

## Razvoj daljinomjera s vertikalnom letvom

s posebnim osvrtom na Wildov RDS

Potreba za uvođenje racionalnih metoda rada u geodeziji orijentirala je u zadnjim decenijama stručnjake i konstruktore geodetskih instrumenata na usavršavanje daljinomjera. Još uvijek postoji problem mjerenja dužina na jedan praktički lagan i udoban način, a da se uz to zadovolji potrebna točnost.

Konstrukcija daljinomjera u ovom periodu, čijem smo napretku svjedoci, razvijala se uglavnom u dva smjera:

- usavršavanjem geometrijske optike doći do instrumenata za optičko mjerenje dužina, koje će zadovoljiti potrebnu točnost za premjer bilo gradskog ili vangradskog područja tahimetrijskom metodom, i za optičko mjerenje dužina u poligonometriji.
- koristeći dostignuća fizikalne optike doći do instrumenata, s kojima će se moći mjeriti dužine s točnošću 1:50.000, pa do 1:1000000 za dužine od 1—30 km.

Težnja da se usavrše daljinomjeri za optičko mjerenje dužina donijela je poslije rata nekoliko novih tipova daljinomjera. To su u prvom redu Wildovi i Kernerovi daljinomjeri s vertikalnom i horizontalnom letvom. Tvornica Wild dala je dva nova autoredukciona tahimetra RDH<sup>1)</sup> s horizontalnom letvom i RDS<sup>2)</sup> s vertikalnom letvom.

Tvornica Kern pored svog ranije konstruiranog autoređ. daljinomjera s vertikalnom letvom DKR ima sada autoredukциони daljinomjer s horizontalnom letvom DK-RT.

Sve smo ove instrumente imali prilike vidjeti na našem I. kongresu u prosincu prošle godine, a naša geodetska služba uvodi u svoju opremu prema svojim mogućnostima nove daljinomjere, koji svojim optičkim svojstvima i konstruktivnim osobinama daju mogućnost svestranije primjene u državnom premjeru.

Kako vidimo, daljinomjeri se prema svojim konstruktivnim osobinama dijele na one s horizontalno mi druge s vertikalnom letvom.

Osvrnut ćemo se na razvoj daljinomjera s vertikalnom letvom, koji nas je uvijek mnogo zanimao, jer je on glavni instrument, kojim naš stručnjak radi na terenu skoro u svim radovima topografskog i državnog premjera za dobivanje planova 1:1000 do 1:5000.

Jednom prilikom kasnije dat ćemo prikaz razvoja daljinomjera s horizontalnom letvom.

Ako slijedimo razvoj daljinomjera od Reichenbachovog (tri niti) do najmanje konstrukcije Wildovog RDS-a vidimo da se u prvom redu nastoji usavršiti daljinomjerni uređaj t. zv. autoredukциони uređaj, jer je autoredukциони daljinomjer u usporedbi s Reichenbachovim daleko ekonomičniji.

U našoj praksi na novom premjeru upotrebljavali su se Breithauptovi, Hammer-Fennelovi, te Fennelovi autoređ. tahimetri, koji unatoč usavršavanju

<sup>1)</sup> Reduktions — Distanzmesser mit Horizontaler Latte.  
<sup>2)</sup> Reduktions — Distanzmesser mit Senkrechter Latte.

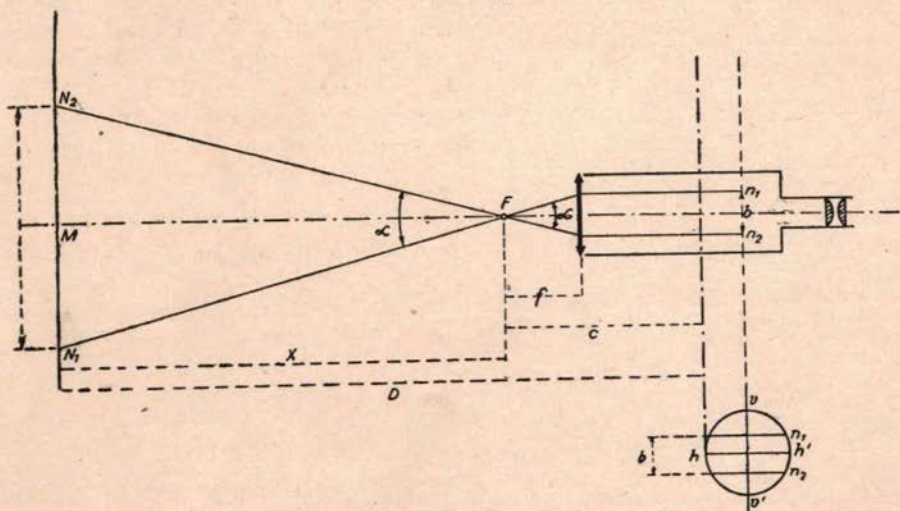
Imaju niz nedostataka, uslijed čega je točnost i pouzdanost mjerenja dužina i visinskih razlika još uvijek manja, nego s Reichenbachovim daljinomjerom. Konstrukcija daljinomjernog dijagrama, pa uslijed toga optička svojstva durbina, bili su glavni razlog manje točnosti, a i jednostrane primjene ovih instrumenata.

