

## IV Predavanje

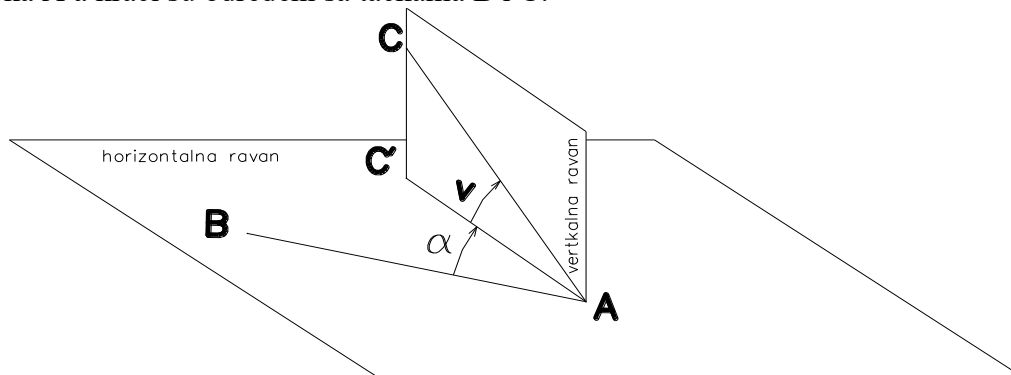
Definicija ugla u ravni. Mjerne jedinice ugla i njihovi međusobni odnosi. Mjerenje ugla uglomjerom. Osnovne karakteristike instrumenata i pomoćne opreme za mjerenje uglova. Razvoj instrumenata za mjerenje uglova. Priprema instrumenta za postupak mjerenja ugla. Metode za mjerenje uglova.

### 4.1 Definicija ugla u ravni

Ugao se definiše kao dio ravni koji zahvataju dvije poluprave koje se sijeku u tački koja se zove tjeme ugla. Poluprave između kojih je dio ravni, zovu se kraci ugla.

U geodeziji se ugao dobija kao mjera obrtanja - za koliko treba rotirati lijevi krak ugla u smjeru kretanja kazaljke na časovniku da poklopi desni krak ugla.

U geodeziji, svaki ugao u prostoru, određen je sa tri tačke, od kojih je jedna tjeme ugla a druge dvije tačke su na krajevima krakova ugla. Kako se na Slici 1 vidi, tjeme ugla je tačka A a kraci su određeni sa tačkama B i C.



Šlika 1. Horizontalni i vertikalni ugao

Ugao može pripadati bilo kojoj ravni. Uglovi se mogu nalaziti u horizontalnoj, vertikalnoj ili u bilo kojoj drugoj kosoj ravni.

U geodeziji se isključivo upotrebljavaju, pa tako i mjere, uglovi koji se nalaze u horizontalnoj ravni i vertikalnoj ravni. Na Slici 1 horizontalni ugao je označen sa  $\alpha$  a vertikalni sa  $v$ .

Postoji više razloga, zbog čega se mjere samo horizontalni i vertikalni uglovi. Jedan od glavnih vezan je za činjenicu, da je u geodeziji glavna projekciona ravan na koju se projektuje prostor i koja je osnova za izradu geodetskih odnosno topografskih podloga, u stvari horizontalna ravan dobijena po principima Gaus-Krigerove projekcije.

Zbog toga je, da bi tačno pozicionirali prostorne forme u horizontalnoj ravni, potrebno mjeriti horizontalne uglove.

Drugi razlog je vertikalna predstava terena, koja se određuje pomoću nadmorskih visina tačaka, koje su upravne na horizontalnu ravan, odnosno koje su vertikalne, pa je za njihovo pozicioniranje u verikalnoj ravni potrebno mjeriti vertikalne uglove.

## 4.2 Mjerne jedinice ugla i njihovi međusobni odnosi

U SI sistemu mjera, jedinica za mjerenje uglova je radijan. Radian je centralni ugao kod koga je dužina luka jednaka poluprečniku kruga ( $l = r$ ). Dobija se kad se pun krug podijeli sa  $2\pi$  odnosno:  $360^\circ / (2 \times 3.141592654) = 360^\circ / 6.28318531 = 57^\circ,295779510$ . Dakle, pun krug ima  $2\pi$  radijana.

Pi ili  $\pi$  je matematička konstanta, danas široko primjenjivana u matematici i fizici. Njena približna vrijednost je 3,14159 a definiše se kao odnos obima i prečnika kruga ili kao odnos površina kruga i kvadrata nad njegovim poluprečnikom. Pi je takođe poznato i kao Arhimedova konstanta ili Ludolfov broj. Broj pi ima beskonačno mnogo decimala i u proračunima u geodeziji treba ga uzimati iz memorije u kalkulatorima (nikako 3,14!).

U geodetskoj praksi se kod uglovnih mjerenja i računanja najčešće koristi jedinica stepen ( $^\circ$ ). Cio krug čini  $360^\circ$  (pun ugao), a prav ugao iznosi  $90^\circ$  (četvrtina punog kruga). Jedan stepen čini 60 uglovnih minuta ( $'$ ), dok jedan uglovni minut čini 60 uglovnih sekundi ( $''$ ). Iz prethodnog se može sračunati da jedan stepen čini 3600 uglovnih sekundi. Ova podjela se zbog broja 60 koji je u osnovi, naziva seksagezimalna podjela.

Gradus je 400-ti dio punog kruga. Jedan gradus ima 100 gradusnih minuta ( $^c$ ) a gradusna minuta 100 gradusnih sekundi ( $^{cc}$ ) tako da jedan gradus ima 10000 gradusnih sekundi. Ova podjela se zbog broja 100 koji je u osnovi, naziva centezimalna podjela.

Najčešća mjera za uglove koja se koristi u geodeziji je seksagezimalna – stepena mjera. Međutim u raznim proračunima koristi se i radijan, naročito kada su sa jedne strane jednakosti, dužinske jedinice a sa druge jedinice u stepenoj podjeli. Takođe, veliki broj starijih geodetskih instrumenata je zbog jednostavnije računice konstruisan sa gradusnom podjelom. Zbog toga treba naći vezu između svih ovih jedinica koje se koriste.

Ova veza se dobija iz činjenice da su definisani njihovi odnosi sa punim krugom koji je konstantan. Tačnije, jedan isti ugao zauzima procentualno isti dio punog kruga ma u kojim jedinicama da se izražava.

Iz ovoga se može izvesti proporcija za bilo koji definisani ugao  $\alpha$ :

$$\frac{\alpha^\circ}{360} = \frac{\alpha^g}{400} = \frac{\alpha^{rad}}{2\pi}$$

Iz ove proporcije se mogu izvesti relacije između uglova izraženih u sve tri vrste jedinica. Tako je odnos ugla u seksagezimalnoj i centezimalnoj podjeli:

$$\alpha^\circ = \left(\frac{360}{400}\right) * \alpha^g = \left(\frac{9}{10}\right) * \alpha^g$$

Ovdje treba imati u vidu da se ovako dobija dekadni zapis ugla u stepenima koji treba pretvoriti u seksagezimalni oblik u stepenima, minutima i sekundima. Pretvaranje ugla iz dekadnog u seksagezimalni oblik i obratno, biće detaljnije opisano u zadacima u sklopu ovog predavanja.

Obratna relacija odnosa, kada ugao dat u centezimalnoj podjeli želimo da izrazimo preko stepeni se takođe izvodi iz gore navedene proporcije pa se dobija:

$$\alpha^g = \left(\frac{400}{360}\right) * \alpha^\circ = \left(\frac{10}{9}\right) * \alpha^\circ$$

Relacija između ugla datog u stepenima i njegove vrijednosti u radianima:

$$\alpha^{\circ} = \left(\frac{360}{2\pi}\right) * \alpha^{rad} = \left(\frac{360}{2 * 3,14159}\right) * \alpha^{rad} = 57,295778 * \alpha^{rad}$$

I obratno:

$$\alpha^{rad} = \left(\frac{2\pi}{360}\right) * \alpha^{\circ} = \left(\frac{2 * 3,14159}{360}\right) * \alpha^{\circ} = 0,017453 * \alpha^{\circ}$$

Ostaje da se još definiše relacija gradusi – radijani:

$$\alpha^s = \left(\frac{400}{2\pi}\right) * \alpha^{rad} = \left(\frac{400}{2 * 3,14159}\right) * \alpha^{rad} = 63,661977 * \alpha^{rad}$$

I obratno:

$$\alpha^{rad} = \left(\frac{2\pi}{400}\right) * \alpha^s = \left(\frac{2 * 3,14159}{400}\right) * \alpha^s = 0,015708 * \alpha^s$$

Pretvaranje dekadne u centezimalnu podjelu kod gradusa je jednostavno. Pošto je osnova broj 100 tada treba samo odvojiti prve dvije cifre iza decimalnog zareza za gradusne minute i sledeće dvije za gradusne sekunde. Pri ovom poslednjem treba voditi računa o zaokruživanju cifara koje je detaljno objašnjeno u zadacima uz prvo predavanje.  $\alpha = 259,89576^s = 259^s 89^c 58^{cc}$ ,  $\beta = 197,05093^s = 197^s 05^c 09^{cc}$ .

