. ako je poznata nesigurnost visine polaznog repera A, procjena nesigurnosti visine repera B bit će:

$$\sigma_{H_B} = \sqrt{\sigma_{H_A}^2 + \sigma_{\Delta h}^2}$$

4.5 POGREŠKE MJERENJA U TRIGONOMETRIJSKOM NIVELMANU

Za određivanje visinskih razlika trigonometrijskim nivelmanom potrebno je mjeriti zenitne udaljenosti i duljine. Kod ovog postupka, zbog toga što duljine vizura nisu jednake, značajno je da se mjerenja moraju korigirati za sustavne utjecaje: zakrivljenost Zemlje C i refrakciju R ($CR = 0,0675$) i pogrešku vizurne osi.

Standardno odstupanje visinske razlike određene trigonometrijskim nivelmanom računa se:

$$\sigma_{\Delta h} = \left\{ \sigma_{h_i}^2 + \sigma_{h_r}^2 + \left[\left(\cos z + \frac{CR \cdot S \cdot \sin^2 z}{500} \right) \cdot \sigma_s \right]^2 + \left[\left(\frac{CR \cdot S \cdot \sin z \cdot \cos z}{500} - S \cdot \sin z \right) \frac{\sigma_z}{\rho} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

gdje su:

σ_{h_i} - standardno odstupanje mjerenja visine instrumenta

S - kosa duljina između dviju točaka

z - zenitni kut

CR - korekcija za Zemljinu zakrivljenost i refrakciju ($CR = 0,0675$)

σ_{h_r} - standardno odstupanje mjerenja visine reflektora

5. KOREKCIJE TERESTRIČKIH MJERENJA

Nakon izmjere potrebno je provesti *prethodnu* obradu podataka. Na geodetska terenska mjerenja djeluju instrumentalni i okolišni faktori, pa je potrebno izvršiti odgovarajuće instrumentalne i meteorološke korekcije, a također i geometrijske redukcije na referentnu plohu u odnosu na koju se računaju koordinate točaka mreže. Postupci redukcije podataka moraju se bazirati na najstrožim formulama i metodama obrade podataka. Isti postupci trebaju se koristiti za svaku ponovljenu izmjeru mreže da se osigura mogućnost usporedbe rezultata.

5.1 METEOROLOŠKE KOREKCIJE

Zbog prolaska kroz različite slojeve atmosfere, odnosno promjenom indeksa refrakcije, mijenja se brzina i smjer elektrooptičkih valova, pa je potrebno uvesti meteorološke korekcije uzevši u obzir atmosferske uvjete u trenutku mjerenja. Dodatno, putanja elektromagnetskog vala prolaskom kroz atmosferu nije pravac nego krivulja, pa je potrebno uvesti i dodatnu korekciju odnosno reducirati krivulju na njenu tetivu. Za računanje potrebnih korekcija potrebno je na terenu, kod instrumenta i vizurne marke, mjeriti temperaturu, tlak i vlagu.

Meteorološke korekcije za elektrooptički mjerene prostorne udaljenosti su:

- Prva brzinska korekcija – indeks refrakcije n u trenutku mjerenja razlikuje se od referentnog indeksa refrakcije n_{ref} koji je dan u prospektu korištenog instrumenta. Indeks refrakcije n se računa za oba kraja mjerene duljine i pri računanju korekcije uzima se srednja vrijednost.
- Druga brzinska korekcija – radijus zakrivljenosti aktualne putanje vala razlikuje se od srednjeg radijusa zakrivljenosti Zemlje za koji se računa srednji indeks refrakcije n . Korekcija je mala (0,1 mm za duljinu od 7,6 km) i može se zanemariti za većinu inženjerskih radova.
- Korekcija zbog zakrivljenosti putanje vala – duljinu korigiranu za prvu i drugu brzinsku korekciju potrebno je reducirati na duljinu tetive. Korekcija je također mala (0,1 mm za duljinu od 17,9 km) i može se zanemariti za većinu inženjerskih radova.

Meteorološke korekcije za mjerene pravce (kutove)

U praksi, meteorološke korekcije se rijetko primjenjuju za kutna mjerenja (azimut, horizontalni pravac (kut), zenitna udaljenost) zbog toga što se teško dobiju odgovarajući meteorološki podaci. Bez obzira na to, postojeće formule (Kuang, 1996.) mogu se koristiti za procjenu očekivanih utjecaja atmosferske refrakcije na takva mjerenja.

5.2 INSTRUMENTALNE KALIBRACIJSKE KOREKCIJE

Utjecaj instrumentalnih pogrešaka i konstanti je uključen u procijenjenu točnost određenog instrumenta (podatak je dan u prospektu instrumenta). Postupak kalibracije služi za verificiranje danih podataka. Kalibracijske korekcije se primjenjuju za elektrooptički mjerene duljine, azimut i visinske razlike određene geometrijskim nivelmanom. Uglavnom, instrumentalne korekcije nisu potrebne za horizontalne pravce, odnosno kutove, i zenitne udaljenosti, jer se pravilnim postupkom mjerenja ovih veličina utjecaj pogrešaka instrumenta

može otkloniti. Treba napomenuti da se instrumentalne korekcije uvode nakon što su mjerni podaci popravljani za meteorološke korekcije.

Kalibracijske korekcije za elektrooptički mjerene dužine su:

- Korekcija periodičkih ili cikličkih pogrešaka – pogreške su uzrokovane međutjecajem odašiljača i prijemnika (nalaze se u istom kućištu), kao i miješanjem dvaju signala pri zajedničkom prijelazu optičkih dijelova, te drugim uzrocima. Periodičke pogreške mogu biti kratkovalne i dugovalne.
- Korekcija pogreške nule–adicijska korekcija – pogreška postoji ako se elektrooptički izvor, tj. nula daljinomjera ne nalazi u vertikalnoj osi instrumenta. Također, nula reflektora se može nalaziti izvan vertikalne osi uređaja za centriranje. Zajedno, te razlike uzrokuju konstantno sustavno odstupanje mjerene duljine. Adicijska korekcija se može odrediti pravilnim kalibracijskim postupkom za instrument i prizmu, pa je potrebno pri mjerenju na terenu koristiti istu kombinaciju mjernih uređaja.
- Korekcija pogreške mjerila – pogreška mjerila elektrooptičkog daljinomjera predstavlja razliku između referentne i aktualne modulacijske frekvencije. Aktualno mjerilo elektrooptičkog daljinomjera se može dobiti ili mjerenjem aktualne modulacijske frekvencije pomoću frekvencmetra ili na kalibracijskoj bazi pomoću poznate duljine. Mjerena duljina se korigira za pogrešku mjerila nakon što je korigirana za periodičke pogreške i pogrešku nule.

Teorijski, utjecaj periodičke pogreške i pogreška nule na mjerenu dužinu nije razdvojen, pa se mogu odrediti istovremeno ako se određuju pomoću poznate duljine na kalibracijskoj bazi.

Kalibracijske korekcije za visinske razlike određene geometrijskim nivelmanom su:

- Korekcija pogreške mjerila letve – pogreška postoji ako mjerilo letve nije jednako 1 (neravnomjerna podjela na letvi). Mjerilo letve određuje se u laboratoriju, usporedbom s etalom. Kalibracija se treba provesti na početku i kraju mjerne „kampanje“.
- Korekcija indeksa (nule) letve – pogreška indeksa letve je odstupanje uzrokovano time što nula podjele skale ne predstavlja početak podjele (nula nije na reperu). Korekcija se može izračunati i dodati mjerenju, ili se može ukloniti pravilnim postupkom mjerenja (npr. paran broj stajališta ili se na jednom stajalištu koristi ista letva za zadnje i prednje očitavanje – u razlici se pogreška eliminira).

5.3 GRAVIMETRIJSKE KOREKCIJE

Nakon što su provedene meteorološke i instrumentalne korekcije mjerenih veličina, potrebno je uvesti i gravimetrijske korekcije radi nepodudaranja geoida i izabranog referentnog elipsoida. Geodetska opažanja koja se izvode na površini Zemlje odnose se na fizikalne referentne elemente Zemlje. Na primjer, kada se mjere horizontalni pravci (kutovi) na površini Zemlje, instrument se horizontira da bi se vertikalna os instrumenta poklopila sa lokalnim vektorom ubrzanja sile teže. Kako se lokalni vektor ubrzanja sile teže i normala na elipsoid u točki stajališta instrumenta uglavnom ne poklapaju, potrebno je uvesti korekciju za otklon vertikale da bi se pravci mjereni na površini Zemlje odnosili na normalu elipsoida. Korekcija za taj otklon je uglavnom mala, ali se treba primijeniti za dobivanje visoko

preciznih rezultata. Otklon vertikale u nekoj točki se može izračunati iz astronomskih i geodetskih koordinata te točke ili se može dobiti iz modela geoida HRG2000 (Bašić, 2001.). Gravimetrijska korekcija se mora primijeniti i na mjerene zenitne udaljenosti, a također i na visinske razlike dobivene geometrijskim nivelmanom da bi se dobile ortometrijske visine.

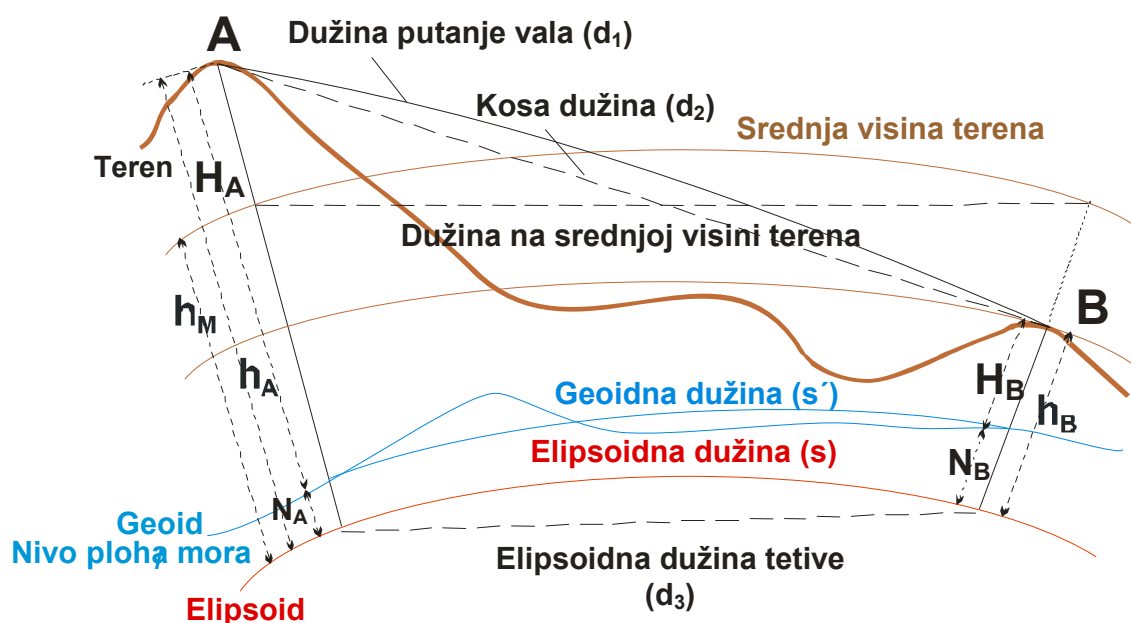
Gravimetrijska korekcija nije potrebna za mjerene kose duljine.

5.3.1 Geometrijske redukcije mjerenih veličina

Ako se traže geodetske koordinate točaka 2D mreže (φ , λ), potrebno ih je izračunati u odnosu na površinu izabranog referentnog elipsoida. U tom slučaju, opažanja provedena na površini Zemlje je potrebno reducirati na površinu referentnog elipsoida. Treba napomenuti da, prije redukcije, opažanja trebaju biti korigirana za meteorološke, kalibracijske i gravimetrijske utjecaje opisane u prethodnom poglavlju. Na kraju, potrebno je opažanja reducirati u ravninu izabrane projekcije.

5.3.1.1 Korekcije i redukcije mjerene dužine

Cjelokupni postupak obrade podataka za mjerenu dužinu je sljedeći:



Slika 30. Korekcije i redukcije mjerene dužine

1. računanje srednje vrijednosti ponovljenih mjerenja dužine
2. korekcija opažane prostorne dužine d_1 za prvu i drugu brzinsku korekciju
3. redukcija zakrivljene prostorne dužine d_1 između točaka A i B na fizičkoj površini Zemlje, na tetivu d_2
4. korekcija pogreške nule – adicijska korekcija
5. redukcija prostorne tetive putanje vala d_2 na tetivu d_3 između točaka na elipsoidu
6. prijelaz sa tetive d_3 na duljinu luka normalnog presjeka između točaka na elipsoidu - elipsoidna dužina s
7. prijelaz s elipsoidne dužine s na dužinu geodetske linije s' (vrlo mala veličina)
8. redukcija dužine s u ravninu projekcije - d

$$d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_3 \rightarrow s \rightarrow s' \rightarrow d$$

Kombinirana formula

Redukcija dužine tetive d_2 na tetivu d_3 može se iskazati jednom, strogom formulom:

$$d_3 = \sqrt{\frac{d_2^2 - (h_A - h_B)^2}{\left(1 + \frac{h_A}{R_a}\right)\left(1 + \frac{h_B}{R_a}\right)}}$$

Dužine elipsoidne tetive d_3 se zatim reducira na elipsoidnu dužinu s :

$$s = d_3 \left(1 + \frac{d_3^2}{24R_a^2} + \frac{3d_3^4}{640R_a^4} + \dots \right)$$

gdje je R_a radijus zakrivljenosti u azimutu linije. Drugi član u gornjoj formuli je manji od 1 mm za duljine do 100 km, pa se uglavnom može zanemariti.