Usavršavanje optike geod. instrumenata imalo je utjecaja i na usavršavanje daljinomjera u tom smislu, da se geodetskom praktičaru da instrumentat universalnog tipa, a da pri tome bude lagan i udoban kod rada. Osim toga ono je omogućilo da se konstrukcija daljinomjernog dijagrama u instrumentu postavi tako, da se njegova slika optičkim sistemom prizama dovede u vidno polje durbina u prostoru nitnog križa. Takovo rješenje smo imali kod Zeiss-ovog daljinomjera Dahlta, na osnovu konstrukcije norveškog inženjera Dahla. Daljnja evolucija ovog zaista dobrog i praktičnog autoređ. tahimetra na bazi Dahl-ove konstrukcije je i Wildov RDS, samo uz izvjesna konstruktivna poboljšanja.

Da bi se prikazao razvoj u konstrukciji autoredukcionih daljinomjera i time uočile konstruktivne i praktične prednosti osvrnut ćemo se na pojedina rješenja od Reichenbachovog (tri niti) daljinomjera do najnovijeg Wildovog RDS-a.

### Osnovni princip daljinomjera s tri niti

Daljinomjer s tri niti je zapravo instrumentat, pomoću kojeg dužinu dobivamo na osnovu stalnog paralaktičnog kuta i promjenljive baze. Stalni paralaktični kut određen je razmakom paralelnih niti nitnog križa, dok je promjenljiva baza odsječak na letvi, kojeg pročitamo pomoću ovih niti. Niti su paralelne s horizontalnom niti  $h-h'$  nitnog križa.



SL 1.

Osnovna formula za dužinu prema slici 1 bit će:

$$D = X + c = l \cotg \alpha + c \quad (1)$$

Budući da je paralaktični kut  $a$  vrlo malen to možemo gornju formulu pisati u ovom obliku:

$$D = \frac{f \cdot l}{b} + c$$

Gdje je  $f$  = fokusna udaljenost,  $l$  = odsječak na letvi, a  $b$  = razmak niti.

U formuli (1)  $\cotg a$  je zapravo multiplikaciona konstanta  $K = 1/a$ , a  $c$  adicijona konstanta. Iz praktičnih razloga uzima se kod svih daljinomjera da je  $K = 100$ , a  $c = 0$ , t. j. *durbin je analaktički*. Razmak konaca  $n_1$  i  $n_2$  je takav da bude  $K = \cotg a = 100$  i prema tome je:

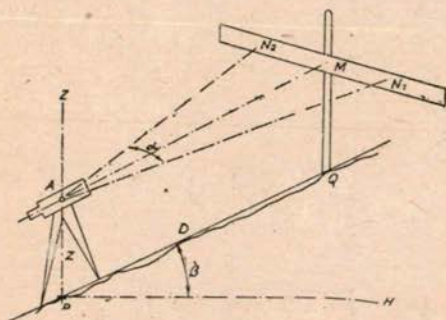
$$D = 100 \cdot l \quad (2)$$

Formula (2) vrijedi međutim samo za horizontalnu vizuru, kod koje će biti odsječak na letvi  $l$  okomit na vizuru.

Kod nagnutih vizura se problem komplicira i rješenje njegovo je zapravo konstrukcija autoredukcionog dijagrama.

### Optičko mjerenje dužina na nagnutom terenu

Da bi se mogla primjeniti jednostavna formula za Reichenbachov daljinomjer (2) u bilo kakovom terenu, bilo bi potrebno da letva bude okomita na raspolovnicu (bisektrisu) kuta  $a$  (sl. 2). Ovo bi praktički bilo jednostavno izvedivo jedino s horizontalnom letvom i na tom principu su konstruirani svi precizni daljinomjeri s horizont. letvom. Dobivamo doduše opet kosu udaljenost.



Sl. 2.

Međutim vertikalnu letvu ne možemo postaviti tako da odsječak na letvi bude okomit na vizuru (sl. 3). Ako pretpostavimo da je vizura paralelna s terenom, a letva postavljena vertikalno, to će odnos između odsječka na letvi koja je postavljena okomito na vizuru ( $l$ ) i odsječka na letvi postavljenog vertikalno ( $l'$ ) biti:

$$l = l' \cos \beta,$$

gdje je  $\beta$  visinski kut.