Na ovaj način, pomoću zadane proporcije, se može za bilo koju vrijednost ugla  $\alpha$  u bilo kojim jedinicama naći njena ekvivalentna vrijednost u ostale dvije.

### 4.3 Mjerenje ugla uglomjerom

Ugao se može direktno mjeriti pomoću uglomjera. Horizontalni ugao, odnosno ugao u horizontalnoj ravni moguće je izmjeriti sa uglomjerom koji se nalazi u horizontalnoj ravni. Isto tako, vertikalni ugao, odnosno ugao u vertikalnoj ravni može se mjeriti sa uglomjerom koji se nalazi u vertikalnoj ravni.

Prilikom mjerenja ugla, centar uglomjera se poklapa sa tjemnom ugla a pravci se „očitavaju” na uglomjeru.

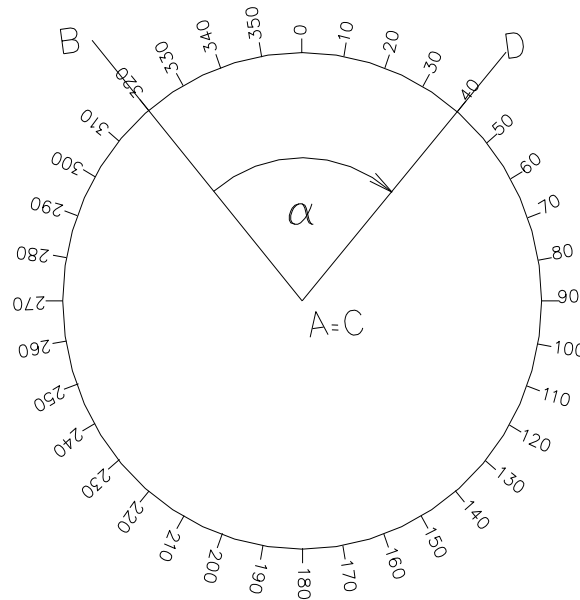
U geodeziji se računa samo sa uglovima koji imaju pozitivnu vrijednost, odnosno kod kojih se lijevi krak rotira oko tjemena u pravcu kretanja kazaljke na časovniku, dok se ne poklopi sa drugim krakom. Dakle, od „čitanja” uglomjera kod desnog kraka uvijek se oduzima „čitanje” uglomjera kod lijevog kraka. Ukoliko se ovako dobije negativan ugao, tada se ovoj vrijednosti dodaje  $360^{\circ}$ .

Ovo znači da se uglomjerom može mjeriti ugao, bez obzira u kom se položaju nalazi nula uglomjera.

Na Slici 2 se vidi jedan slučaj mjerenja ugla uglomjerom kod kojega se nula uglomjera ne poklapa sa pravcem lijevog kraka ugla tako da je čitanje kod lijevog kraka B -  $320^{\circ}$  a kod desnog kraka D -  $40^{\circ}$ .

Kako je već rečeno, vrijednost ugla  $\alpha$  dobija se iz razlike čitanja kod desnog i lijevog kraka, odnosno  $\alpha = D - B$ . Na prvi pogled dobija se negativan ugao jer je čitanje na desnom kraku manje od čitanja na lijevom kraku. Pošto se u geodeziji ne računa sa negativnim uglovima, tako se ovoj razlici dodaje  $360^{\circ}$  pa se dobija vrijednost ugla:

$$\alpha = 40^\circ - 320^\circ = -280^\circ (+360^\circ) = 80^\circ$$



Slika 2. Mjerenje ugla uglomjerom

Detaljniji opis nekoliko primjera mjerenja ugla dat je u zadacima uz treće predavanje.

Centar horizontalnog limba mora da se poklapa sa tjemnom ugla kao što je to prikazano na Slici 2 sa  $A=C$  gdje je  $A$  tjeme ugla a  $C$  centar limba.

Inače, prilikom računanja vrijednosti uglova uopšte, treba imati u vidu da je perioda pun ugao, tj  $360^\circ$  ili  $2\pi$  radijana. Ovo znači da ukoliko imamo ugao veći od  $360^\circ$  možemo od njega oduzimati  $360^\circ$  sve dok ne dobijemo vrijednost između  $0^\circ$  i  $360^\circ$ . Tako da, ako u nekoj računskoj kalkulaciji dobijemo vrijednost ugla npr.  $1040^\circ$  on je ekvivalentan uglu od  $320^\circ$ .

$$\alpha = 1040^\circ = 1040^\circ(-360^\circ) = 680^\circ(-360^\circ) = 320^\circ$$

Vrijednosti sinusa, kosinusa, tangensa i ostalih trigonometrijskih funkcija između ova dva ugla su iste.

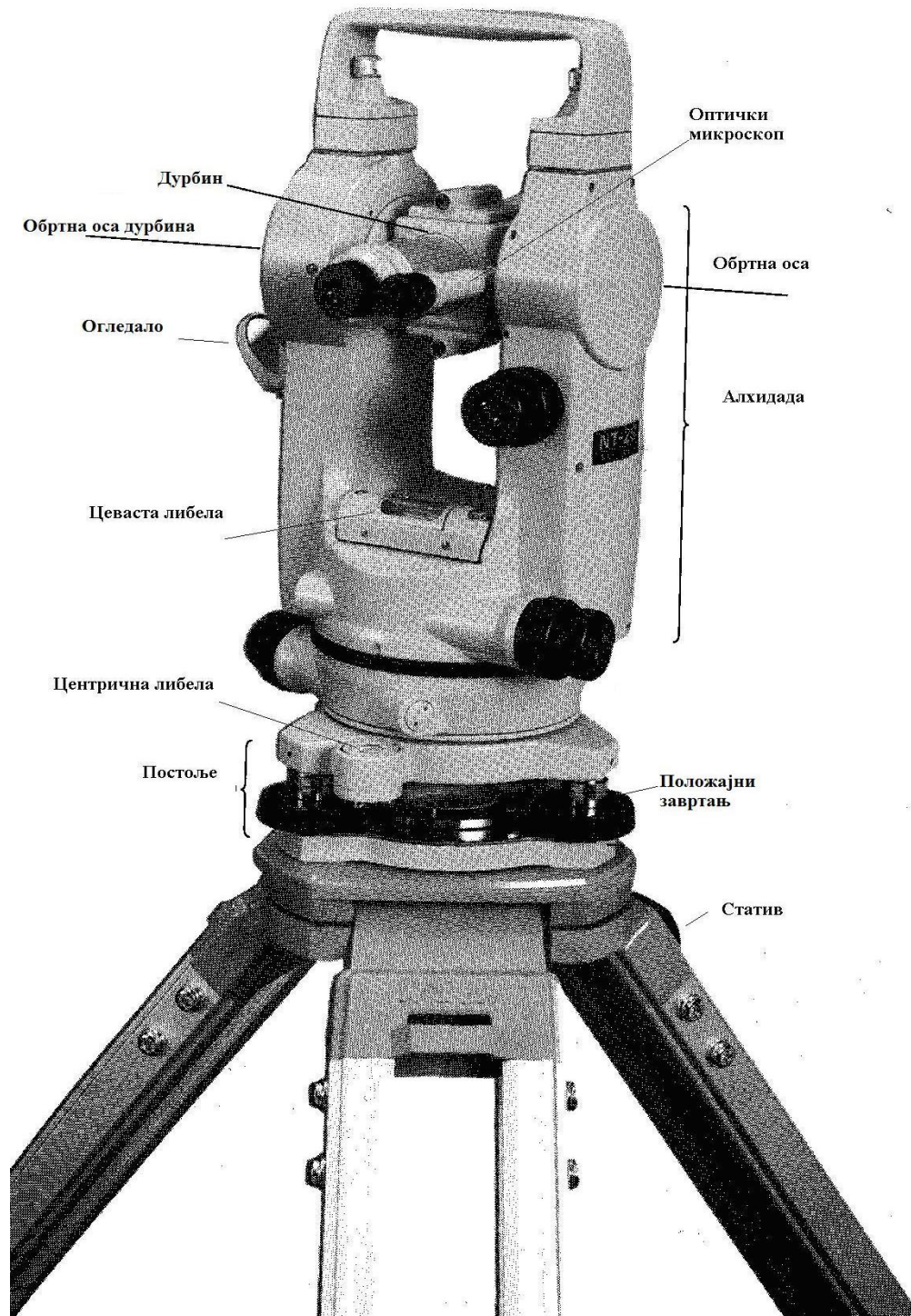
#### 4.4 Osnovne karakteristike instrumenata i pomoćne opreme za mjerenje uglova.