Analiza formula

Gornja kombinirana formula uključuje:

- redukciju kose dužine d_2 na horizontalnu dužinu na srednjoj visini krajnjih točaka dužine
- redukciju horizontalne dužine na dužinu elipsoidne tetive d_3
- korekciju za prijelaz sa elipsoidne tetive d_3 na luk, tj. na elipsoidnu dužinu s

a) Korekcija kose dužine = $\sqrt{d_2^2 - \Delta h^2} - d_2$

b) Elipsoidna korekcija = $\frac{h_m}{R_a} \sqrt{d_2^2 - \Delta h^2}$

c) Korekcija (elipsoidna) - tangenta na luk = $\frac{d_3^3}{24R_a^2} \left(\frac{+3d_3^5}{640R_a^4} + \dots \right)$

Visine pri redukciji dužine. U gornjim formulama korištene su elipsoidne visine (h). Ako se zanemari geoidna undulacija N i koriste se ortometrijske visine (H - visine u odnosu na geoid), pojavit će se pogreška od 1 ppm za svakih 6,5 m od vrijednosti N . Naravno, u područjima gdje je N mala i pogreška će biti mala.

Radijus zakrivljenosti. Radijus zakrivljenosti je funkcija geodetske širine, ali se u mnogim primjenama umjesto radijusa u azimutu dužine R_a koristi geometrijski srednji radijus R_m . Treba napomenuti da može biti znatna razlika između R_a i R_m pa za visoko precizne radove treba koristiti R_a .

Redukcija dužine u ravninu projekcije

Na kraju, potrebno je izvršiti redukciju dužine u ravninu projekcije. Veličina linearne deformacije, kada se koriste reducirane koordinate Gauss-Krügerove projekcije, računa se prema izrazu:

$$\Delta s_p = - \left(\frac{y^2}{2R_m^2} - 0.0001 \right) \cdot s$$

gdje je:

y - udaljenost srednje ordinate krajnjih točaka dužine od središnjeg meridijana
 R_m - srednji radijus zakrivljenosti Zemlje.

Dužina reducirana u ravninu Gauss-Krügerove projekcije je jednaka:

$$d = s + \Delta s_p$$

5.3.1.2 Redukcija mjerenog pravca (kuta) na elipsoid

Da bi se reducirala kutna mjerenja iz lokalnog sustava na referentni elipsoid, nakon uklanjanja gravimetrijskog utjecaja, preostaju dva utjecaja koja se moraju uzeti u obzir, a u vezi su sa geometrijom Zemlje.

Prva korekcija proizlazi iz činjenice da su okomice na elipsoid u stajališnoj i ciljnoj točki međusobno „zakošene“; to znači da, kada je vizurna marka iznad elipsoida, to nije ista ravnina kao njena okomita projekcija na elipsoid. To je mala korekcija pa se može, osim u planinskim područjima, zanemariti.

Druga geometrijska korekcija proizlazi iz činjenice da mjereći kutove u nekoj točki na elipsoidu mjerimo ustvari kutove između direktnih normalnih presjeka. Geodetske koordinate računaju se na elipsoidu po duljini geodetske linije i njenom azimutu. Dakle, geodetska linija se koristi kao referentna za računanje koordinata, pa se sva kutna mjerenja moraju reducirati u odnosu na tu liniju. Razlike normalnog presjeka i geodetske linije su vrlo male, te se kod visokopreciznih radova uzimaju u obzir, a za praktične inženjerske radove su zanemarive.

Redukcija horizontalnih pravaca (kutova) u ravninu projekcije

Horizontalni pravci, odnosno kutovi, trebaju se reducirati sa površine elipsoida u ravninu projekcije. Formule za redukciju ovise o izabranoj projekciji.

6. PRAKTIČNI RAD S INSTRUMENTIMA

6.1 OPTIČKI TEODOLITI

- a) Određivanje standardnog odstupanja pravca, viziranja i očitavanja preciznog teodolita
- b) Određivanje osjetljivosti alhidadne libele
- c) Ispitivanje pogreške horizontalne osi
- d) Mjerenje kutova repeticijskom metodom
- e) Mjerenje vertikalnog kuta s preciznim teodolitom

6.2 NIVELIRI S KOMPENZATORIMA

- a) Mjerenje visinske razlike između točaka
- b) Ispitivanje glavnog uvjeta nivelira (niveliranje „iz sredine“ i „s kraja“)
- c) Određivanje standardnog odstupanja viziranja, vizurne osi i horizontiranja vizurne osi preciznog teodolita
- d) Određivanje osjetljivosti nivelacijske libele

6.3 ELEKTRONIČKI TAHIMETRI

- a) Mjerenje poligonskog vlaka pomoću elektroničkog tahimetra
- b) Iskolčenje paralelnih pravaca i kružnog luka polarnom metodom
- c) Mjerenje i računanje volumena metodom presjeka naprijed
- d) Parcelacijski elaborat
- e) Određivanje vertikalne ravnine
- f) Ispitivanje utjecaja pogreške držanja prizme kod određivanja koordinata detaljnih točaka
- g) Projekt iskolčenja objekta i izračun kubatura iskopa

6.4 DIGITALNI NIVELIRI

- a) Određivanje nadmorske visine ishodišne točke pomoću digitalnog nivelira
- b) Usporedba geometrijskog nivelmana mjerenog s dva različita tipa nivelira
- c) Usporedba visina određenih trigonometrijskim i geometrijskim nivelmanom

6.5 PRIJENOS PODATAKA

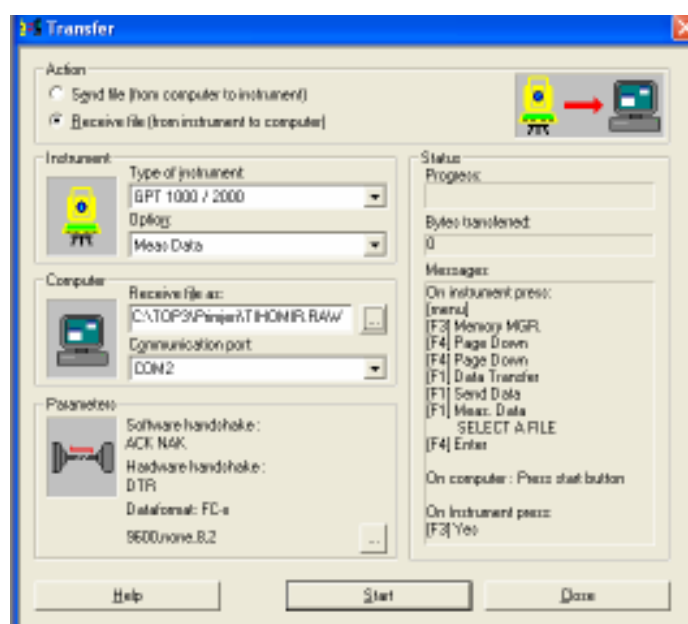
Primjer prijenosa podataka iz elektroničkog tahimetra proizvođača Topcon u osobno računalo (PC):

Za prijenos podataka iz elektroničkog tahimetra Topcon GTS212 koristi se software TECS (program istog proizvođača), a radi se o interaktivnom programu s jednostavnim grafičkim sučeljem.

Nakon spajanja instrumenta s računalom koaksijalnim kabelom i pokretanja programa, moramo namjestiti parametre, tako da budu jednaki i u računalu i u instrumentu.

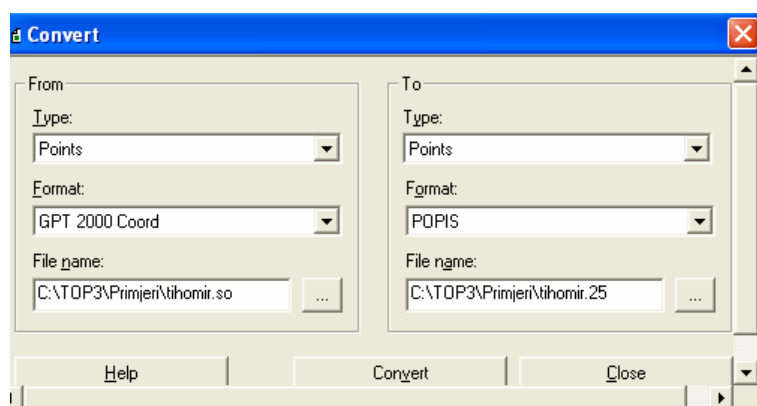
Slijedi prijenos podataka izborom naredbe *transfer* iz padajućeg izbornika *task*. U ovom koraku izabire se vrsta prijenosa, tip instrumenta, vrsta podataka koji se prenose (mjereni podaci, koordinate ili kodovi), naziv direktorija u koju se pohranjuju mjereni podaci (datoteka) i port preko kojeg se vrši prijenos podataka.

Kao vrstu podataka za prijenos odabiremo mjerene podatke (*Meas Data*) za tahimetriju (H_z , z i d'), te datoteci zadajemo naziv s ekstenzijom *.raw*, a za prijenos koordinata kao vrstu podataka koristimo koordinatnu opciju (*Coord Data*), te datoteci zadajemo naziv s ekstenzijom *.so* (slika 31.).



Slika 31. Postavke pri prijenosu podataka

Nakon prijenosa podataka u osobno računalo, datoteku otvaramo u Notepad-u i vidimo nečitljiv oblik, te ju trebamo konvertirati u čitljiv format; ulazna datoteka .raw – izlazna datoteka .all, ulazna datoteka .so – izlazna datoteka .25 (slika 32.)

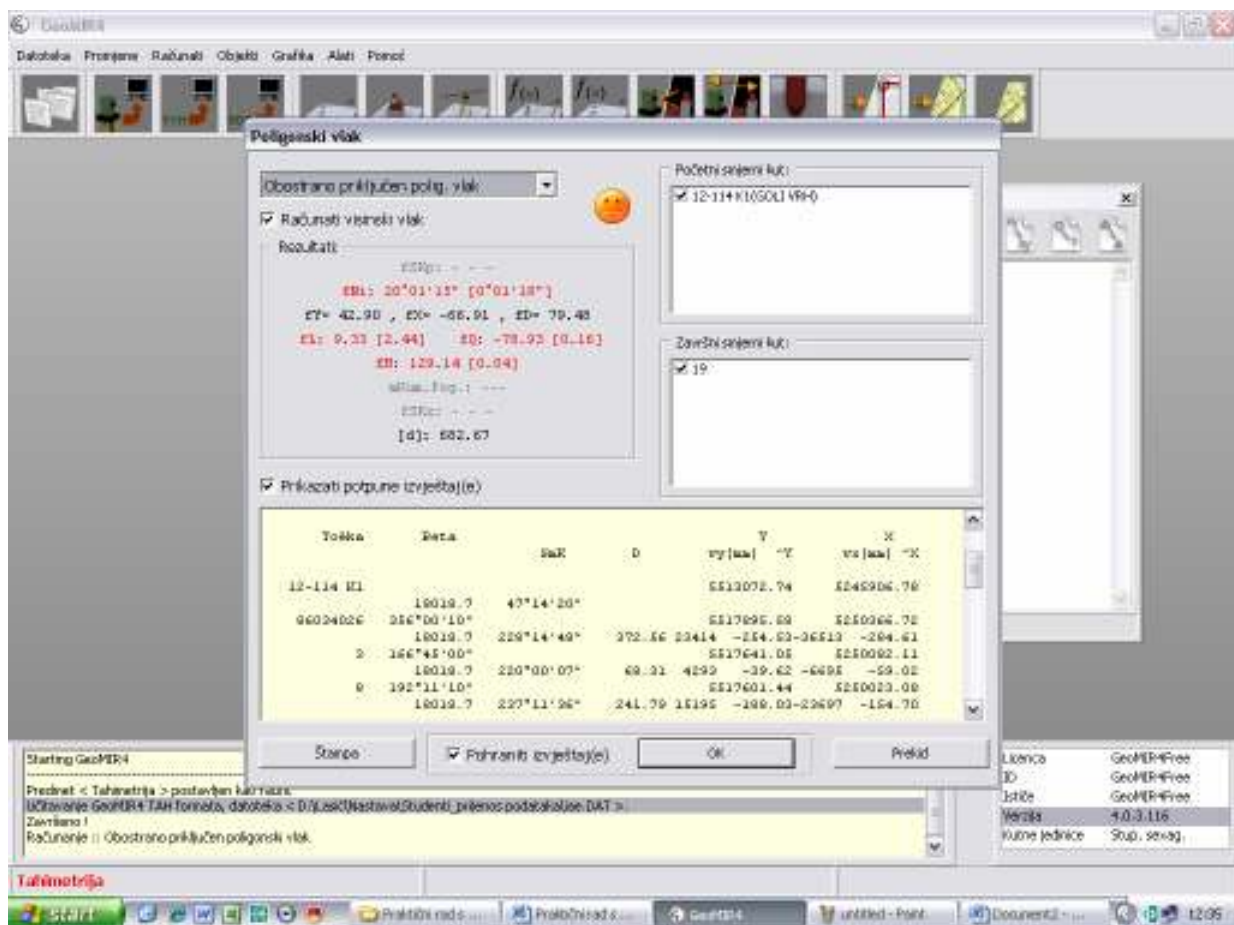


Slika 32. Konverzija podataka

6.6 OBRADA PODATAKA

Nakon prijenosa podataka iz instrumenta u osobno računalo slijedi obrada podataka, koja se vrši na više načina, u raznim programskim paketima:

- Microsoft Office Excel
- GeoMIR4
- Kora
- TopCon
- Leica SurveyOffice
- Leica Level Park (za digitalne nivelire proizvođača Leica)
- ...