Ranije je navedeno da je dužina data formulom

$$D = K \cdot l, \text{ gdje je } K = 1/a, \text{ dakle}$$

$$\frac{l}{a} = \frac{l'}{a} \cos \beta, \text{ odnosno}$$

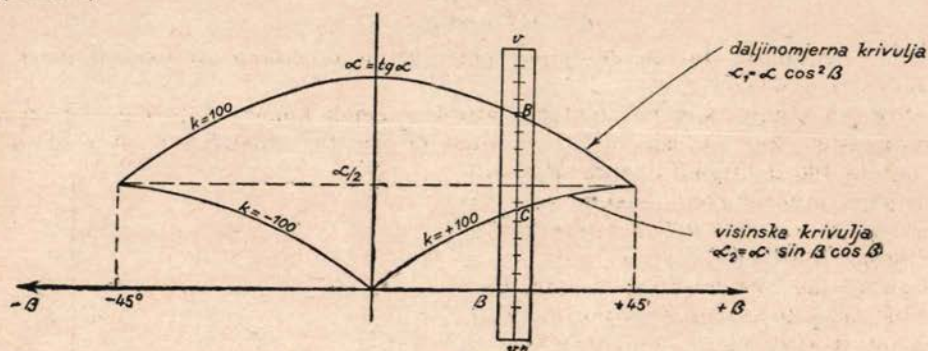
$$D = D' \cos \beta \quad (3)$$

Ovdje je  $D$  kosa dužina između instrumenta i letve, a  $D'$  dužina koju dobivamo na osnovu čitanja na vertikalnoj letvi ( $100 \cdot l'$ ).

Iz toga proizlazi: *Da bi dobili pravu kosu dužinu mjerenjem na vert. letvi, potrebno je dužinu pročitavanu na letvi pomnožiti sa cosinusom vertikalnog kuta ( $\cos \beta$ ).*



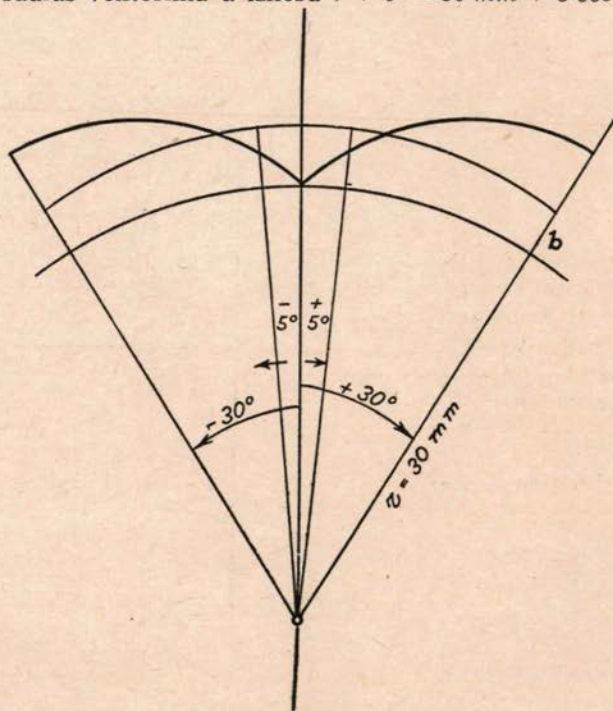
bijamo daljinomjerni dijagram, odnosno dvije simetrične krivulje (sl. 4), tako da razmak niti varira proporcionalno s  $\cos^2 \beta$ . Ove daljinomjerne krivulje predstavljaju princip rješenja autoredukcije kod svih autoredukcionih tahimetara (slika 5).



Sl. 5.

Način kako je to riješeno kod Hammer-Fennelovog autoredukcionog tahimetra opisano je u našim udžbenicima. Osnovno je to da je nulti horizontalni konac zamijenjen kružnom linijom, čiji je centar u obrtnoj osovinu durbina. Radius ove osnovne kružnice je  $r = 30 \text{ mm}$ .

Dijagram se sada crta na taj način, da se za pojedine kutove  $+\beta$  nanose dužine  $b'$  na radius vektorima u iznosu  $r + b' = 30 \text{ mm} + b \cos^2 \beta$  (sl. 6).



Sl. 6.

Nezgodna ovih daljinomjera je u tome što nam prizma daljinomjernog dijagrama zaklanja  $1/2$  vidnog polja durbina i što krivulje dijagrama sjeku letvu koso uslijed čega nastaju izvjesne pogreške u čitanju (vidi sl. 5).