Uglomjer se za mjerenje ugla može koristiti ako je podloga za mjerenje ugla neka ravna površ na koju se uglomjer bez problema može postaviti i na kojoj je tjeme i krake ugla lako identifikovati.

Međutim, kod mjerenja uglova na terenu, uglomjer nije moguće koristiti bez ikakvih pomoćnih djelova, koji bi ga prije svega mogli podići sa terena. Ovako postavljen uglomjer na tjemenu ugla na terenu nemoguće je horizontirati i identifikovati krake ugla. Pored toga, mjerenja uglova u projektovanju zahtijeva mnogo veću tačnost od one koja se postiže običnom podjelom uglomjera.

Zbog toga je trebalo konstruisati instrument u koji će biti ugrađen uglomjer, koji će biti podijeljen na djelove od jedne uglovne minute a koji se pod mikroskopom i

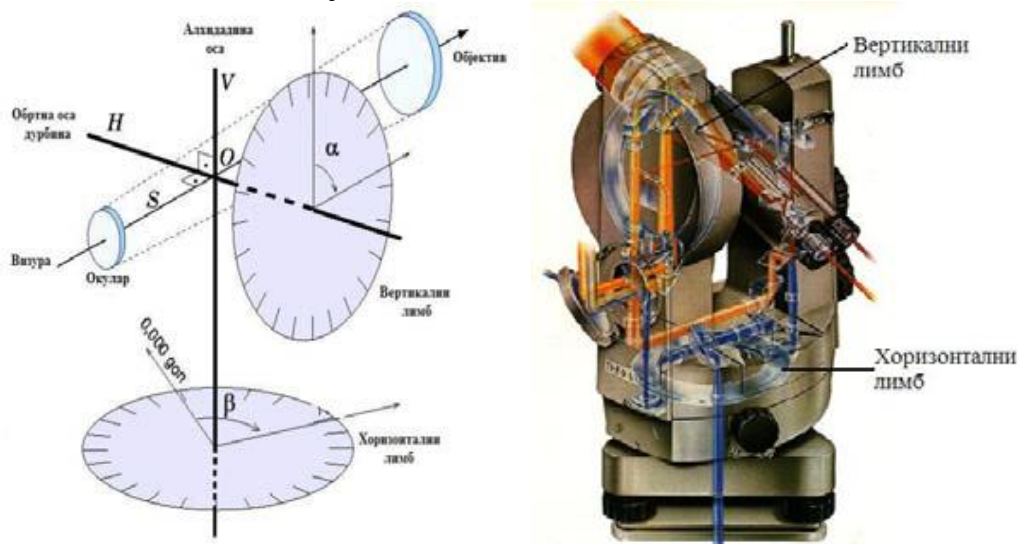
dodatnom skalom u mikroskopu mogu očitati sa tačnošću od nekoliko uglovnih sekundi. Ovakvi geodetski instrumenti za mjerenje uglova nazivaju se teodoliti. Savremeni teodoliti nazivaju se totalne stanice. Izgled jednog teodolita sa svojim osnovnim djelovima dat je na Slici 3. Osnovni djelovi teodolita su: položajni zavrtnjevi, postolje, alhidada, libele (cjevasta i centrična), durbin, horizontalni i vertikalni limb, uređaji za očitavanje podjele horizontalnog i vertikalnog limba itd...



Slika 3. Teodolit i njegovi osnovni djelovi

Uglomjer ugrađen u instrument zove se „limb”. Limb je specijalni uglomjer u obliku kružnog prstena, koji se ugrađuje u instrument koji služi za mjerenje uglova (teodolit). Najčešće postoje dva limba, jedan za mjerenje uglova u horizontalnoj a drugi za mjerenje uglova u vertikalnoj ravni pa se zbog toga zovu: horizontalni i vertikalni limb. Oni su u instrument ugrađeni pod pravim uglom i to tako da se horizontalni limb može dovesti u horizontalnu ravan, pri čemu će vertikalni limb automatski biti u vertikalnoj ravni (Slika 4).

Tako se i definiše prvi uslov koji treba da zadovolji instrument za mjerenje horizontalnih uglova koji glasi: “Horizontalni limb kod mjerenja horizontalnih uglova treba da se nalazi u horizontalnoj ravni”.



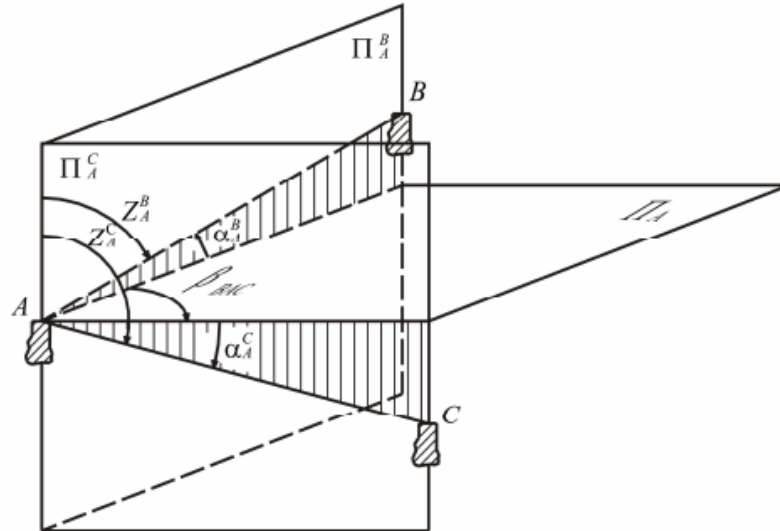
Slika 4. Horizontalni i vertikalni limb

Limbovi za vrijeme mjerenja ugla moraju biti nepokretni a centar horizontalnog limba mora da se poklapa sa tjemnom ugla. Podjela na horizontalnom limbu se nanosi u smjeru kretanja kazaljke na časovniku i može biti u stepenima ili gradusima.

Centar vertikalnog limba, nalazi se u presjeku vertikale povučene iznad centra horizontalnog limba i obrtne osovine durbina. Indeksi za očitavanje vertikalnog limba stoje nepomično i neophodno je da, pri svakom njegovom očitavanju, budu uvijek na istom mjestu. Podjela vertikalnog limba može biti izvedena u smjeru kretanja kazaljke na časovniku, kada se pomoću njega mjere zenitna odstojanja ili u suprotnom smjeru od smjera kretanja kazaljke na časovniku, ukoliko se pomoću njega mjere vertikalni uglovi.

Zenitno odstojanje ( $Z$ ) je vrijednost ugla koja se dobija rotacijom pravca vertikale od pravca zenita do pravca određene vizurne tačke u smjeru kretanja kazaljke na časovniku. Zenitno odstojanje može imati vrijednosti od  $0^\circ$  do  $180^\circ$  (ne postoje negativne vrijednosti  $Z$ ). Vertikala prodire nebesku sferu iznad horizonta u tački koja se zove zenit, a ispod horizonta u tački koji se zove nadir.