Slika 33. Obrada podataka u programskom paketu GeoMIR4

Kada je izvršena obrada podataka slijedi grafički prikaz izmjerene stanja (skica, plan) koji se izrađuje u raznim programskim paketima kao npr. AutoCAD.

6.7 PRIMJERI

6.7.1 Mjerenje teodolitom i nivelirom s kompenzatorom

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU

GEODETSKI ZAVOD

PRAKTIKUM

ISPITIVANJE PRECIZNOG TEODOLITA							
MJERENJE IZVRŠIO: <i>ŠTEFICA KRAJ</i>			DATUM: <i>08.05.2008.</i>		INSTRUMENT: <i>WILD T3</i>		NR: <i>3309</i>
BROJ MJERENJA	OČITANJE Hz KRUGA	u jedinica skale mikrometra	OČITANJE Hz u sekundama	v	w	d u jed. skale mikrometra	dd
1	<i>165,08</i>	<i>45,6</i> <i>45,0</i>	<i>90,6</i>	<i>-0,21</i>	<i>0,04</i>	<i>0,6</i>	<i>0,36</i>
2	<i>165,08</i>	<i>45,7</i> <i>44,3</i>	<i>90,0</i>	<i>0,39</i>	<i>0,15</i>	<i>1,4</i>	<i>1,96</i>
3	<i>165,08</i>	<i>45,5</i> <i>44,5</i>	<i>90,0</i>	<i>0,39</i>	<i>0,15</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>
4	<i>165,08</i>	<i>45,1</i> <i>45,7</i>	<i>90,8</i>	<i>-0,41</i>	<i>0,16</i>	<i>-0,6</i>	<i>0,36</i>
5	<i>165,08</i>	<i>44,8</i> <i>45,1</i>	<i>89,7</i>	<i>0,69</i>	<i>0,48</i>	<i>-0,5</i>	<i>0,25</i>
6	<i>165,08</i>	<i>44,7</i> <i>45,2</i>	<i>89,9</i>	<i>0,49</i>	<i>0,24</i>	<i>-0,5</i>	<i>0,25</i>
7	<i>165,08</i>	<i>45,9</i> <i>46,4</i>	<i>92,3</i>	<i>-1,91</i>	<i>3,64</i>	<i>-0,5</i>	<i>0,25</i>
8	<i>165,08</i>	<i>45,6</i> <i>45,2</i>	<i>90,8</i>	<i>-0,41</i>	<i>0,16</i>	<i>0,4</i>	<i>0,16</i>
9	<i>165,08</i>	<i>44,8</i> <i>44,4</i>	<i>89,2</i>	<i>1,19</i>	<i>1,42</i>	<i>0,4</i>	<i>0,16</i>
10	<i>165,08</i>	<i>45,2</i> <i>45,4</i>	<i>90,6</i>	<i>-0,21</i>	<i>0,04</i>	<i>-0,2</i>	<i>0,04</i>
sredina	<i>165° 08'</i>		<i>90,39</i>	$\Sigma + 3,15$ $\Sigma - 3,15$	$\Sigma 6,48$		$\Sigma 4,79$

SREDNJA POGREŠKA PRAVCA:

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[w]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{6,48}{9}} = \pm 0,85$$

SREDNJA POGREŠKA JEDNE KOINCIDENCIJE:

$$m_k = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \pm \sqrt{\frac{4,79}{20}} = 0,49 \text{ u jed. skale mikrometra} = \pm 0,98$$

SREDNJA POGREŠKA OČITANJA:

$$m_o = \pm \frac{m_k}{\sqrt{2}} = \pm \frac{0,98}{\sqrt{2}} = \pm 0,69$$

SREDNJA POGREŠKA VIZIRANJA:

$$m_v = \pm \sqrt{m_p^2 - m_o^2} = \pm \sqrt{0,85^2 - 0,69^2} = \pm 0,50$$

DATUM: *8.05.2008* OVJERIO: *Đorđo PERKA*

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU

GEODETSKI ŽAVOD

PRAKTIKUM

ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI ALHIDADNE LIBELE

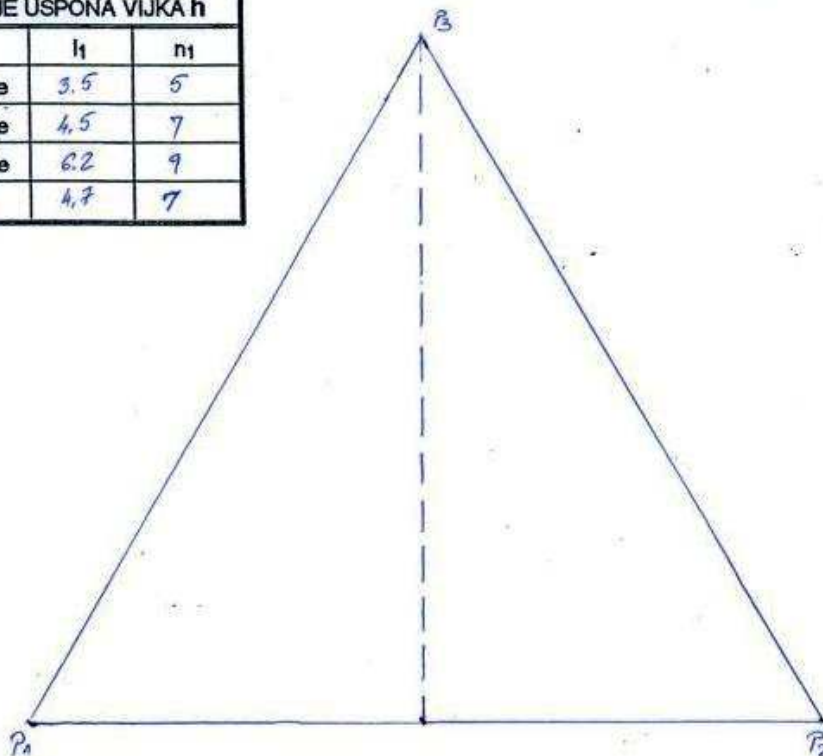
MJERENJE IZVRŠIO: ŠTEFICA KRALJ

DATUM: 29. 05. 2006. INSTRUMENT: ERTTEL

NR: 32500

MJERENJE VELIČINE b (UDALJENOSTI OSI MJERNOG VIJKA OD OKRETNE OSI)MJERENJE USPONA VIJKA h

	l_1	n_1
1. mjerenje	3.5	5
2. mjerenje	4.5	7
3. mjerenje	6.2	9
sredina	4.7	7



broj	I položaj mjeru		II položaj mjeru		$L_2 - L_1$	$d_2 - d_1$	p	ϵ''	v	w
	L_1	d_1	L_2	d_2						
1	0.9	7.0	5.0	11.2	4.1	4.2	4.16	22.60	0.70	0.49
2	0.8	7.1	5.3	11.3	4.5	4.2	4.36	23.65	-0.33	0.11
3	0.8	7.0	5.2	11.2	4.4	4.1	4.25	23.87	-0.55	0.30
4	1.0	7.0	5.0	11.0	4.0	4.0	4.0	23.02	1.09	1.19
5	0.7	7.1	5.0	11.1	4.3	4.0	4.15	22.93	0.03	0.01
6	0.5	7.0	5.0	11.0	4.5	4.0	4.25	23.23	-0.12	0.01
7	0.8	7.0	5.8	11.8	5.0	4.8	4.90	23.24	-0.33	0.11
8	1.0	7.3	5.8	11.8	4.8	4.5	4.65	23.65	-0.55	0.30
9	0.9	7.1	5.7	11.9	4.8	4.8	4.80	23.23	1.09	1.19
10	1.0	7.2	5.7	11.9	4.7	4.7	4.70	23.65	0.30	0.09
$\epsilon_{sr}'' =$								23.30	± 2.18 $- 2.18$	$\Sigma 2.72$

$$l_1 = 4.7 \quad n_1 = 7$$

$$b = 112.0 \quad n_2 = 10$$

$$h = \frac{l_1}{n_1} = 0.7 \quad a = \frac{h}{n_2} = 0.07$$

$$\alpha'' = \frac{a}{b} p'' = 128.92$$

$$p'' = 206265$$

$$\epsilon'' = \frac{\alpha''}{p}$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[w]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{2.72}{9}} = \pm 0.550$$

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0.550}{\sqrt{10}} = \pm 0.174$$

$$\epsilon_{sr}'' = 23''.30 \pm \pm 0''.174$$

DATUM: 29.05. 2006.

OVJERIO: Miro Gavril

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU

31.5.
GEODETSKI ZAVOD

PRAKTIKUM

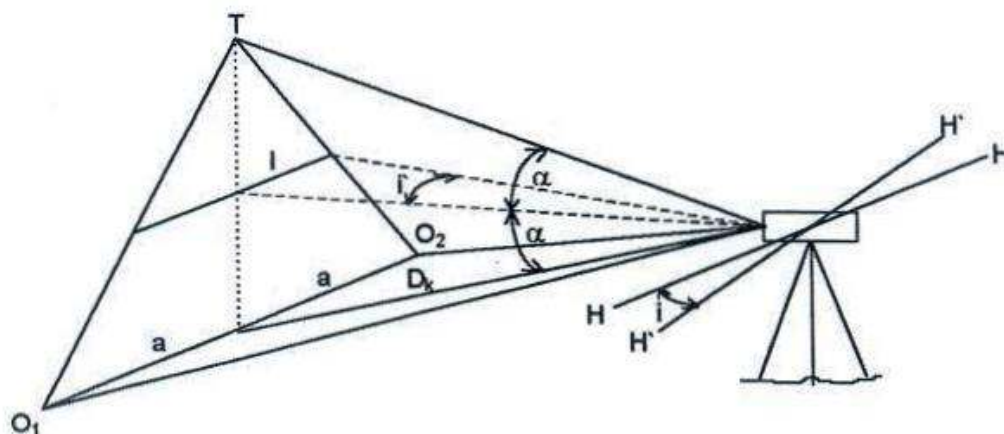
ISPITIVANJE POGREŠKE HORIZONTALNE OSI

MJERENJE IZVRŠIO: ŠTEFKA KRAJČIĆ

DATUM: 22.03.2006.

INSTRUMENT:

NR:



$$i'' = \frac{a}{2 \cdot D_k \cdot \sin \alpha} \rho''$$

$$\alpha_1 (z_1) = 55^\circ 10' 10''$$

$$\alpha_2 (z_2) = 304^\circ 48' 50''$$

$$O_1 = 7,8 \text{ mm}$$

$$O_2 = 8,0 \text{ mm}$$

$$D_k = 2,52$$

$$2a = O_1 - O_2 = 0,2$$

Pogreška horizontalne osi:

$$i'' = \frac{0,1}{2 \cdot 2,52 \cdot 0,9999} \cdot 206265 = 4,093$$

DATUM: 20.3.2006.

OVJERIO:

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU

GEODETSKI ZAVOD

PRAKTIKUM

MJERENJE KUTEVA REPETICIJSKOM METODOM

MJERENJE IZVRŠIO: LUKA ČANAK

DATUM: 21.04.2004.