### Mjerenje visinskih razlika

Visinske razlike prema slici 3 će biti:

$$\Delta H = D \sin \beta,$$

odnosno

$$\Delta H = Kl' \sin \beta \cos \beta \quad (6)$$

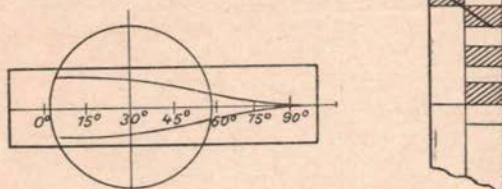
Prema formuli (6) nova krivulja koja bi vrijedila za određivanje visinskih razlika, trebala bi zadovoljiti odnos

$$b' = b \sin \beta \cos \beta \quad (7)$$

ili

$$b' = \frac{b \sin^2 \beta}{2} \quad (7a)$$

Na sl. 5 predstavljena je formula (7) krivuljom u istom mjerilu, kao i daljino mjera krivulja. Odmah možemo vidjeti da su za vrijednosti vertikalnih kutova, koji redovito dolaze u praksi, krivulje za visine kosije nego one za dužine. Osim toga obzirom na oblik krivulja postoji stanoviti nesrazmjer u točnosti očitavanja kod mjerenja dužina i visinskih razlika za razne visinske kutove. Procjenjivanje na letvi u tom slučaju izaziva pogreške u ovisnosti od većeg ili manjeg zakreta letve oko vertikalne osovine (sl. 7).



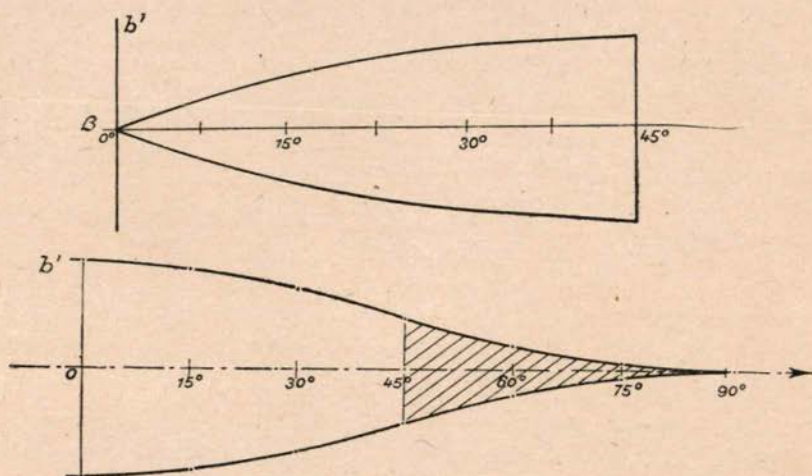
Sl. 7.

Što se krivulja dijagrama više bliži ispruženom obliku, to će očitavanje biti točnije. Znači krivulje dijagrama trebaju biti izdužene, da bi zakrivljenost bila blaža. Upotreba dijagrama u granicama od  $\beta = \pm 45^\circ$  zadovoljava potpuno praktične potrebe. Iznad toga se teško može zamisliti nagib durbina. Izduženje će se postići ako vrijednosti koje nanosimo na apscisnu os dijagrama ( $\beta$ ) pomnožimo s izvjesnim koeficijentom. Odmah možemo uočiti da ovo izduženje ne bi trebalo biti veće od 4 puta, jer okretanjem durbina za  $90^\circ$  izazvalo bi rotaciju dijagrama veću od  $4 \times 90^\circ = 360^\circ$ . Kod Wildovog RDS-a je primijenjeno ovo rješenje t. j. koeficijent produženja je 4 (sl. 8).

Slično kao i kod Hammerovog dijagrama i ovdje je apscisna os kružnica. Ova početna kružnica ima kod Wildovog tahimetra RDS-a dijametar  $2R = 102 \text{ mm}$ .

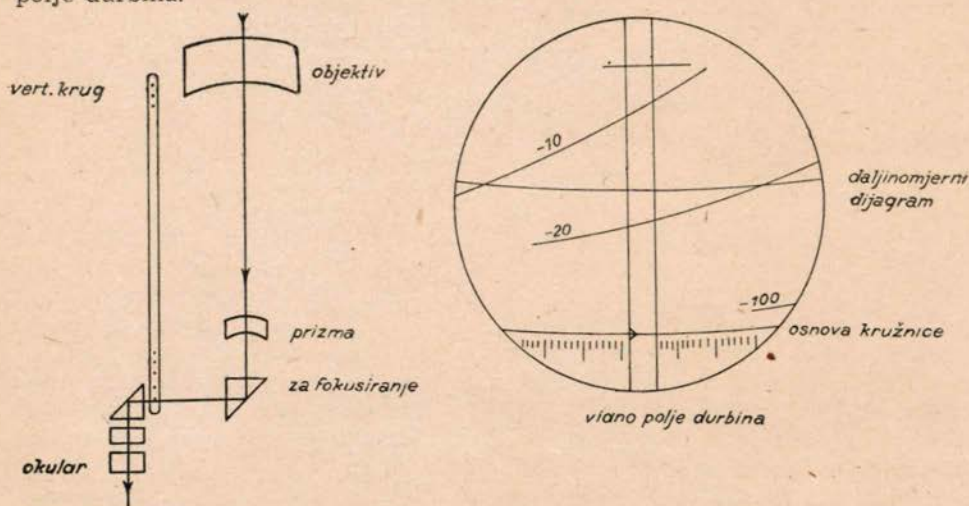
Ovakovom konstrukcijom dijagrama ne bi se mogao postaviti neki mehanički uređaj kojim bi se funkcioniranje dijagrama doveo u ovisnost od nagiba durbina, kako je to primjenjeno kod Hammer-Fennelovog tahimetra.