Vertikalni ugao ( $\alpha$ ) je ugao koji pravac vizure zaklapa sa horizontalnom ravni, i mjeri se u vertikalnoj ravni koja sadrži vizuru. Ukoliko je vizurna tačka iznad horizonta, vertikalni ugao je pozitivan i može imati vrijednosti od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ . Ako je vizurna tačka ispod horizonta vrijednost ugla se kreće od  $0^\circ$  do  $-90^\circ$ . Pravilo je da zenitno odstojanje i vertikalni ugao u sumi uvijek daju prav ugao ( $Z + \alpha = 90^\circ$ ). Na Slici 5 data je ilustracija zenitnog odstojanja i vertikalnog ugla.



Slika 5. Zenitno odstojanje i vertikalni ugao

Teodolit mora imati dodatne djelove pomoću kojih se mogu materijalizovati krakovi ugla, jer samo limb bez ovih dodataka nije dovoljan.

Horizontalni i vertikalni limb su povezani konstrukcijom koja se zove „alhidada“. Alhidada se može okretati (rotirati) oko jedne zamišljene prave koja se naziva alhidadina osa. Kada je kretanje alhidade blokirano, ona se precizno može dovesti u željeni položaj mikrometarskim zavrtnjem za fino kretanje alhidade (lijevo-desno).

Alhidada se oslanja na tri položajna zavrtnja. Oni služe da se horizontalni limb dovede u horizontalnu ravan. U tom cilju, na alhidadi se nalazi cjevasta libela na čiji položaj djeluju položajni zavrtnji.

Cjevasta libela je brušena staklena cev zakrivljenog oblika, ispunjena alkoholom ili sumpornim etrom - tečnosti sa niskom tačkom smrzavanja i jednim mjehurom koji uvijek zauzima najviši položaj. Osim cjevaste, postoji i centrična libela. Ona se izrađuje od šire cilindrične staklene cevi, čiji je gornji unutrašnji dio brušen kao sferna kalota i služi za približno dovođenje pravih i ravni u horizontalan ili vertikalni položaj (Slika 6). Kada se mjehur libele nalazi u ispušćenom dijelu libele koji je označen crticama ili krugom, kaže se da libela vrhuni i tada se ravan na kojoj leži libela nalazi u horizontalnom položaju. Postoje libele sa različitim nivoima preciznosti dovođenja ravni u horizontalan položaj. Preciznost libele je ugao za koji se nagne libela, a da se okom ne primjeti da se mjehur pomjerio. Preciznost libele zavisi od osjetljivosti libele, kvaliteta obrade unutrašnje zakrivljene površi, temperature i dužine mjehura. U savremenim geodetskim mjernim instrumentima postoje integrisane elektronske libele koje imaju preciznost od  $1''$ .

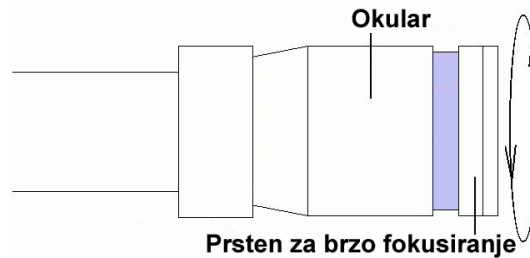


Slika 6. Cjevasta i centrična libela

Tri položajna zavrtnja u potpunosti određuju položaj ravni jer je iz geometrije poznato da tri tačke potpuno određuju ravan, ako se ne nalaze na istoj pravoj. Treba se podsjetiti i da dvije prave, ako nijesu paralelne, takođe potpuno određuju položaj ravni. To je i razlog što dvije koordinatne ose potpuno određuju projekcionu ravan.

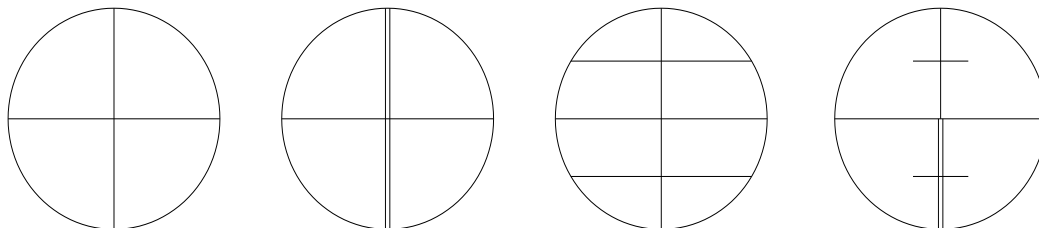
Kraci ugla se materijalizuju pomoću durbina koji je vezan za alhidadu. Durbin je optička sprava namijenjena za uveličavanje lika udaljenih predmeta, koji se posmatraju ili viziraju. Sastavljen je od okulara, objektiva i sistema sočiva. Durbin se može samostalno okretati u vertikalnoj ravni oko obrtne ose (obrtna osa durbina) na kojoj se nalazi centar vertikalnog limba.

Durbin se u horizontalnoj ravni okreće zajedno sa alhidadom. Na gornjem i donjem dijelu durbina nalazi se optički nišan, koji se koriste za grubo viziranje pravaca. Rotacija durbina oko obrtne ose može se zaustaviti (blokirati) specijalnim zavrtnjem ili odgovarajućom polugom. Durbin se tada može precizno usmjeriti mikrometarskim zavrtnjevima za fino kretanje durbina (gore-dolje i lijevo-desno). Pomoću zavrtnja koji se nalazi kod okulara vidno polje durbina se može izoštravati tako da objekat koji posmatramo kroz njega bude jasan ma na kojoj se udaljenosti nalazio (Slika 7). Ovo se postiže pokretanjem sistema sočiva u njemu.



Slika 7. Fokusiranje lika u vidnom polju durbina.

Centar okulara je materijalizovan kao presjek dvije crte koje su upravne i koje se zovu „končanice”. Dakle, one se uvijek nalaze u vidnom polju durbina. Na samom durbinu se nalazi i zavrtnanj za njihovo izoštravanje (zbog različitih dioptrija oka operatora). Na Slici 8 dati su oblici končanice koji se javljaju u geodetskim instrumentima.



Slika 8. Oblici končanice

Materijalizovani krak se zove „vizura” i definiše se kao zrak koji spaja centar okulara, presjek vertikalne i horizontalne crte končanice i tačku na koju je usmjeren durbin. Postupak navođenja vizure, da pogađa neku uočenu tačku ili predmet, naziva se viziranje. Dakle, to je postupak dovođenja centra okulara, centra objektiva (presjek končanica) i tačke koju viziramo u jedan pravac. Viziranje prethodi opažanju i čitanju podjele na limbu ili mjerenju dužine.

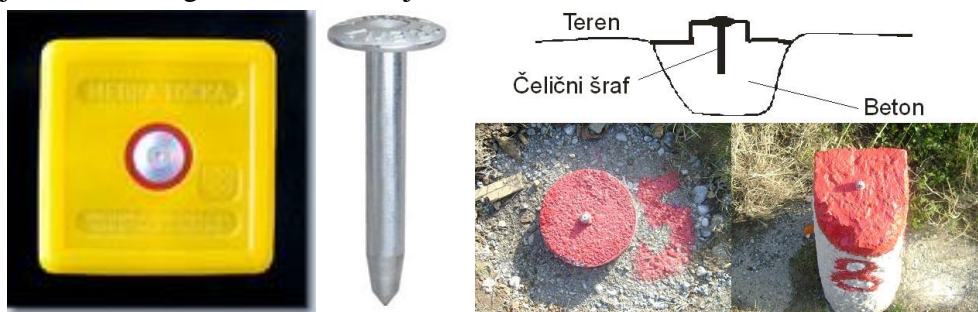


Kod mjerenja horizontalnih uglova nije važno da li se vizura nalazi u horizontalnoj ravni. Ona može u principu može biti u bilo kojoj ravni, jer se na horizontalnom limbu, ako je on u horizontalnoj ravni, očitava vrijednost koja je korespodentna projekciji vizure u horizontalnoj ravni. Za razliku od horizontalnog ugla, vertikalni ugao potpuno zavisi od položaja vizure u vertikalnoj ravni. Alhidada sa limbovima i durbinom se preko položajnih zavrtnjeva oslanja na glavu stativa koji ima oblik tronošca i koji izdiže instrumenat iznad zemlje na visinu sa koje se mogu vizirati okolne tačke (Slika 9). Da bi se instrument doveo na visinu oka posmatrača, nogari instrumenta su konstruisani tako da lako mogu mijenjati dužinu. Instrument se pomoću centralnog zavrtnja koji se nalazi na glavi stativa pričvršćuje za njega. Kod konstrukcije stativa, ostavljena je mogućnost da se na centralnom zavrtnju može okačiti visak ali i da se može koristiti optički ili laserski visak, koji su neophodni kod dovođenja centra limba iznad tjemena ugla.