INSTRUMENT: WILD T1

NR: 213362

SERVA			OČITANJE	$\frac{O_2-O_1}{n}$	$\frac{O_2-O_4}{n}$	$\frac{LD+DL}{2}$
I	LD	O ₁	271° 32' 34"	9° 15' 58"	9° 16' 01".5	
		O ₂	308° 36' 25'			
		O _{2-O1}	37° 03' 51"			
	DL	O ₃	128° 51' 58"	9° 16' 05'		
		O ₄	91° 47' 38"			
		O _{3-O4}	37° 04' 20"			
II	LD	O ₁	320° 21' 22"	9° 15' 59"	9° 16' 01".5	
		O ₂	357° 25' 21"			
		O _{2-O1}	37° 03' 59"			
	DL	O ₃	177° 40' 46"	9° 16' 04"		
		O ₄	140° 36' 28"			
		O _{3-O4}	37° 04' 18"			
III	LD	O ₁	57° 58' 58"	9° 16' 00"	9° 16' 03".0	
		O ₂	95° 02' 00"			
		O _{2-O1}	37° 04' 02"			
	DL	O ₃	275° 18' 22"	9° 16' 06"		
		O ₄	238° 14' 00"			
		O _{3-O4}	37° 04' 22"			
sr. 9° 16' 02".0						

$$b = 2.00 \text{ m}$$

$$\frac{\alpha}{2} = 4^{\circ} 38' 01''.0$$

$$D = \frac{b}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 12.338 \text{ m}$$

DATUM: 21.04.2004.

OVJERIO: D. Plozović

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU

GEODETSKI ZAVOD

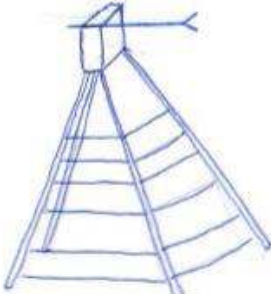
PRAKTIKUM

MJERENJE VERTIKALNIH KUTEVA

MJERENJE IZVRŠIO: BORIS POLLEPOVIĆ

DATUM: 3.4.2006

INSTRUMENT: THEO 0604 NR:

girus	nit	P O L O Z A J				Skica vizume marke:
		I	II	I-II	$\frac{I-II}{2}$	
1	G	85°03'31"	274°31'24"	171°32'07"	85°46'03"	
	S	85°46'15"	274°14'10"	171°32'05"	85°46'02"	
	D	85°28'09"	273°56'56"	171°32'13"	85°46'06"	
2	G	85°03'27"	274°31'25"	171°32'04"	85°46'02"	
	S	85°46'11"	274°14'17"	171°31'54"	85°45'57"	
	D	85°28'00"	273°57'02"	171°31'58"	85°45'59"	
3	G	85°03'21"	274°31'36"	171°31'47"	85°45'54"	
	S	85°46'19"	274°14'24"	171°31'55"	85°45'57"	
	D	85°28'56"	273°57'11"	171°31'45"	85°45'52"	

girus	gornja nit	v	vv	srednja nit	v	w	donja nit	v	w
1	85°46'03"	-3	0	85°46'02"	-4	16	85°46'06"	-7	49
2	85°46'02"	-2	4	85°45'57"	1	1	85°45'59"	0	0
3	85°45'54"	+6	36	85°45'57"	1	1	85°45'52"	7	49
	sr: 85°46'00"	+6 -5	Σ 49	sr: 85°45'58"	+2 -4	Σ 18	sr: 85°45'59"	+7 -7	Σ 98

Vertikalni kut: $z = 85°45'59" \pm 1,748$

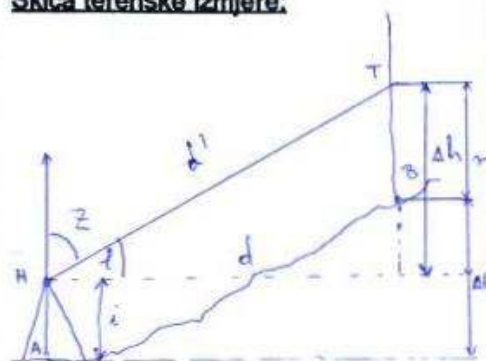
$$m = \pm \sqrt{\frac{[w]}{n-3}} = \pm \sqrt{\frac{165}{6}} = \pm 5,244$$

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{5,244}{3} = \pm 1,748$$

TRIGONOMETRIJSKO MJERENJE VISINSKIH RAZLIKA

Vertikalni kut: $z = 85°45'59"$

Skica terenske izmjere:

Visina instrumenta: $i = 1,52 \text{ m}$ Visina signala: $r = 4,00 \text{ m}$ Visina stajališta: $H_s = 120,00 \text{ m}$ Udaljenost: $D = 5000,00 \text{ m}$ $H_T = H_s + D \operatorname{ctg}(z) + i - r = 487,65 \text{ m}$ 

DATUM:

OVJERIO:

PRAKTIKUM

ISPITIVANJE PRECIZNOG NIVELIRA

MJERENJE IZVRŠIO: ŠTEFICA KRAYDATUM: 15.05.2006. INSTRUMENT: CARL ZEISS JENA: 68189Određivanje srednje pogreške viziranja (m_v):

broj	I podjela			II podjela			letva: k=60650 ± 6	
	LETVA	V	VV	LETVA	V	VV	konstanta	
1	85695	-1.7	2.89	25041	1.7	2.89	60654	$m_{v1} = \pm \sqrt{\frac{[w]_1}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{54.1}{9}} = \pm 2.45$
2	85690	3.3	10.89	25043	-0.3	0.09	60647	
3	85692	1.3	1.69	25041	1.7	2.89	60651	$m_{v2} = \pm \sqrt{\frac{[w]_2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{24.1}{9}} = \pm 1.64$
4	85694	-0.7	0.49	25046	-3.3	10.89	60648	
5	85692	1.3	1.69	25043	-0.3	0.09	60649	$m_v^2 = \frac{1}{2} (m_{v1}^2 + m_{v2}^2) = 4.34$
6	85695	-1.7	2.89	25042	0.7	0.49	60653	
7	85693	0.3	0.09	25041	1.7	2.89	60652	$m_v \text{ (u poludesetinama mm)} = \pm 2.1$
8	85698	-4.7	22.09	25044	-1.3	1.69	60654	
9	85690	3.3	10.89	25042	0.7	0.49	60648	$m_v = \pm 2.17 \text{ mm}$
10	85694	-0.7	0.49	25044	-1.3	1.69	60650	
	sr. 85693.3 $\Sigma +9.5$ $\Sigma -9.5$		$\Sigma 54.1$	sr. 25042.7 $\Sigma +6.5$ $\Sigma -6.5$		$\Sigma 24.1$	sr. 60650.6	

Određivanje srednje pogreške vizure (m):

broj	I podjela			II podjela			letva: k=60650 ± 6	
	LETVA	V	VV	LETVA	V	VV	konstanta	
1	85656	-3.0	9.0	25002	1.0	1.0	60654	$m_1 = \pm \sqrt{\frac{[w]_1}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{38.0}{9}} = \pm 2.05$
2	85653	0.0	0.0	25003	0.0	0.0	60650	
3	85650	3.0	9.0	25002	1.0	1.0	60648	$m_2 = \pm \sqrt{\frac{[w]_2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{24.0}{9}} = \pm 1.63$
4	85654	-1.0	1.0	25004	-1.0	1.0	60650	
5	85655	-2.0	4.0	25006	-3.0	9.0	60649	$m^2 = \frac{1}{2} (m_1^2 + m_2^2) = 3.43$
6	85651	2.0	4.0	25000	3.0	9.0	60651	
7	85650	3.0	9.0	25002	1.0	1.0	60648	$m \text{ (u poludesetinama mm)} = \pm 1.72$
8	85654	-1.0	1.0	25004	-1.0	1.0	60650	
9	85653	0.0	0.0	25003	0.0	0.0	60650	$m = \pm 1.72 \text{ mm}$
10	85654	-1.0	1.0	25004	-1.0	1.0	60650	
	sr. 85653.0 $\Sigma +8.0$ $\Sigma -8.0$		$\Sigma 38.0$	sr. 25003.0 $\Sigma +6.0$ $\Sigma -6.0$		$\Sigma 24.0$	sr. 60650.0	

Srednja pogreška horizontiranja vizurne osi (m_L):

$$m_L^2 = m^2 - m_v^2 = \quad = 1.75 \quad m_L = \pm 1.75 \text{ mm}$$

$$s = 10650 \text{ m} \quad m_L'' = \frac{m_L}{s} \cdot \rho'' = \frac{1.75}{10650} = \pm 3.4''$$

DATUM: 15.05.2006 OVJERIO: Teo Peka

GEODETSKI FAKULTET U ZAGREBU

GEODETSKI ZAVOD

PRAKTIKUM

ODREĐIVANJE OSJETLJIVOSTI NIVELACIJSKE LIBELE

MJERENJE IZVRŠIO: ŠTEFKA KRALJ DATUM: 13.03.2006. INSTRUMENT: SALVOIRAGH NR: 71215

BROJ	OČITANJE MJEHURA		OČIT. LETVE	L ₂ -L ₁	d ₂ -d ₁	p	O ₂ -O ₁	ε"	V	W
	L ₁	d ₁	O ₁							
	L ₂	d ₂	O ₂							
1	-5,5	-6,0	1384	9,4	8,8	9,10	+12	+13,95	0,04	0,00
	3,9	2,8	1372							
2	-4,9	-5,3	1385	10,0	9,7	9,85	+13	13,96	0,03	0,00
	5,1	3,8	1372							
3	-4,1	-5,1	1385	9,6	9,4	9,50	+12	13,36	0,63	0,40
	5,5	4,3	1373							
4	-3,9	-5,1	1384	8,7	8,9	8,80	+12	14,42	-0,43	0,18
	4,8	3,8	1372							
5	-4,2	-5,3	1386	9,3	9,3	9,30	+13	14,78	-0,79	0,62
	5,1	4,0	1370							
6	-3,1	-4,3	1385	9,0	8,3	8,65	+12	14,67	-0,68	0,46
	5,9	4,0	1373							
7	-4,3	-5,5	1385	10,1	9,8	9,95	+13	13,82	0,17	0,03
	5,8	4,3	1372							
8	-4,9	-5,8	1386	9,8	9,6	9,7	+13	14,18	-0,19	0,04
	4,9	3,8	1373							
9	-4,0	-5,7	1388	10,1	10,0	10,05	+13	13,68	0,31	0,10
	5,5	4,3	1370							
10	-4,1	-5,2	1384	9,0	9,0	9,0	+12	14,10	-0,11	0,01
	4,9	3,8	1372							
ε _{sr} " =								13,99	+ 1,18 - 2,20	Σ 1,84

LIBELA SA SIMETRIČNOM PODJELOM

$$p = \frac{(L_2 - L_1) + (d_2 - d_1)}{2}$$

LIBELA SA KONTINUIRANOM PODJELOM

$$p = \frac{d_2 - L_2}{2} + \frac{d_1 - L_1}{2}$$

s = 19,50 m

ρ" = 206 265

ε_{sr}" = 13,99 ± 0,065

$m = \pm \sqrt{\frac{[W]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{1,84}{9}} = \pm 0,204$

$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,204}{\sqrt{10}} = \pm 0,065$

DATUM: 13/3/2006. OVJERIO: M. J. [signature]

6.7.2 Mjerenje elektroničkim tahimetrom i digitalnim nivelirom

Primjer seminarskog rada



PRAKTIČNI RAD S INSTRUMENTIMA

Usporedba visina mjerenih trigonometrijskim i geometrijskim nivelmanom

Izradili:
Dario Blažević
Luka Lakoš

izvordan (T) 28.01.04.

SADRŽAJ:

1. DEFINIRANJE ZADATKA	str.2
2. KORIŠTENI INSTRUMENTARIJ	str.2
3. REALIZACIJA ZADATKA	str.5
3.1. REALIZACIJA MJERENJA	
3.2. PREBACIVANJE MJERENIH PODATAKA	
3.3. OBRADA PODATAKA	
3.4. USPOREDBA REZULTATA NA OSNOVU DOBIVENIH OCJENA TOČNOSTI	
4. ZAKLJUČAK	str.15
5. DODACI (TABLICE I SKICA).....	str. 16
6. LITERATURA.....	str. 17

1. DEFINIRANJE ZADATKA

Zadatak ovog projekta je bio izračunati visine novoodređenih točaka trigonometrijskim i geometrijskim nivelmanom. Teren za izvođenje zadatka predstavljala je učionica Geodetskog zavoda koja je uređena tako da bude pogodna za realizaciju ovog zadatka.

Zadatak je realiziran u nekoliko koraka. Prvi korak sastojao se u određivanju zatvorenog poligonskog vlaka u lokalnom koordinatnom sustavu sa početnom točkom T (100.00 m, 100.00 m, 100.00 m), čiji je položaj definiran u horizontalnom i visinskom smislu. Rezultat su bile položajne koordinate 5 novih točaka na osnovu mjenenog poligonskog vlaka (mjenenih dužina i pravaca), te visine istih točaka dobivene trigonometrijskim načinom određivanja visina . Sljedeći korak bio je određivanje zatvorenog nivelmanskog vlaka sa početkom i završetkom u točki T. Na taj način određene su visine istih 5 točaka geometrijskim načinom određivanja visina, odnosno geometrijskim nivelmanom.