U koliko bi se to i napravilo bio bi izgled instrumenta vrlo neukusan.



Sl. 8.

Elegantno rješenje ovog problema dao je ing. Dahl, a primjenjeno je kod Zeissove Dahlte (sl. 9), gdje je upotrebljen optičko mehanički potupak. Dijagram je postavljen u ravnini okomitoj na obrnutu osovinu durbina, t. j. nanesen je na staklo vertikalnog kruga, gdje je osnovna kružnica identična s kružnicom vert. kruga. Optičkim sistemom dovodi se slika dijagrama u vidno polje durbina.



ŠEMATSKI PRIKAZ OPTIČKOG SISTEMA TAHIMETRA DAHLTA

Sl. 9.

Kod Wild-ovog RDS-a je ova konstrukcija nešto modificirana i poboljšana. Dijagram je nanosen na posebni stakleni diskus uzete su druge konstante, uslijed kojih dijagram koji se pojavljuje u vidnom polju durbina ima skoro izgled nitnog križa, jer su krivulje s malom zakrivljenošću.

Konstrukcija dijagrama izvodi se vrlo precizno nanašanjem točku po točku na jednu savršeno ravnu metalnu ploču. Točnost nanašanja je u granicama 1 mikrona. Fotografiskim postupkom prenaša se sada dijagram na staklenu ploču.

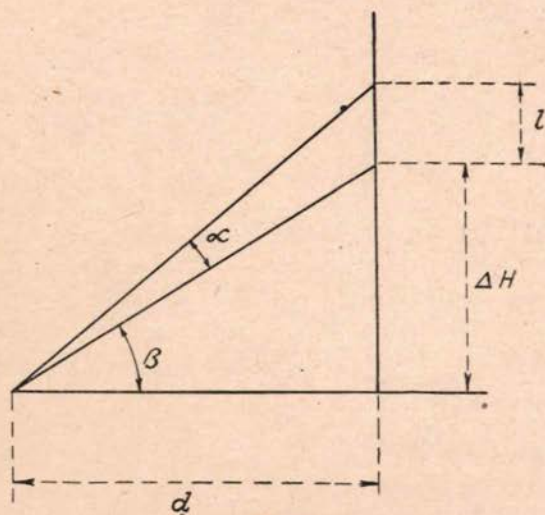
Za nanašanje daljinomjerne krivulje treba sračunati razmak  $a$  (između osnovne krivulje i daljinomjerne krivulje) za svaki kut  $\pm \beta$ .

Maksimalni nagib durbina uzima se  $\pm 45^\circ$ , pa se kutevi  $\beta$  računaju od jedne početne točke  $O$  (sl. 11) tako, da točke koje odgovaraju  $+45^\circ$  i  $-45^\circ$  budu na suprotnoj strani u  $P$  ( $45^\circ \times 4 = 180^\circ$ ). Mehaničkim postupkom je udešeno da dok se durbin okrene za kut  $\beta$  dijagram će se okrenuti u suprotnom smislu za  $3\beta$  što odgovara relativnoj amplitudi od  $4\beta$ .

Prema tome za svaki kut  $\beta$  računaju se veličine  $\beta C$  i  $\beta B$  (sl. 5). Mnogo je jednostavnije da se umjesto malenih kuteva  $a$  računaju i nanašaju vrijednosti  $tg a$ .

Neka je na sl. 10 prikazana visinska razlika kod elevacionog kuta

$$\begin{aligned} \Delta H &= d \operatorname{tg} \beta \\ \Delta H + l &= d \operatorname{tg} (a + \beta) \end{aligned}$$



Sl. 10.