Slika 9. Izgled stativa

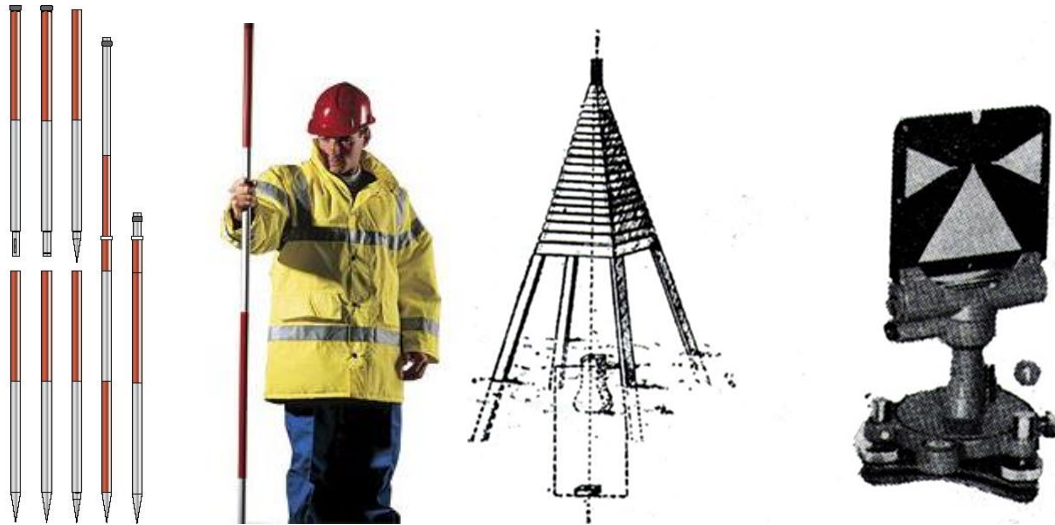
Tjeme ugla je na terenu materijalizovano nekom od stabilnih biljega. Najčešće je to betonski stubić dimenzija 5x5x40cm, čelična bolcna ukucana u asfalt ili neka od biljega ugrađenih u beton sa jasno istaknutim centrom na koji se tjeme ugla odnosi (Slika 10). Tjemena ovih uglova obično imaju određene koordinate.



Slika 10. Izgled betonske i metalne bolcne za materijalizuju tjemena ugla

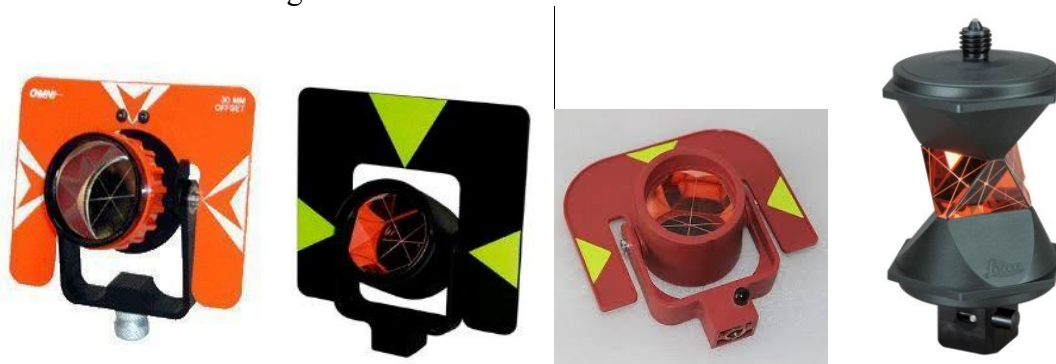
Ako se vrši samo mjerenje horizontalnog ugla, onda se krak materijalizuje sa značkom ili trasirkom kako se još u praksi zove. Tačke mogu biti signalisane i pomoću piramide ili markice (slika desno).

Značka je izrađena kao metalni, ranije drveni štap dužine do 2m sa naizmjenično obojenim poljima najčešće crveno bijele boje - Slika 11. Crvena boja je izabrana zbog toga što se najrjeđe pojavljuje u prirodi i najlakše je primijetiti. Pojavom instrumenata koji osim horizontalnih i vertikalnih uglova mogu istovremeno da mjere dužine, upotreba znački je svedena na minimum.



Slika 11. Izgled geodetske značke (trasirke), piramide i markice

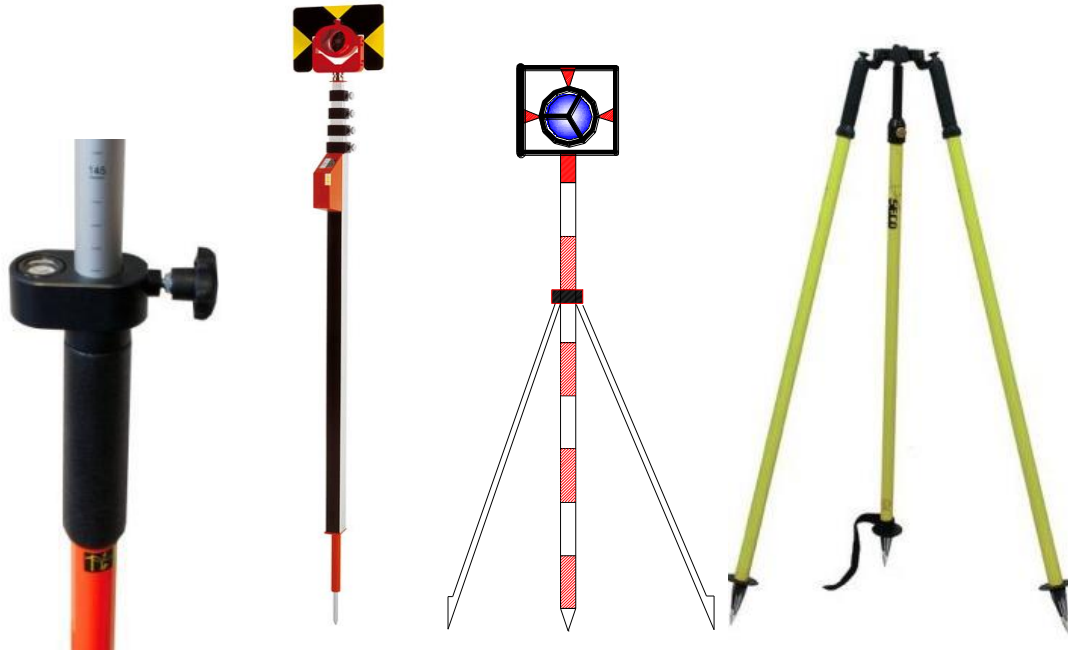
Kao što je rečeno, u posljednje vrijeme se sve više koriste geodetski instrumenti koji osim uglova imaju i mogućnost očitavanja dužina. Zbog toga su, za tačno mjerenje uglova i dužina, konstruisane prizme koje se postavljaju na krajevima kraka ugla. Prizme u sredini imaju stakleno tijelo, od kojega se odbija elektromagnetni talas. U okolini staklenog tijela, ucrtane su markice koje služe za viziranje kod mjerenja horizontalnih i vertikalnih uglova (Slika 11). Potrebno je vertikalnu i horizontalnu crtu končanice dovesti na ove lako uočljive markice i tada će elektromagnetni zrak da se odbije od centra prizme. Prizma treba da bude okrenuta ka instrumentu da bi se očitala dužina do nje. Danas postoje i takozvane “360 prizme” (desno u Slici 12) koje se ne moraju okretati ka instrumentu već se mogu vizirati sa svih strana.



Slika 12. Izgled prizme

Prizma se nosi na nosaču prizme koji ima centričnu libelu sa kojom se nosač prizme (štap) dovodi u vertikalu. Ona može služiti i za viziranje i za mjerenje uglova i za mjerenje dužina. Ovi nosači su najčešće promjenjive dužine a na podjeli koja je ugravirana na njima vidi se tačna visina centra prizme iznad tačke na koju su postavljeni. Najčešće se mogu “razvući” do 3 m ali ih ima koji mogu imati dužinu i do 5 m. Ovo je naročito pogodno kada se tačka koja se vizira nalazi iza neke velike prepreke.