Krajnji cilj zadatka bio je ocjena točnosti dobivenih visina obima načinima mjerenja, te njihova usporedba.

2. KORIŠTENI INSTRUMENTARIJ

Pri realizaciji zadatka korišten je sljedeći instrumentarij:

1. Mjerna stanica Topcon GTS - 212 i odgovarajuća prizma
2. Digitalni nivelir Leica NA 2002 i kodirana nivelmanska letva
3. Mjerna vrpca 50 m

Mjerna stanica Topcon GTS - 212



Karakteristike

Povećanje durbina	26X
Minimalni fokus	0.9 m
Maximalna dužina	900 m
Pouzdanost mjerenja dužine	3 mm + 5 ppm x D
Minimalni podatak kuta	1"/5"
Pouzdanost mjerenja kutova	6"
Kapacitet interne memorije	2000 točaka
Vrijeme registriranja	4 sec
Trajanje baterije	3.5 h (2100 točaka)

Digitalni nivelir Leica NA 2002



Karakteristike

Povećanje durbina	24X
Duljina mjerene dužine	od 1.8 m do 100 m
Pouzdanost mjerenja dužina	1 cm – 5 cm
Pouzdanost mjerenja visina	0.9 mm / 1 km
Minimalni podatak očitavanja	1 mm/ 0.1 mm
Vrijeme registriranja	4 s

3. REALIZACIJA ZADATKA

3.1. REALIZACIJA MJERENJA

Mjerenje zatvorenog poligonskog vlaka

Mjerenje je obavljeno mjernom stanicom Topcon GTS – 212 i popratnom prizmom istog proizvođača. Kao što je navedeno u 1.poglavlju (1.Definiranje zadatka) mjerenje je obavljeno u lokalnom sustavu sa početnom točkom T (100.00 m, 100.00 m, 100.00 m) i određene su koordinate 5 novih točaka.

Ova mjerna stanica podržava rad u 3 osnovna moda rada: **1. Registriranje**, **2. Rad s (XYZ)** i **3. Rad s memorijom**. Pri rješavanju ovog zadatka korišten je mod za registriranje jer nam je rad u tom modu omogućio registriranje i pohranu podataka koji su nam bili potrebni za realizaciju zadatka, a to su sljedeći podaci: Hz-horizontalni pravac, V-zenitna daljina, Kd- kosa dužina, Hd-horizontalna dužina. Nakon izbora moda instrument traži da unesemo ime file (datoteke) kojeg on potom kreira i u koji pohranjuje sva obavljena mjerenja i ostale podatke važna za računanje (broj točke, visina instrumenta i sl.). Pošto je kreiran file stvoreni su svi preduvjeti za početak mjerenja. Mjerenje započinjemo izborom opcije **Unos stajališta** iz izbornika **Registriranje** gdje je potrebno za svako stajalište unijeti njegovu identifikacijsku oznaku i visinu instrumenta. Zatim iz izbornika **Registriranje** izabiremo opciju **Snimanje** i unesemo identifikacijsku oznaku točke koju snimamo i visinu prizme koja je postavljena na toj točki. Zadnji korak je odabir naredbe **all** nakon koje instrument izvrši mjerenja i pohrani ih u prethodno kreirani feil u internoj memoriji instrumenta. Zbog sigurnosti a i uštede vremena i novca zbog mogućih eventualnih grubih pogrešaka Hd je mjerena i mjernom vrpcom čime je omogućeno lako uočavanje tih pogrešaka.

Mjerenje zatvorenog (geometrijskog) nivelmanskog vlaka

Mjerenje je obavljeno digitalnim nivelirom Leica NA 2002 i kodiranom nivelmanskom letvom. Samo mjerenje sastojalo se u određivanju zatvorenog nivelmanskog vlaka tj. određivanju visina novih 5 točaka koje su određene prethodnim mjerenjem zatvorenog poligonskog vlaka.

Mjerenje je izvršeno niveliranjem iz sredine u jednom smjeru.

Instrument osim iskazivanja direktnih mjerenja na zaslonu pruža mogućnost snimanja mjerenih podataka te automatsko dobivanje relativnih ili apsolutnih visina na osnovu prije unesenih podataka. Također nudi standardne opcije unošenja i računanja podataka (izbor mjernih jedinica, uzimanje u obzir zakrivljenosti zemljine površine, unošenje kolimacione pogreške, unošenje raznih parametara, mogućnost automatskog gašenja...). Mjerenja se obavlja pritiskom na crveni gumb koji se nalazi na desnoj strani instrumenta. Pririskom na taj gumb instrument automatski registrira i pohranjuje podatke u svoju internu memoriju. Kod ovog mjerenja je također korištena mjerna vrpca iz gore navedenih razloga.

3.2. PREBACIVANJE MJERENIH PODATAKA

Nakon obavljenih mjerenja pristupljeno je prebacivanju mjerenih podataka koji su bili pohranjeni u internim memorijama pojedinih instrumenata.

Kako su korištena dva instrumenta u relizaciji zadatka u ovom poglavlju biti će objašnjeno za svaki instrument posebno postupak prebacivanja mjerenih podataka iz instrumenata u računalu.

Mjerna stanica Topcon GTS - 212

Za prebacivanje mjerenih podataka iz mjerne stanice Topcon GTS – 212 korišten je software TECS (program istog proizvođača).

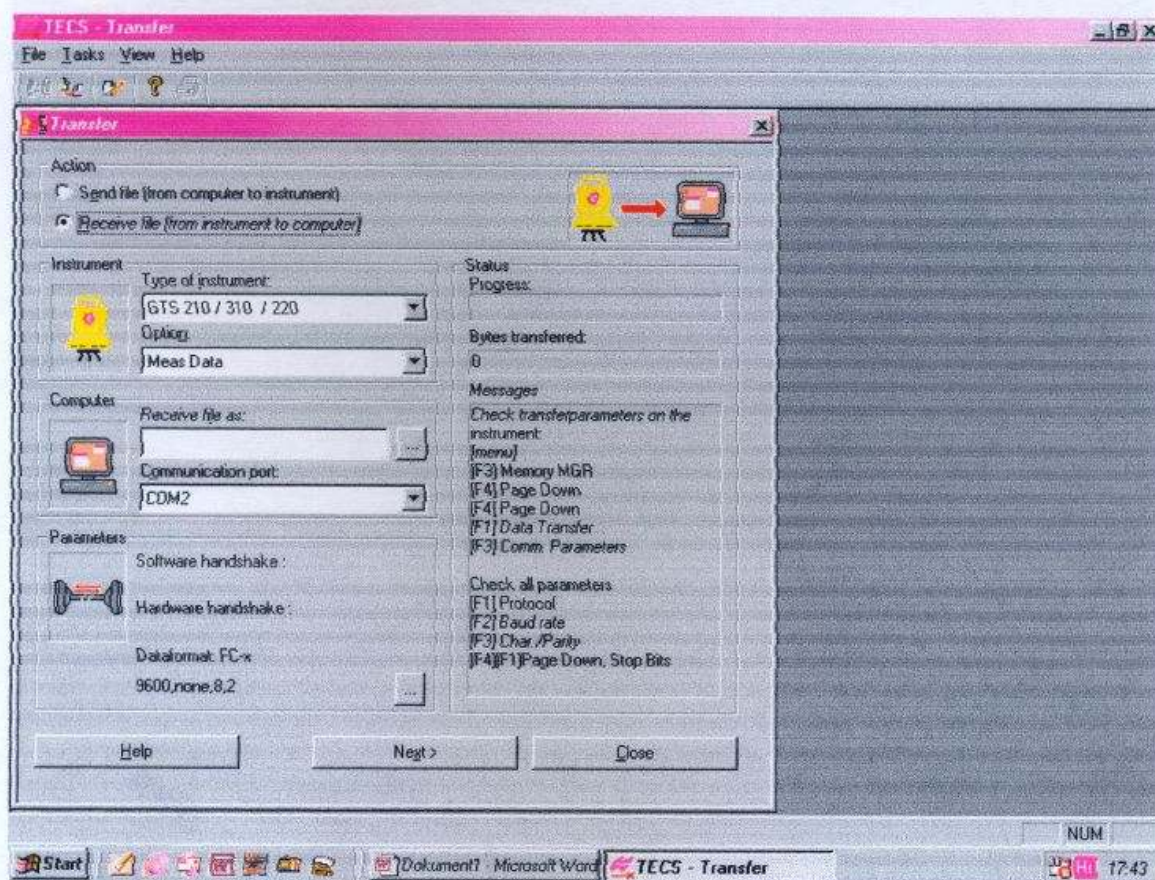
Postupak prebacivanja podataka dan je sljedećim koracima:

1. Pokretanje programa dvostrukim klikom miša na ikonu **TECS**.
Pokretanjem programa pojavi se sljedeći prozor

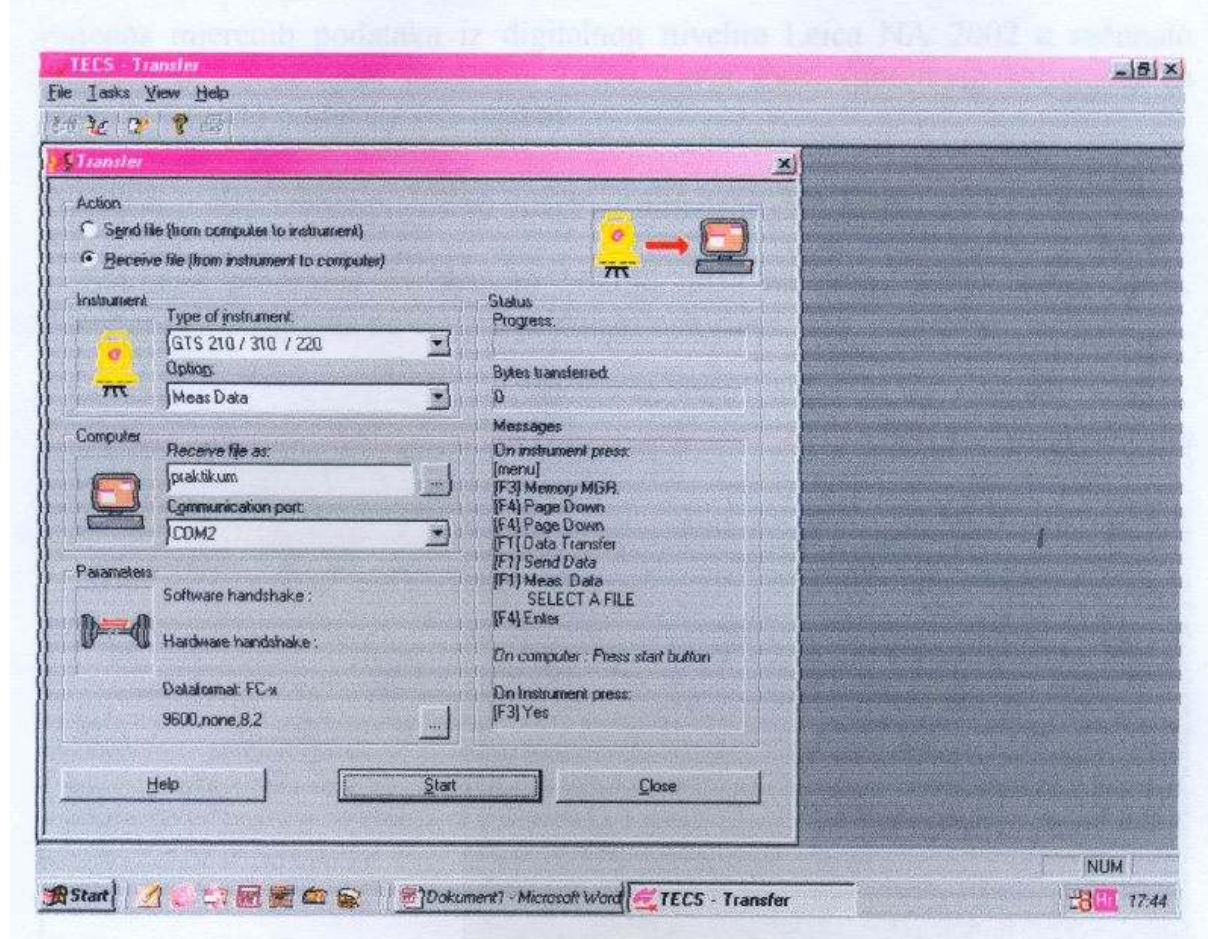


2. Prijenos (transfer) podataka izborom naredbe *Transfer* iz padajućeg izbornika *Tasks*.

U ovom koraku izabire se vrsta transfera, tip instrumenta, vrsta podataka koji se prbećuju, naziv datoteke u koju se prebacuju podaci, port preko kojeg se vrši transfer, odnosno ostvaruje veza na relaciji instrument – računalo (svi ovi podaci i parametri koji su korišteni u ovom zadatku vidljivi su na sljedećoj slici). U donjem desnom uglu *Message* ovog dijaloškog izbornika redom je naveden postupak podešavanja odgovarajućih parametara na instrumentu. Nakon obavljanja prethodnih radnji klikne se na naredbu *Next*.