Ako postavimo da je  $d = K \cdot l$  i ako eliminiramo  $\Delta H$  iz gornjih formula dobijemo da je:

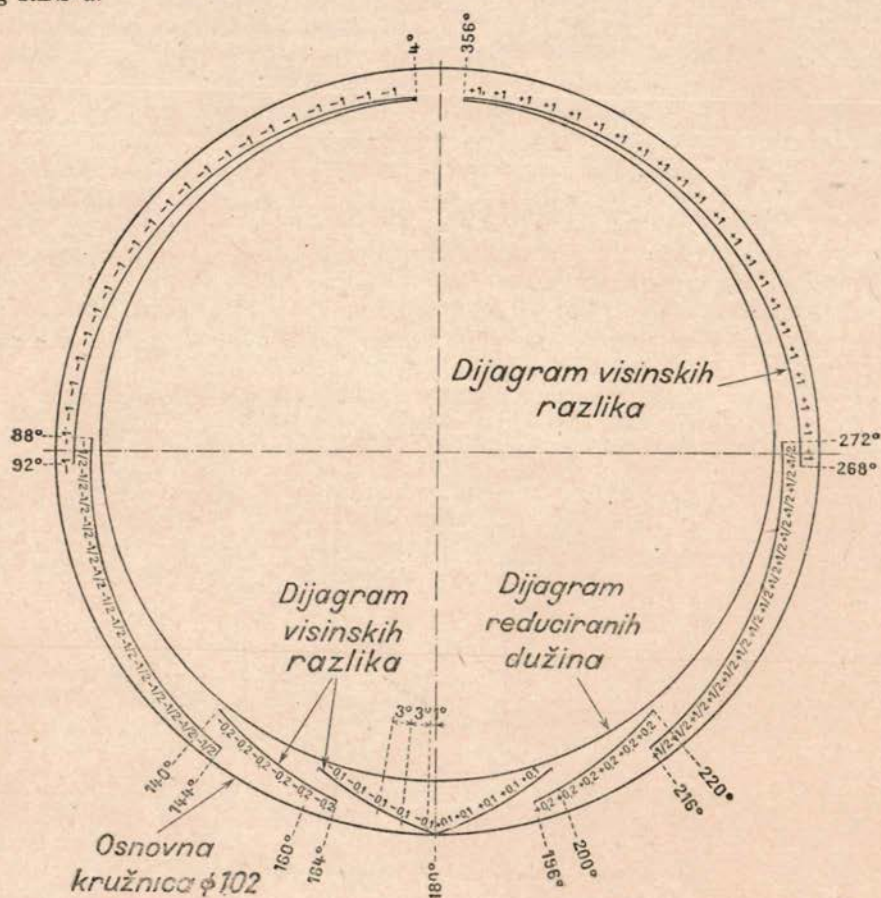
$$\operatorname{tg} a = \frac{1}{K(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) + \operatorname{tg} \beta} \quad (8)$$

Na isti način postavimo da je  $\Delta H = \pm k \cdot l$ , gdje je  $k$  pozitivno ili negativno za pozitivne ili negativne visinske razlike imat ćemo:

$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\pm k(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) + \operatorname{tg}^2 \beta} \quad (9)$$



Pomoću gornjih formula 8 i 9 računaju se razmaci između osnovne kružnice, te daljinomjerne i visinske krivulje za svaki kut  $\beta$ . Kartirano to u odgovarajućim dimenzijama dobija se dijagram za reducirane dužine i visinske razlike kako je prikazano na sl. 11, koja prikazuje dijagram kod Wildovog RDS-a.