Za preciznija mjerenja nosač prizme se na tačkama postavlja i dovodi u vertikalu pomoću metalnog dvonošca ili tronošca (desno u Slici 13).



Slika 13. Nosači prizmi i tronožac

Za precizna mjerenja u geodeziji koriste se i takozvane mini prizme (Slika 14). One su vrlo pogodne jer se mogu postaviti na veoma maloj visini iznad vizurne tačke (0.1 m) sa čime se greška usled nevertikalnosti nosača prizme svodi na minimum. I ona ima mogućnost mijenjanja svoje dužine jer u kompletu sa njom dolazi i nekoliko nastavaka fiksne dužine koji se mogu jednostavno montirati.



Slika 14. Mini prizma

#### 4.5 Razvoj instrumenata za mjerenje uglova

Teodolit je geodetski instrument za mjerenje vertikalnih i horizontalnih pravaca (uglova) i optičko (danas elektronsko) mjerenje dužina. Prvi teodolit napravljen je u Njemačkoj u XVI vijeku.

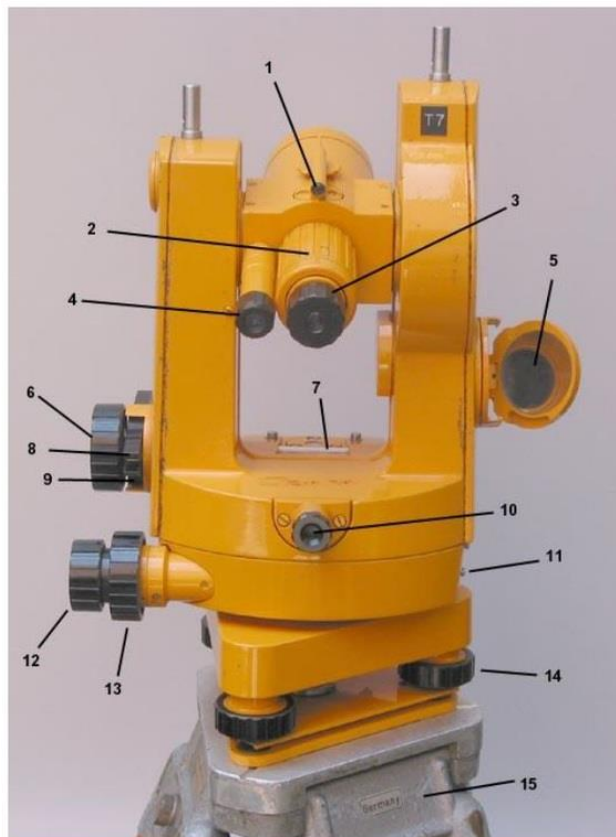
Nekoliko slika teodolita prve generacije dati su na Slici 15.



Slika 15. Prva generacija teodolita

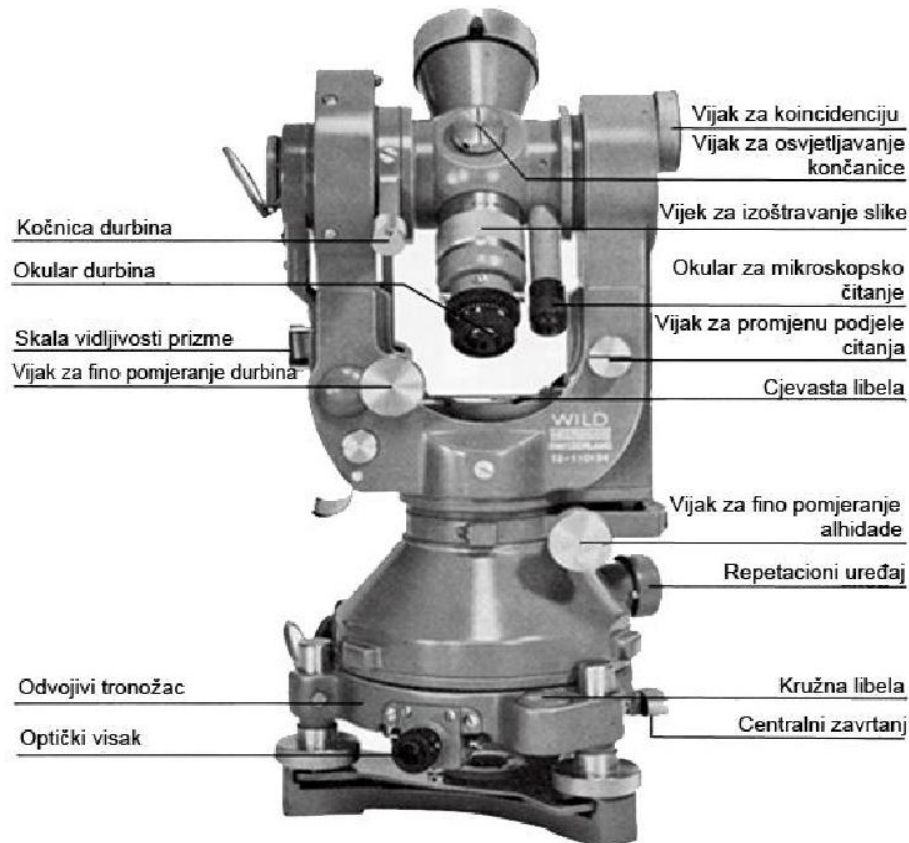
Kod ovih instrumenata, u podnožju se nalazila konstrukcija sa tri položajna zavrtnja iznad koje se nalaze horizontalni i vertikalni limb. Takođe, sadržali su durbin jednostavne konstrukcije i nekoliko libela potrebnih za horizontiranje limba. Pored toga, na instrumentu su se nalazili uveličavajuća stakla-lupe, koje su služil za bolje i tačnije očitavanje podeoka na limbu. Ovi instrumenti nijesu imali mogućnost očitavanja dužina.

Sljedeća generacija teodolita odlikuje se mnogim poboljšanjima kako u pogledu zaštite limbova tako i u zamjeni lupa za čitanje limba sa mikroskopima sa skalom. Izgled te generacije instrumenata prikazan je na Slici 16.



THEO 020 A (Zeiss)

1. optički nišan
2. vijak za fokusiranje
3. vijak za dioptriranje
4. mikroskop sa skalom
5. ogledalo za osvjetljenje vidnog polja
6. vijak za osvjetljenje očitavanja vertikalnog i horizontalnog kruga
7. cijevna libela
8. kočnica durbina
9. kočnica alhidade
10. optički visak
11. repeticijski uređaj
12. vijak za fini pomak alhidade ( $\leftrightarrow$ )
13. vijak za fini pomak durbina ( $\updownarrow$ )
14. podnožni vijak
15. glava stativa



Slika 16. Druga generacija teodolita – proizvođači Zeiss i Wild

Želja da se mjerno-tehničke operacije na terenu svedu na viziranje tačke, a zatim da se sve prepusti mikroprocesoru, započinje se ostvarivati u razvojnim laboratorijima proizvođača instrumenata. Sljedeći korak u razvoju bio je primjena mikroprocesora u grani instrumenata, koja će omogućiti dalju automatizaciju mjernog procesa i rezultate tih mjerenja memorisati. Prema toj svestranoj funkciji elektronski teodoliti nazvani su totalne stanice.

U početku totalne stanice izrađivale su se modularno; kao poseban modul bio je elektronski teodolit, poseban modul elektrooptički daljinomjer i poseban modul memorija, tj. računar. Poslije toga izrađivali su se tako da jedan modul bio elektronski teodolit i elektrooptički daljinomjer, a drugi modul računar. U današnje vrijeme totalne stanice izrađuju se integrisano, tj. u jednom modulu su elektronski teodolit, elektrooptički daljinomjer i unutrašnja memorija sa računarom.

Totalna stanica je kompjuterizovana verzija elektronskog teodolita. Elektronski daljinomjer je najveća prednost totalnih stanica i biće detaljnije opisan u sledećem predavanju. On zahtijeva prizmu na kraju mjerene dužine koja reflektuje odaslane elektromagnetne talase. Pomoću specijalizovanih softvera, totalne stanice imaju mogućnost digitalnog očitavanje ugla, dužine i visinske razlike. Sa ovim se između ostalog izgubila potreba za jednim članom geodetske ekipe koji je zapisivao sva mjerenja iz starijih teodolita. Sada se podaci mjerenja memorišu na magnetnom mediju i koriste za automatsko računanje koordinata karakterističnih tačaka objekata i terena. Svi podaci se mogu vidjeti na displeju koji se nalazi sa prednje strane (najnovije generacije totalnih stanica imaju dva displeja). Izgled nekih modela totalnih stanica prikazan na Slici 17.