3. Startanje prijenosa mjerenih podataka klikom na naredbu **Start**.
U donjem desnom uglu **Message** detaljno je opisan postupak startanja prijenosa podataka kao što je prikazano na slici.

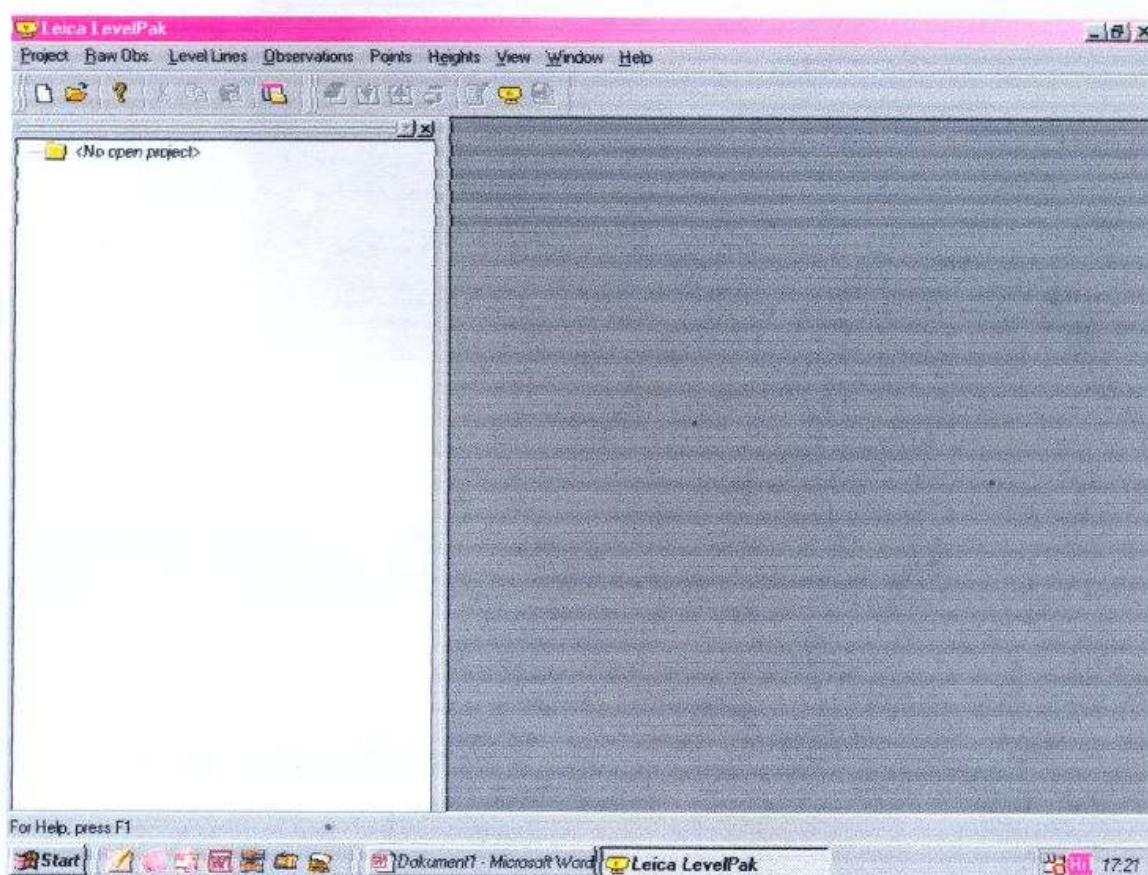


Digitalni nivelir Leica NA 2002

Prijenos mjerenih podataka iz digitalnog nivelira Leica NA 2002 u računalu obavljen je korištenjem programa *Leica Level Park* (posebnog softwarea za prijenos i obradu podataka iste tvrtke)

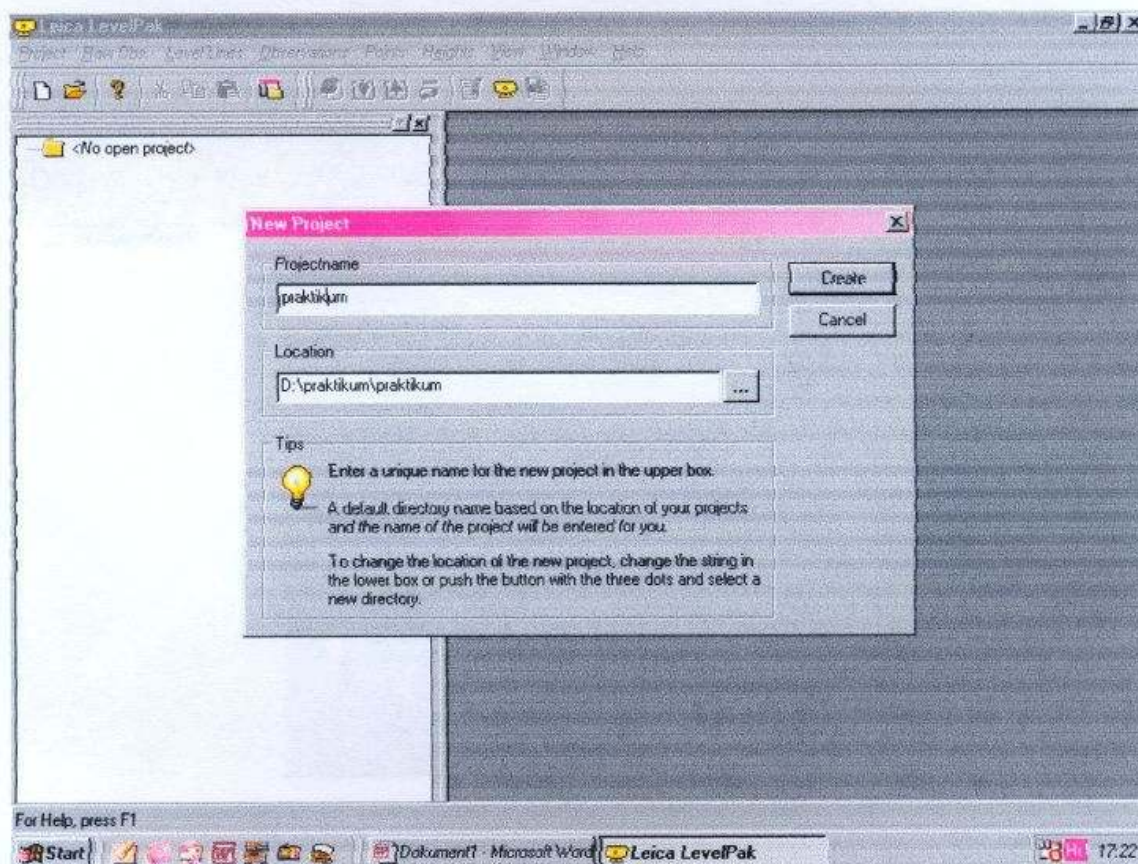
Postupak prebacivanja podataka opisan je sljedećim koracima:

1. Startanje programa dvostrukim klikom miša na ikonu *Leica Level Park*. Pokretanjem programa na ekranu se pojavi ova slika.



2. Sljedeći korak je kreiranje vlastitog projekta i to na ovaj način:

-Izborom naredbe *New* na padajućem izborniku *Project*, te se unese ime projekta. (kako je vidljivo na slici dolje)



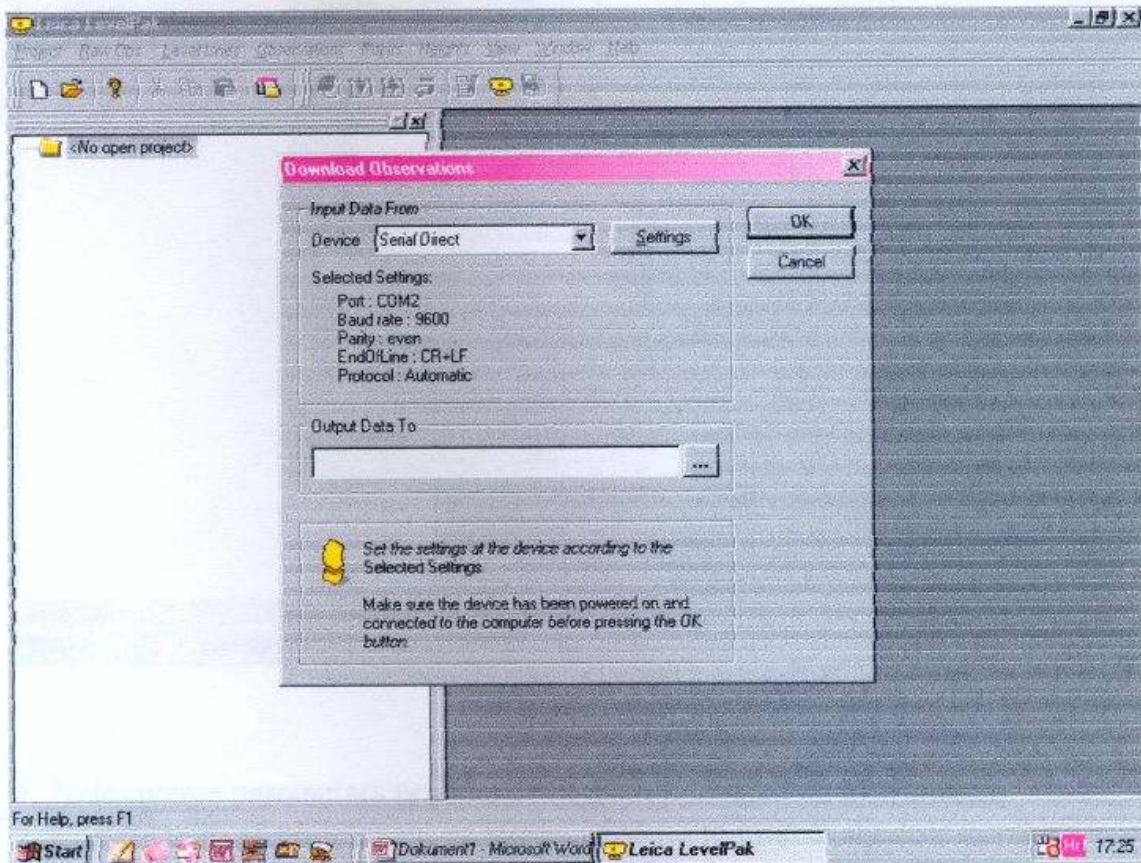
3. Provjera parametara: *Project*

Preferences
Tolerances

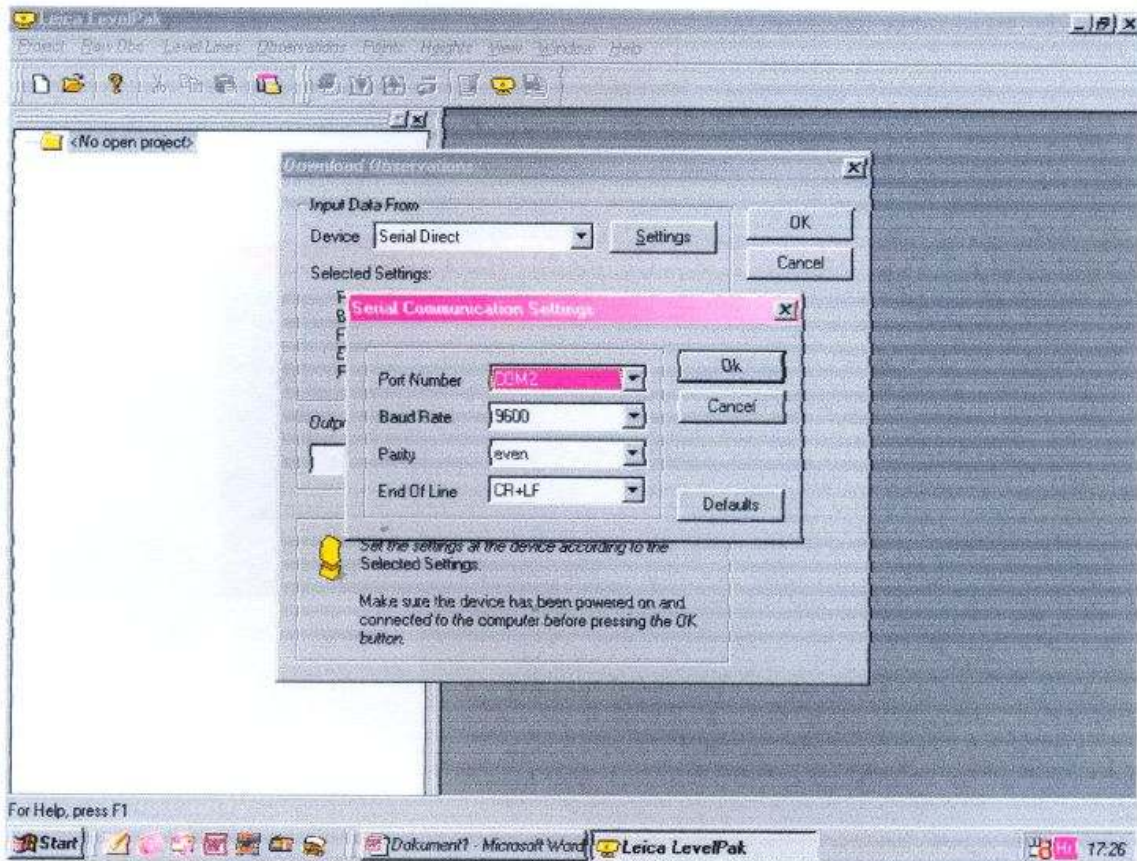
4. Prebacivanje mjerenih podataka (*Download observations*), i to na sljedeći način.