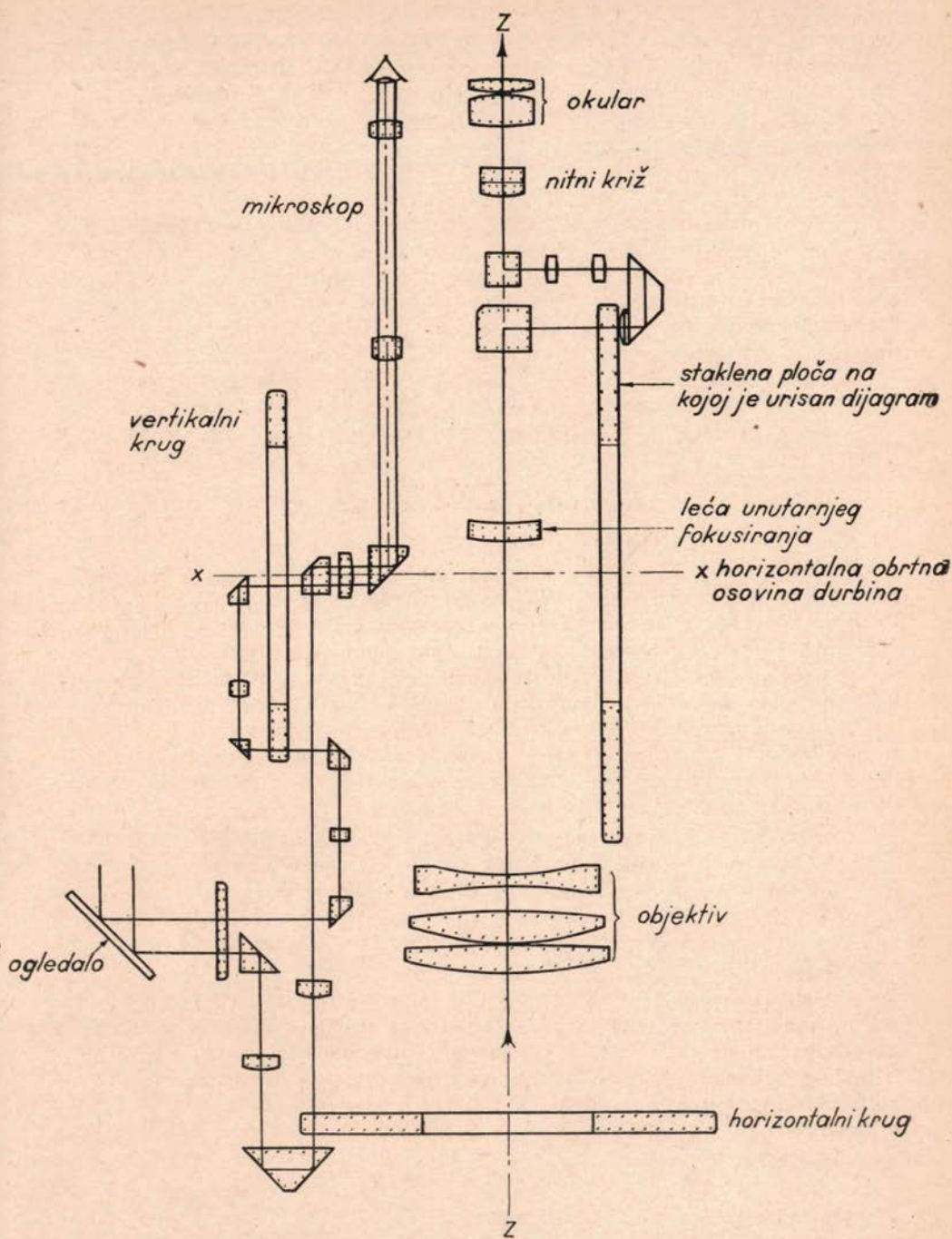


Sl. 11.

Vidimo da se dijagram sastoji iz:

- 1) osnovnog kruga radiusa  $R = 102 \text{ m/m}$
- 2) daljinomjerne krivulje
- 3) krivulja za visine.

Ima više krivulja za visine, koje nose brojke  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,2$ ;  $\pm 1/2$  i  $\pm 1$ . Razlog je u tome što je kod date veličine  $l$  pogreška  $dl$ , prouzrokovana uslijed nesavršenosti oka opažača, konstantna. Da bi se smanjila relativna pogreška  $dl/l$  trebalo bi povećati  $l$ , t. j. kut  $a$ , drugim riječima trebalo bi smanjiti konstantu  $k$ . Povećanje kuta  $a$  izaziva povećanje razmaka konaca  $b'$ , jer je  $\tan a = a = b'/f$ . Rezultat toga je povećanje zakrivljenosti krivulje što se nastoji izbjeći radi veće točnosti očitavanja o čemu je bilo ranije govora.



Sl. 12. Shematski prikaz optičkog sistema u RDS-u.

Pogledamo li krivulje dijagrama (sl. 5) vidimo da razmak krivulje za dužine polazi u početku od jednog maksimuma i da se polagano mijenja u granicama  $\pm 45^\circ$ . Ovdje je korisno uzeti jednu konstantu  $K = 100$  tako, da jedan pročitani centimetar na letvi odgovara 1 m dužine. Međutim visinska krivulja polazeći od  $\beta = 0$  do  $\beta = 45^\circ$  mijenja se naglo od minimuma do maksimuma. Zato je potrebno da se za male visinske kuteve izabere konstanta  $k$  što manja i da se ona postepeno povećava. Kod Wildovog tahimetra izabrane su četiri konstante za visinske krivulje dijagrama  $k = 10, 20, 50$  i  $100$ .

U ovom slučaju centimetri na letvi ne će odgovarati 1 m visinske razlike, nego 0,10 m, 0,20 m, 0,50 m i 1 m. Da bi operatoru bilo lakše i komotnije očitavanje upisane su konstante 0,1, 0,2,  $\frac{1}{2}$  i 1 kod odgovarajućih krivulja tako, da očitavanje na letvi u odnosu 1 cm letve odgovara 1 m visinske razlike pomnoženo gornjom konstantom. Da bi se izbjegle pogreške kod prelaza iz jedne na drugu krivulju one se u izvjesnim granicama preklapaju.