Slika 17. Teodoliti nove generacije – totalne stanice

Pored napretka u razvoju teodolita, napredovao je i razvoj pribora koji služi za mjerenje uglova i dužina. Poznata je činjenica, da tačnost mjerenja ugla, dužine i visinske razlike ne zavisi samo od karakteristika instrumenta, već i od pribora koji se koristi i metode mjerenja koja se primjenjuje za mjerenje. Početkom 1990-ih počinju se razvijati motorizovane totalne stanice sa automatskim traženjem prizme i viziranjem. Pomoću tog sistema moguće je grubo pronalaženje reflektora i praćenje reflektora koji se kreće. To omogućava opažanje i na pokretne ciljeve, što prije nije bilo izvodljivo.

Tačnost mjerenja teodolitom se ocjenjuje srednjom greškom pravca opažanog u dva položaja durbina. Po njemačkom standardu DIN 18724 teodoliti se dijele po tačnosti na:

- Teodolite visoke tačnosti (greška pravca do 0,6");
- Teodolite veće tačnosti (greška pravca do 2");
- Teodolite srednje tačnosti (greška pravca do 6");
- Teodolite manje tačnosti ili jednostavni teodoliti (greška pravca do 25").

Danas postoji mnogo proizvođača totalnih stanica čije cijene zavise od modela, tj. od tačnosti mjerenja pravca, dužine i odgovarajućih pratećih softvera. Najpoznatije fabrike za proizvodnju ovih instrumenata su: Leica, Trimble, Topcon, Sokkia, South, itd.

#### 4.6 Priprema instrumenta za postupak mjerenja ugla

Priprema instrumenta za mjerenje, predstavlja ispunjavanje nekih uslova koji su neophodni da bi se ugao mogao tačno izmjeriti.

Prvi uslov je da se centar limba dovede na vertikalnu koja prolazi kroz tjemenu ugla, odnosno da se centar limba i tjemenu ugla poklapaju. Ovaj postupak se zove „centrisanje instrumenta”. Centrisanje prvih teodolita se vršilo pomoću običnog viska. Kasnije, obični visak se zamjenjuje sa krutim viskom. Danas se instrumenti centrišu pomoću optičkog ili laserskog viska. Optički visak se nalazi u postolju instrumenta i ima mali durbin sa končanicama pomoću kojeg se vidi gdje se nalazi centar limba u odnosu na tačku iznad koje se centriše (srednja slika u Slici 18). Laserski visak se nalazi impregniran u samom instrumentu i pokretanjem te funkcije u totalnoj stanici pojavljuje se crveni laserski zrak koji pokazuje tačan položaj centra limba u odnosu na tačku (slika desno).



Slika 18. Centrisanje običnim, optičkim i laserskim viskom

Početak centrisanja se vrši tako što se iznad materijalizovanog tjemena ugla postavi stativ, tako da glava stativa bude približno iznad tjemena ugla. Instrument se postavi na stativ i okular instrumenta dovede na visinu oka posmatrača, tako da on bez napora u normalnom položaju može raditi sa instrumentom. Zatim se na centralni zavrtnanj postavi visak, ili se koriste optički ili laserski visak i konstatuje približan odnos centra limba i tjemena ugla. Popravka položaja se izvodi preko stativa, podižući ili spuštajući nogare koji utiču na visak da se postavi iznad tjemena ugla.

Paralelno sa ovim postupkom izvodi se i postupak horizontiranja. Dakle, drugi uslov je da se horizontalni limb nalazi u horizontalnoj ravni. Ovo se izvodi pomoću položajnih zavrtnjeva. Njihovim pomjeranjem dolazi i do pomjeranja viska tako da ove dvije operacije treba simultano izvoditi.

Pomoću položajnih zavrtnjava se dovodi centrična libela da vrhuni. Pojam da libela vrhuni, znači da se mjehur libele nalazi u sredini kruga koji označava centar libele. Instrument se precizno horizontira pomoću cjevaste libele koja se nalazi na alhidadi iznad položajnih zavrtnjeva i to na način što se instrument okreće tako da libela dođe u položaj paralelan sa dva položajna zavrtnja i djelovanjem na ta dva zavrtnja dovede da vrhuni. Zatim se instrument okreće za  $90^\circ$  tako da libela dođe u položaj da na nju može djelovati treći zavrtnanj i pomoću njega se dovede da vrhuni. Na ovaj način limb je doveden u horizontalnu ravan i centar mu se poklapa sa tjemenom ugla, pa se može pristupiti viziranju na lijevi krak ugla koji se mjeri i izvršiti čitanje na limbu. Ukoliko ova operacija bude uticala da visak odstupa od tjemena ugla za neku malu veličinu, instrument se za toliko pomjera po glavi stativa i eventualno opet popravi mjehur libele.

Kod savremenih totalnih stanica postoji jedna centrična libela na alhidadi pomoću koje se instrument dovede približno u horizontalan položaj. Zatim se pomoću dvije vrlo osjetljive elektronske libele koje se vide na displeju kao dvije upravne prave, do kraja horizontira.

Bitno je napomenuti da je za rad sa totalnim stanicama neophodna i napunjena baterija pomoću koje ona obavlja svoje funkcije. Obično u kompletu sa totalnom stanicom dolazi punjač, auto - punjač, dvije baterije, mini prizma, metar itd...

## 4.7 Metode mjerenja horizontalnih uglova

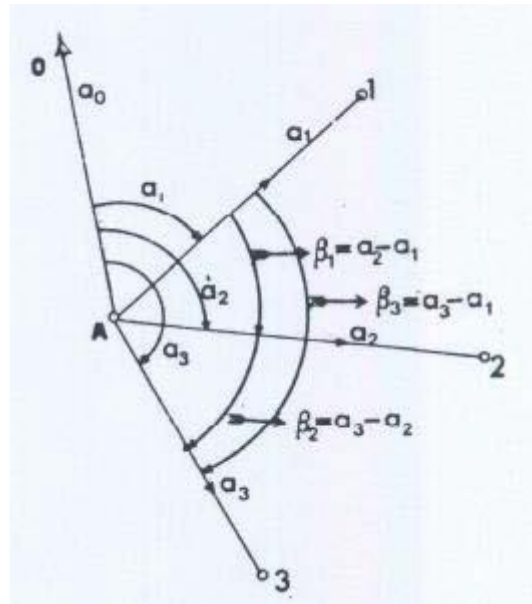
Postoji više metoda mjerenja horizontalnih uglova, ali se u praksi najčešće primjenjuju prosta i girusna metoda.

Prosta metoda podrazumijeva mjerenje horizontalnih pravaca samo u prvom ili drugom položaju durbina.

Dva položaja durbina se razlikuju po tome, što se u prvom položaju durbina, vertikalni limb nalazi sa lijeve strane instrumenta a u drugom položaju sa desne strane instrumenta, pri čemu se instrument posmatra u položaju od okulara prema objektivu.

Ovdje treba definisati još par termina koji se javljaju u geodeziji. Operator – stručnjak koji radi za instrumentom. Stanica – tačka iznad koje je centrisan instrument. Vizurna tačka - tačka iznad koje je postavljen signal koji se nakon toga vizira.

Ilustracija proste metode mjerenja horizontalnih uglova data je na Slici 19. Vrijednosti horizontalnih pravaca prema tačkama 1, 2 i 3 su označene sa  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  i  $\alpha_3$  dok je  $\alpha_0$  pravac koji odgovara nuli limba. Vrednosti horizontalnih uglova su označene sa  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  i  $\beta_3$ .