Odabirom naredbe *Download observations* sa padajućeg izbornika *Raw observations*.

Također se odabire u koji će se direktorij pohraniti naš dokument sa prebačenim podacima mjerenja.



U ovom dijaloškom okviru odabire se način prijenosa i parametri prijenosa i to klikom na naredbu **Settings**. (ovi parametri na slici se odnose na naš slučaj)



5. Podešavanje parametara prijenosa mjerenih podataka na instrumentu.

- Parametri se podešavaju na sljedeći način i to prateći sljedeće korake:

Na instrumentu se odabiru sljedeće naredbe.

SET

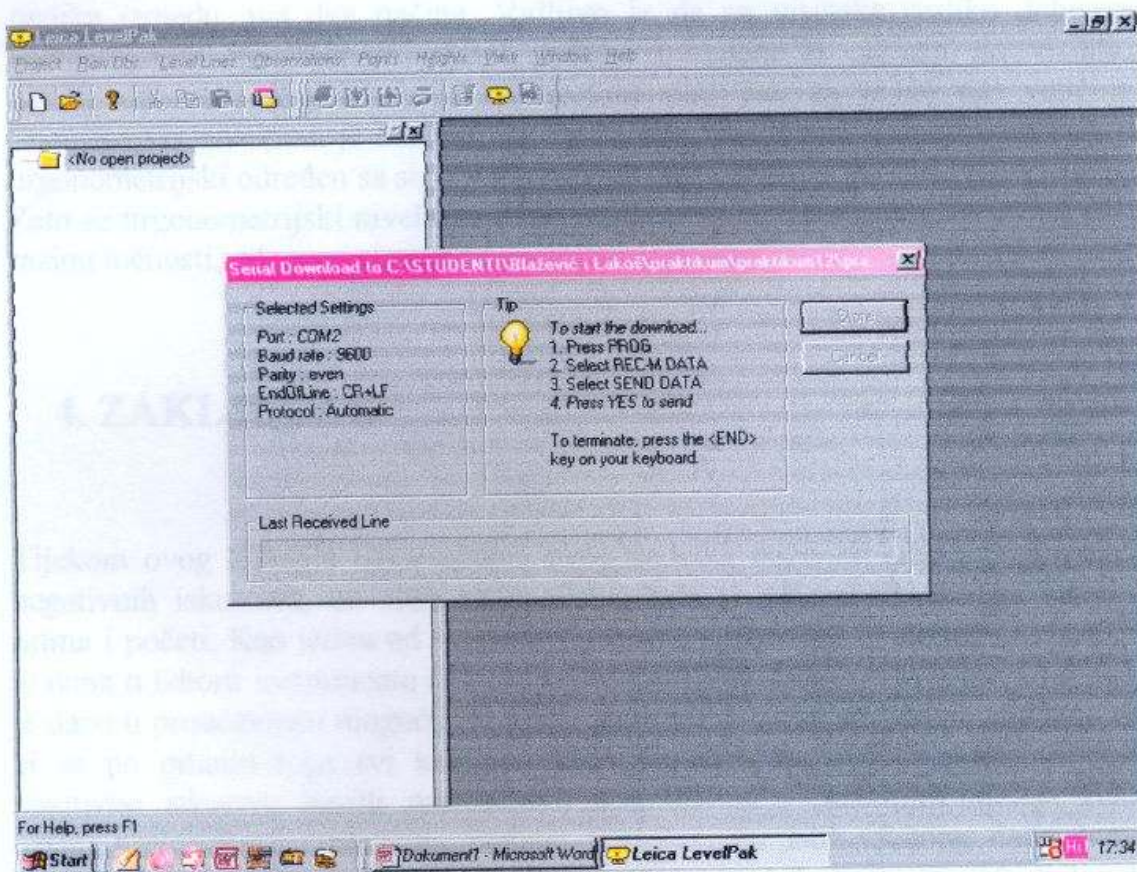
CONFIG – COMM – standard

SET

CONFIG – COMM – USER: -BAUD 9600
 -PROTOCOL without

Kada su parametri instrumenta podšeni klikne se naredba **OK**.

6. Startanje prijenosa mjerenih podataka počinje kad se odradu naredbe u dijaloškom okviru koji se pojavi nakon klikanja **OK**. Kada su podaci prebačeni kliknemo na naredbu **Store**.



3.3. OBRADA PODATAKA

Obrada podataka obavljena je u tabličnom kalkulatoru *Excel-u*. Format zapisa mjerenih podataka prilagođen je za unos u *Excel* (ekstenzija *.xls). Sračunat je poligonski vlak čime su dobivene položajne koordinate 5.novih točaka, zatim je programiran program za izjednačenje nivelmanskog vlaka po posrednim njerenjima sa pripadajućim ocijenama točnosti. Tablični podaci, postupak računanja te skica prikazane su u poglavlju 5. DODACI (TABLICE I SKICA)

3.4. USPOREDBA REZULTATA NA OSNOVU DOBIVENIH OCIJENA TOČNOSTI

Iz priloženih tablica lako se uočava razlika u točnosti određivanja visinskih razlika između ova dva načina. Vidljivo je da su visinske razlike dobivene geometrijskim nivelmanom znatno točnije određene u odnosu na visinske razlike dobivene trigonometrijskim nivelmanom, čak za jedan red veličina. Geometrijski nivelman je određen sa sigurnošću razine mm i ispod mm, dok je trigonometrijski određen sa sigurnošću razine cm.

Zato se trigonometrijski nivelman i upotrebljava za zadatke koji zahtijevaju nižu razinu točnosti, odnosno sigurnosti.

4. ZAKLJUČAK

Tijekom ovog kolegija i realiziranja ovog zadatka doživjeli smo i pozitivnih i negativnih iskustava, na naše zadovoljstvo bilo je više pozitivnih pa ćemo s njima i početi. Kao jednu od najpozitivnijih stvari istaknuli bi slobodu koja nam je dana u izboru instrumenta s kojim ćemo raditi, te slobodu i vrijeme koje nam je dano u proučavanju mogućnosti i principa rada instrumenta. Mišljenja smo da bi se po pitanju toga svi kolegiji morali ugledati na ovaj. Također bi kao pozitivno iskustvo naveli profesorovu susretljivost i razumijevanje sa svim našim problemima i pružanja pomoći u rješavanju istih. Jednog dana ćemo postati diplomirani inženjeri geodezije i svjesni smo da ćemo morati djelovati samostalno, ali smo mišljenja da smo u ovom kolegiju često bili previše prepušteni sami sebi pa bi predložili da se u kolegij uključi jedan demonstrator koji bi ga podigao na višu razinu. Smatramo da bi se na taj način ubrzao i pojednostavio proces upoznavanja s instrumentom što bi omogućilo studentima da obave zadatke većih opsega i na taj način iskoriste više vremena za upoznavanje s raznim mogućnostima koje pružaju instrumenti, a njih je zaista mnogo. Na kraju ćemo još reći da se nadamo se da će ovaj naš rad poslužiti idućim generacijama Geodetskog fakulteta, koji će izabrati ovaj kolegij, u radu s instrumentima koji su u njemu obrađeni.

ST	l [m]	Br. točke	Dk[m]	Vz	H _z	β	Hd[m]	Hd srednje	Δh'	r	Δh	Δh srednje
T	1,395	5	8,675	90.° 03' 64"	329.° 12' 97"	293.° 56' 52"	8,665		0,315	1,500	0,024	
1	1,610	1	3,671	90.° 07' 38"	35.° 56' 45"	0,270	3,660	3,61	0,270	1,500	0,021	
2	1,400	2	3,622	94.° 15' 45"	300.° 04' 30"	249.° 29' 21"	3,612		-0,269	1,370	-0,022	-0,0222
3	1,405	3	6,182	92.° 56' 29"	189.° 33' 51"	139.° 13' 05"	6,174	6,17	-0,317	1,300	-0,087	
4	1,405	4	6,065	88.° 57' 53"	248.° 46' 28"	27.° 59' 33"	6,164		0,184	1,500	0,084	0,0858
5	1,660	5	8,668	90.° 34' 16"	348.° 03' 46"	293.° 25' 31"	8,668	8,67	-0,086	1,320	-0,006	
6	1,405	6	8,661	90.° 39' 50"	281.° 29' 17"	242.° 11' 36"	8,660	2,46	-0,100	1,300	0,005	0,0055
7	1,405	7	2,457	92.° 29' 20"	99.° 09' 31"	8,534	2,455		-0,107	1,320	-0,006	
8	1,405	8	2,469	91.° 50' 06"	341.° 21' 07"	221.° 43' 17"	2,468	8,53	-0,079	1,320	0,006	0,0061
9	1,660	9	8,532	89.° 15' 37"	141.° 53' 42"	8,665	8,534	8,53	0,211	1,500	0,016	
10	1,660	10	8,652	92.° 25' 04"	3.° 36' 59"		8,652	8,67	-0,360	1,320	-0,020	-0,0182
11	1,660	11	8,670	92.° 03' 13"			8,665		-0,311	1,370	-0,021	

TRIGONOMETRIJSKI OBRAZAC BR. 19									
Broj točke	β	ν	d[m]	Δy [m]	Δx [m]	Y[m]	X[m]	Broj točke	
5	$293^{\circ} 56' 52''$ $3''$	180° ' '		$0,01$	$-0,01$	100,00	100,00	T	
T	$293^{\circ} 56' 52''$ $3''$	$293^{\circ} 56' 55''$	3,61	$-3,30$	$1,47$				
1	$249^{\circ} 29' 21''$ $3''$	$3^{\circ} 26' 19''$	6,17	$0,02$	$-0,01$	96,71	101,46	1	
2	$139^{\circ} 13' 05''$ $3''$	$322^{\circ} 39' 27''$	8,67	$0,37$	$6,16$	97,10	107,61	2	
3	$293^{\circ} 25' 31''$ $3''$	$76^{\circ} 05' 01''$	2,46	$-5,26$	$-0,02$	91,87	114,48	3	
4	$242^{\circ} 11' 36''$ $3''$	$138^{\circ} 16' 4''$	8,53	$0,01$	$0,59$	94,26	115,07	4	
5	$221^{\circ} 43' 17''$ $3''$	180° ' '	8,67	$0,03$	$-0,02$	99,97	108,68	5	
T				$5,68$	$-6,37$	100,00	100,00	T	
				$0,00$	$-8,67$				
				$-8,56$	$15,11$				
				$8,43$	$-15,03$				
		S	38,11						
S(ima)	$1439^{\circ} 59' 42''$		S(ima)[m]	$-0,13$	$0,08$				
S(treba)	1440° ' '		S(treba)[m]	0	0				
$f_b =$ $\Delta f_b =$	$18''$ $110''$		$f_{y,x} (m) =$ $f_d (m) =$ $\Delta_{II} (m) =$	$0,13$ $0,15$ $0,09$	$-0,08$				

Podaci mjerenja nivelmanskog vlaka

Br. Točke	Hd [m]	očitanje na letvi	očitanje na letvi [m]	Δh [m]
51	2,060	16445	1,6445	
52	2,140	16445	1,6445	0,0000
53	3,520	16378	1,6378	
54	2,630	16382	1,6382	0,0004
55	4,270	16460	1,6460	
56	4,790	16459	1,6459	-0,0001
57	3,140	16501	1,6501	
58	2,500	16485	1,6485	-0,0016
59	4,590	16393	1,6393	
60	4,140	16395	1,6395	0,0002
61	4,780	16433	1,6433	
62	4,610	16482	1,6435	0,0002

Izjednačenje (geometričkog) nivelnanskog vlaka

Br. Točke od	Br. Točke do	Visinska razlika h [m]	Dužina strane [m]
T	1	0,0000	4,2
1	2	0,0004	6,15
2	3	-0,0001	9,06
3	4	-0,0016	5,64
4	5	0,0002	8,73
5	T	0,0002	8,86

Kote zadanih repere

Broj repere	Aps. visina [m]
T	100,00

Približne vrijednosti nepoznanica

Broj čvorne točke	Aps visina [m]
1	100,0000
2	100,0004
3	100,0003
4	99,9989
5	99,9991