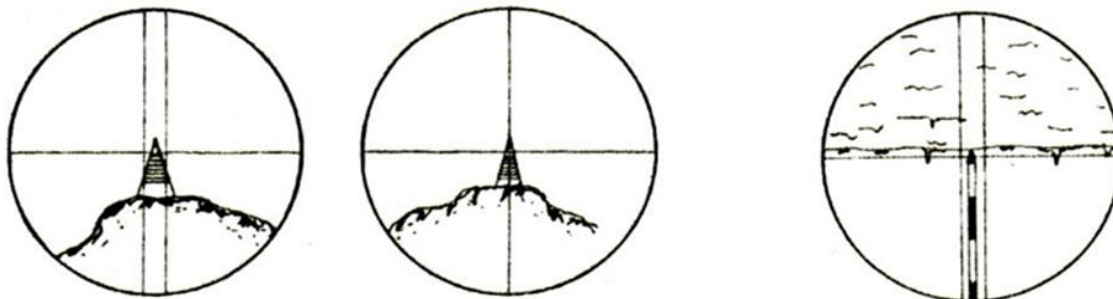
Slika 19. Prosta metoda mjerenja horizontalnih uglova

Sa slike se vidi da se horizontalni uglovi dobijaju iz razlike odgovarajućih pravaca. Opažani pravac neke tačke predstavlja ugao, za koji je potrebno zaokrenuti durbin instrumenta od nule limba do pravca tačke, mjereno u smjeru kretanja kazaljke na časovniku. U praksi se ova metoda sprovodi tako što se prvo očita pravac na početnoj vizuri a zatim se očitavaju pravci ka ostalim tačkama u smjeru kazaljke na časovniku. Prije pojave totalnih stanica, ovako očitani pravci su se upisivali u odgovarajući trigonometrijski obrazac broj 1, gdje su se kasnije računali uglovi iz njihovih razlika.

Inače, viziranje se vrši tako, što se preko grubog nišana na instrumentu, durbin usmjeri prema signalu. Zatim se pomoću zavrtnja za poništavanje paralakse, dovede lik signala na daljinu jasnog viđenja, ili kako se uobičajeno kaže, „izoštri” lik signala. Poslije toga se mikrometrom za fino okretanje instrumenta, poklopi vertikalni konac končanice sa likom signala i poslije toga izvrši očitavanje limba (Slika 20).



Nakon viziranja lijevog kraka, otpusti se kočnica horizontalnog limba i instrumenat se okrene u smjeru kretanja kazaljke na časovniku oko vertikalne osovine, koja se u literaturi zove „alhidadina osovina” i usmjeri prema desnom kraku ugla. Viziranje i čitanje se vrši po istom postupku kao i prilikom viziranja i čitanja lijevog kraka.



Slika 20. Viziranje

Kod instrumenata druge generacije, koji su još u upotrebi, čitanje limba se vrši preko mikroskopa i vrijednost čitanja zapisuje se u zapisnik. Kod novih instrumenata, totalnih stanica, viziranje se izvodi kao što je opisano a čitanje limba se izvodi automatski pritiskom na dugme displeja i ostaje u memoriji instrumenta. Robotizovane totalne stanice imaju mogućnost automatskog viziranja. Svi podaci iz totalne stanice se kasnije mogu jednostavno pomoću kabla, kartice, “usb-a” ili “bluetooth-a” prebaciti na računar gdje se vrši njihova dalja obrada.

Girusna metoda je karakteristična po tome što se nakon pripreme instrumenta i zadovoljavanja nekoliko uslova koji obezbjeđuju pouzdanost mjerenja, ugao mjeri u dva položaja instrumenta, koji čine jedan girus.

Sa jedne stanice se opažaju dva ili više pravaca. Svaki pravac se opaža u dva položaja durbina, tako da se za svaki pravac dobiju dvije vrijednosti, koje se razlikuju za približno 180°.

Postupak ide tako što se prvo vizira početna vizura u prvom položaju durbina i vrši čitanje podjele horizontalnog limba (kod totalnih stanica sva čitanja ostaju u memoriji). Potom se viziraju ostale tačke idući u smjeru kretanja kazaljke na časovniku i rezultati čitanja se unose u odgovarajuću rubriku zapisnika. Nakon čitanja na poslednjoj tački durbina se okrene u drugi položaj i počinje mjerenje pravaca, počev od poslednjeg pravca mjenog u prvom položaju durbina ka početnom pravcu, u smjeru suprotnom kretanju kazaljke na časovniku. Za svaki mjeneni pravac u prvom (I) i drugom (II) položaju durbina, sračuna se takozvana dvostruka kolimaciona greška po formuli:

$$2C = (II \pm 180^\circ) - I$$

180° se dodaje ukoliko je čitanje na limbu u drugom položaju bilo manje od 180°, u suprotnom ta vrijednost se oduzima. Ukoliko 2C prelazi dozvoljeno odstupanje, mjerenja se moraju ponoviti. Ukoliko je 2C u dozvoljenim granicama računa se srednja vrijednost opažanog pravca (popravljen za vrijednost kolimacione greške). Na vrijednost čitanja podjele limba u prvom položaju durbina algebarski se doda vrijednost kolimacione greške C.

$$sredina = I + C$$

Računanje srednje vrijednosti između vrijednosti pravca u prvom položaju i drugom položaju (promijenjen za 180° kao kod računanja kolimacione greške), za sve pravce na stanicama može se računati i preko formule:

$$sredina = \frac{I + (II \pm 180^\circ)}{2}$$

U trećem koraku se računaju redukovane sredine pravaca. Redukovana sredina odgovara vrijednosti sredine iz oba položaja pravca u slučaju kada bi se nula limba poklapala sa početnim pravcem. Redukovana sredina se dobija kada se od vrijednosti sredine pravca oduzima sredina početnog pravca.

$$Redukovana\ sredina_i = Sredina_i - Sredina_1$$

Ukoliko se dobije negativna vrijednost, na rezultat se dodaje 360°.

Iz dobijenih redukovanih sredina se zatim mogu sračunati traženi uglovi. U podacima se pronadju vrijednosti za stanicu koja predstavlja tjeme ugla. Potrebni uglovi se dobijaju oduzimanjem redukovane sredine lijevog pravca od vrijednosti redukovane sredine desnog pravca.

$$Ugao = Redukovana\ sredina_{desni} - Redukovana\ sredina_{lijevi}$$

Ukoliko se dobije negativna vrijednost, dodaje se 360°.

Ovim su završenja mjerenja i računanja ukoliko je girusnom metodom predviđeno mjerenje u jednom girusu. Za preciznija mjerenja u geodetskim mrežama često je projektom predviđeno mjerenje u 2 i više girusa. Kod starijih generacija teodolita tada se isti postupak ponavljao samo što se između pojedinih girusa limb pomjerao za vrijednost 180/n gdje je n broj girusa. Zbog elektronskog limba kod totalnih stanica u ostalim girusima se samo ponavlja postupak iz prvog girusa. Međusobna razlika između redukovanih pravaca u pojedinim girusima ne smije preći dozvoljenu granicu propisanu projektom. Granice dozvoljenih odstupanja određene su u zavisnosti od vrste radova, tačnosti čitanja podjele limba i vrste signala koji su korišćeni pri mjerenju uglova. Na kraju se definitivni pravci i uglovi dobijaju kao aritmetička sredina iz definitivnih vrijednosti iz svih girusa.

Totalne stanice automatski izračunavaju aritmetičku sredinu iz oba položaja durbina kao i srednje vrijednosti iz više girusa.

Ocjena tačnosti izmjenog ugla dobija se preko odstupanja mjerenja od aritmetičke sredine. Totalne stanice automatski izračunavaju tačnost izmjenog ugla, dok se kod mjerenja sa starijim instrumentima ta tačnost mora izračunavati. Kako izračunavanje tačnosti nije predviđeno za nivo ovoga kursa ono neće dalje biti elaborirano.

Mjerenje vertikalnih uglova se takođe može vršiti prostom i girusnom metodom.

Prosta metoda mjerenja zenitnih odstojanja (vertikalnih uglova) podrazumijeva mjerenje u jednom položaju durbina. Ova metoda nalazi primjenu samo pri polarnom (tahimetrijskom) snimanju detalja gdje zadovoljava zahtjeve tačnosti.

Girusna metoda mjerenja vertikalnih uglova (zenitnih odstojanja), podrazumijeva mjerenje u oba položaja durbina. I ovdje se kao kod horizontalnih uglova nalazi aritmetička sredina između dva položaja durbina kao i sredina između tako dobijenih vrijednosti između girusa.

Postupak mjerenja visinskih razlika biće posebno opisan u nekom od narednih predavanja.