0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0

0 0 0 0 0 1 1 0 0 0

0 0 0 1 1 0 0 0

A

0 0 0 1 1 0 0 0

1 1 0 0 0 0 1

Ae

1 0 0 0 0 0 0 1

1 0 0 0 0 0 0 1

S 1 0 0 0 0 2

	P
0,2381	
0,1626	
0,1104	
0,1773	
0,1145	
0,1773	

		N=AtPA						-n=-AtPI
0.4007	-0.1626 0.2730	0.0000 0	0	0		0.2381 0.0000 0.0000 0.0000	0.0000 -0.0331 0.0508 -0.0292	
	0.2877	-0.1773 0.2919	0.0000 0	0.0000				

Kontrola sastava normalnih jednažbi:

AtPs		Ne-n	
0,2381		0,2381	
-0,0331		-0,0331	
0,0508		0,0508	
-0,0292		-0,0292	
0,3838		0,3838	

Definitivne vrijednosti nepoznanik
 $X=x_0+x$

x [mm]			
-0,08524		1	=
-0,21005		2	=
-0,69391		3	=
-0,70837		4	=
-0,98554		5	=

Definitivna mjerenja

Ax	-l	v [m]	h+v
-0,0852	0	-0,0001	-0,0001
-0,1248	0	-0,0001	0,0003
-0,4839	0	-0,0005	-0,0006
-0,0145	0	0,0000	-0,0016
-0,2772	0	-0,0003	-0,0001
-0,9855	1	0,0000	0,0002

Kontrola računanja popravaka:

$AtPv = -1,81E-16 = 0$

Kontrola izjednačenja:

$vtPv = 0,0000$
 $-ltPv = 0,0000$

Ocjena točnosti: $m_0 = \sqrt{\frac{v'Pv}{n-u}} = 0,1974mm$

Srednje pogreške pojedinih mjerenja:

pi:	0,2381	0,1626	0,1104	0,1773	0,1145	0,1773
mi:	0,2861	0,3462	0,4202	0,3315	0,4125	0,3315

Izjednačenje (trigonometrijskog) nivelmanskog vlaka

Br. Točke od	Br. Točke do	Visinska razlika h [m]	Dužina strane [m]
T	1	-0,0222	3,61
1	2	0,0858	6,17
2	3	0,0055	8,67
3	4	0,0061	2,46
4	5	-0,0182	8,53
5	T	-0,0207	8,67

Kote zadanih repere

Broj repere	Aps. visina [m]
T	100,00

Približne vrijednosti nepoznanica

Broj čvorne točke	Aps visina [m]
1	99,9778
2	100,0636
3	100,0691
4	100,0569
5	100,0362

	s	$-l$ [m]	A_e
1	1	0,044	1
2	0	0,000	0
3	0	-0,033	0
4	0	-0,087	0
5	0	0,112	0
6	1	-0,057	1

	P
0,2769	
0,1620	
0,1154	
0,4073	
0,1172	
0,4073	

		N=AtPA		Ne	-n ⁺ -AtPI
0,4388	-0,1620	0,0000	0	0,2769	0,0123
	0,2773	0	0,0000	0,0000	0,0039
		0,5227	-0,4073	0,0000	0,0317
			0,5246	0	-0,0487
				0,5246	-0,0101

Kontrola sastava normalnih jednadžbi:

AtPs		Ne-n		x [mm]		Definitivne vrijednosti nepoznanice: X=x0+x	
0,2892		0,2892		-0,033926424	1	=	99,9778
0,0039		0,0039		-0,015988545	2	=	100,0636
0,0317		0,0317		0,042590959	3	=	100,0692
-0,0487		-0,0487		0,137048675	4	=	100,0571
0,3973		0,3973		0,049809634	5	=	100,0363

Ax		-I		v [m]		Definitivna mjerenja h+v	
-0,0339		0,044		0,0105		-0,0117	
0,0179		0,000		0,0179		0,1037	
0,0586		-0,033		0,0252		0,0307	
0,0945		-0,087		0,0071		0,0132	
-0,0872		0,112		0,0248		0,0066	
0,0498		-0,057		-0,0071		-0,0278	

Kontrola računanja popravaka:

AtPv = 67361737988404E-19 0

Kontrola izjednačenja:

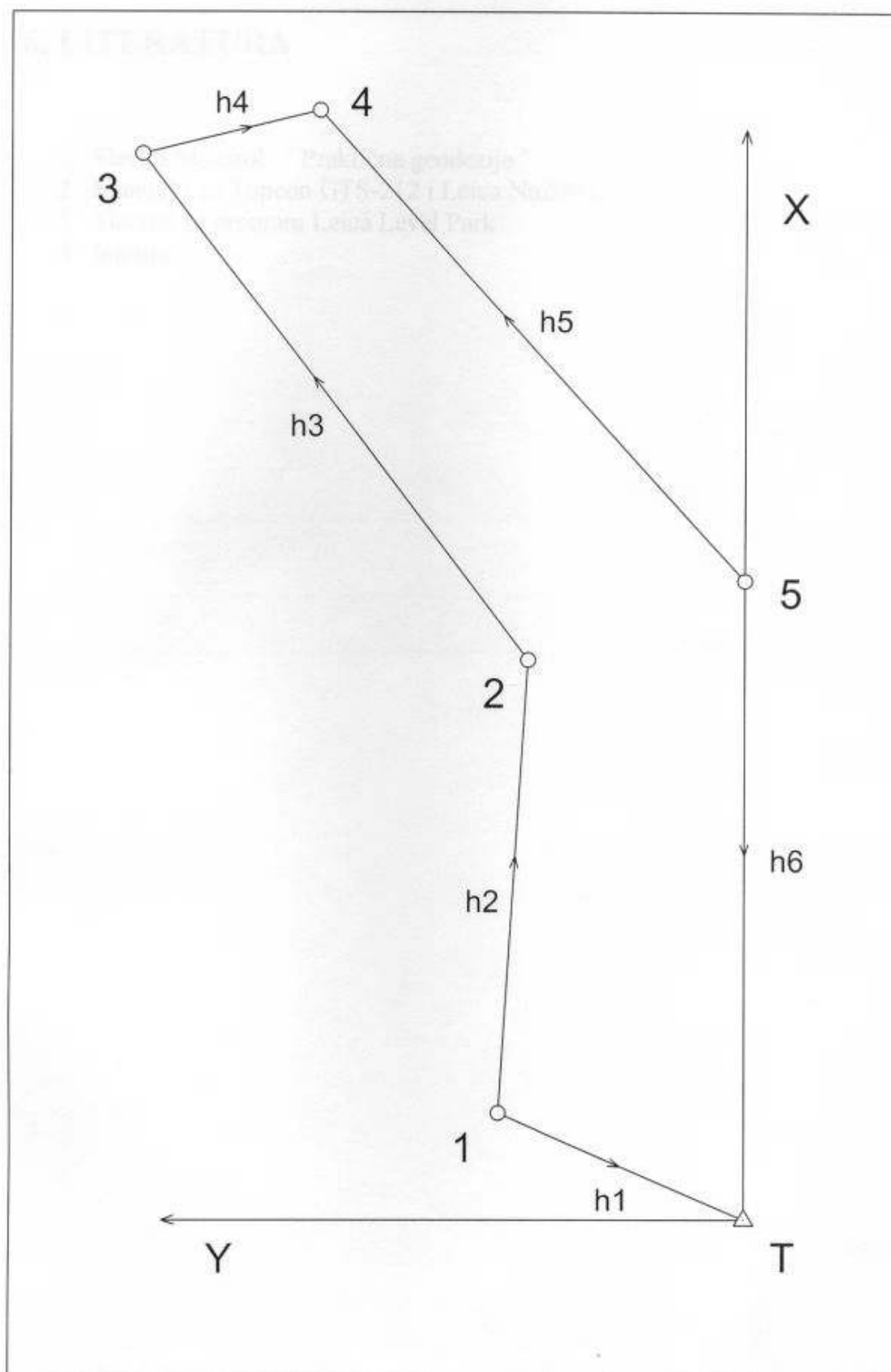
vtPv 0,0003
-itPv 0,0003

Ocjena točnosti: $m_0 = \sqrt{\frac{v^t P v}{n - u}}$ 1,64083830

Srednje pogreške pojedinih mjerenja:

pi:	0,2769	0,1620	0,1154	0,4073	0,1172	0,4073
mi:	3,1185	4,0771	4,8309	2,5709	4,7925	2,5709

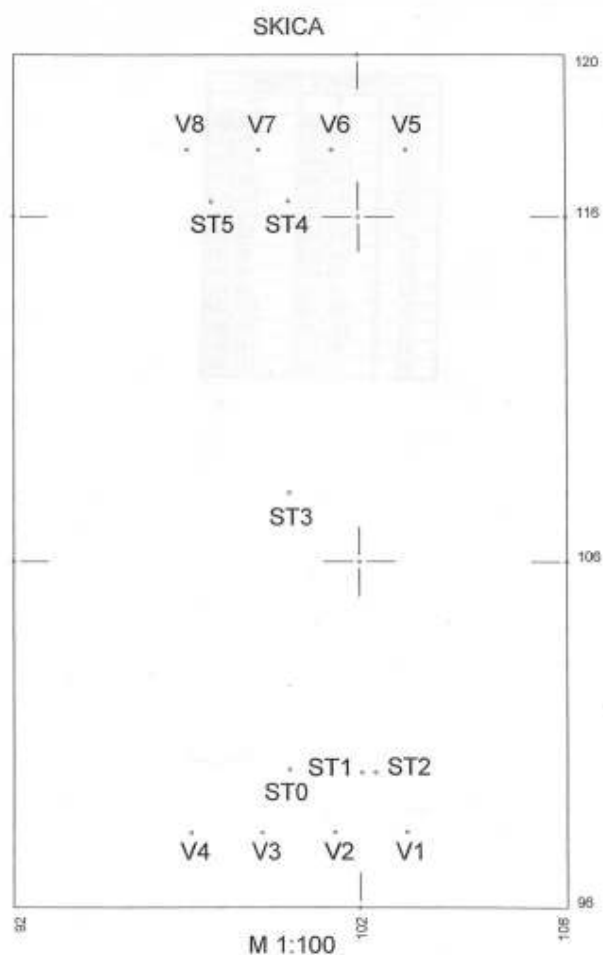
SKICA VLAKA

 $M = 1 : 75$

6. LITERATURA

1. Slavko Macarol : " Praktična geodezija "
2. Manual-i za Topcon GTS-212 i Leica Na2002
3. Manual za program Leica Level Park
4. Internet

6.7.3. Prikaz točaka i popis koordinata u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta



KOORDINATE TOČAKA		
broj	Y	X
ST0	100,000	100,000
ST1	102,053	99,912
ST2	102,449	99,913
ST3	100,000	108,011
ST4	100,000	116,452
ST5	97,742	116,442
V1	103,354	98,182
V2	101,282	98,177
V3	99,197	98,158
V4	97,115	98,153
V5	103,354	117,935
V6	101,255	117,928
V7	99,134	117,931
V8	97,053	117,932

KOORDINATE	
broj	Z
ST0	119,042
V1	120,781
V2	120,759
V3	120,591
V4	120,592
V5	121,266
V6	121,269
V7	121,267
V8	121,244

LITERATURA

- Bačić, Ž., Bačić, T. (1999.): Satelitska geodezija II, skripta Geodetskog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Benčić, D. (1971.): Optika, Kućna tiskara Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Benčić, D. (1973): Instrumentalna optika, optički uređaji i pribori u mjernoj tehnici i automatizacija mjernih procesa, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.
- Benčić, D. (1990.): Geodetski instrumenti, Školska knjiga, Zagreb.
- Bilajbegović, A., Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. (1991.): Osnovni geodetski radovi-suvremene metode GPS, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Crawford, G. W. (1995.): Construction, Surveying and Layout, Creative Construction Publishing, West Lafayette, Indiana, USA.
- Deumlich, F. (1980.): Instrumentenkunde der Vermessungstechnik, VII. Izdanje, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Deumlich, F., Staiger, R. (2002.): Instrumentenkunde der Vermessungstechnik, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Fialovszky, L. (1991.): Surveying instruments, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Kahmen, H. (1977.): Elektronische Meßverfahren in der Geodäsie, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Kahmen, H. (1993.): Vermessungskunde (18. izdanje), Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Macarol, S. (1961.): Praktična geodezija, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Novaković, G. (2003./2004.): Geodetske mreže posebnih namjena, interna skripta, Geodetski fakultet, Zagreb
- Solarić, N. (1994.): Digitalni niveliri Wild (Leica) s automatskim očitavanjem letve, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Šljivarić, M. (2001.): Integracija RTK-GPS-a i dubinomjera u mjerni sustav za nadzor riječnih plovni putova, Magistarski rad, Geodetski fakultet, Zagreb.