Kako se može vidjeti na sl. 11 početak visinskih krivulja s faktorom  $\pm 0,1$  je od  $180^\circ$  osnovnog kruga t. j. od podjele koja odgovara  $\pm 45^\circ$  nagiba durbina. To znači da kod ovog tahimetra na vertikalnom krugu čitamo zenitne udaljenosti.

### Konstruktivne osobine u RDS-u

Na sl. 13-a i b prikazan je RDS.

Kako je iz optičke sheme vidljivo, unutrašnjost instrumenta je konstruirana slično kao i kod ostalih Wildovih instrumenata, t. j. uzeti su stakleni krugovi tako da se čitanja na njima sistemom prizama dovode u zajedničko vidno polje okulara mikroskopa. Skalni mikroskop daje čitanje na 1' s mogućnošću procjene na 0,2. Očitavanje je samo s jedne strane horizontalnog kruga, tako da nema mogućnosti uklanjanja pogreške ekscentričnosti alhidade.

Slika dijagrama se isto takovim optičkim postupkom dovodi u ravninu nitnog križa. Durbin je terestrički tako da se vidi uspravna slika letve, što također ima svojih prednosti. Durbin je analaktički ša unutrašnjim fokusiranjem. Povećanje durbina 24 puta.

Mehaničko rješenje kretanja dijagrama je slijedeće: durbin i vijenac koji nosi staklenu ploču s dijagramom ( $D$ ) (sl. 14) okreću se oba oko iste osovine  $XX$ . Dodani mehanički uređaj omogućava da dok se durbin okrene za neki kut  $\beta$  u jednom smislu, vijenac se s dijagramom okrene za kut  $3\beta$  u suprotnom smislu, na taj način relativni pokret vijenca u odnosu na durbin je rotacija od  $4\beta$ .

Na slici označen vijenac radiusa  $r_1$  je iznutra nazubljen i spojen sa durbinom, tako da se zajedno s njime okreće oko osovine  $XX$ , koja je učvršćena na nosaču tahimetra. Ovaj vijenac zahvaća zubicima druga dva kotačića 2 i 2' jednakog radiusa  $r_2$  čije su osovine  $aa$  i  $a'a'$  spojene s nosačem durbina. Ovi kotačići zahvataju zubicima treći kotačić radiusa  $r_3$  montiran na osovini  $XX$ , a koji nosi na sebi staklenu ploču s dijagramom  $D$ .

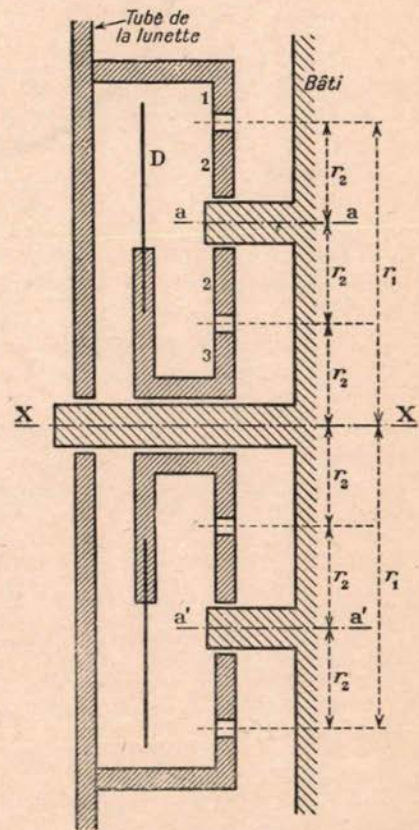
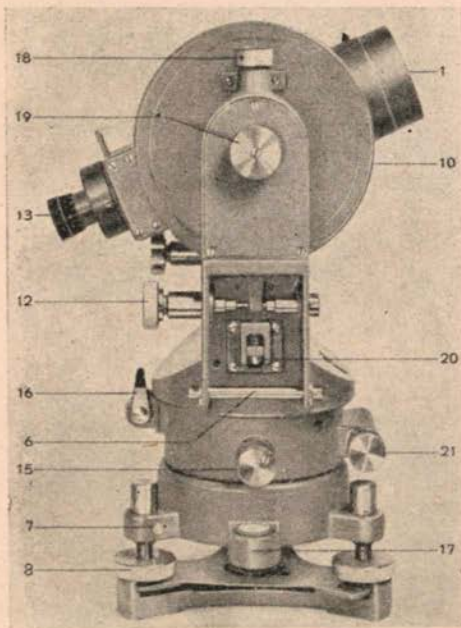
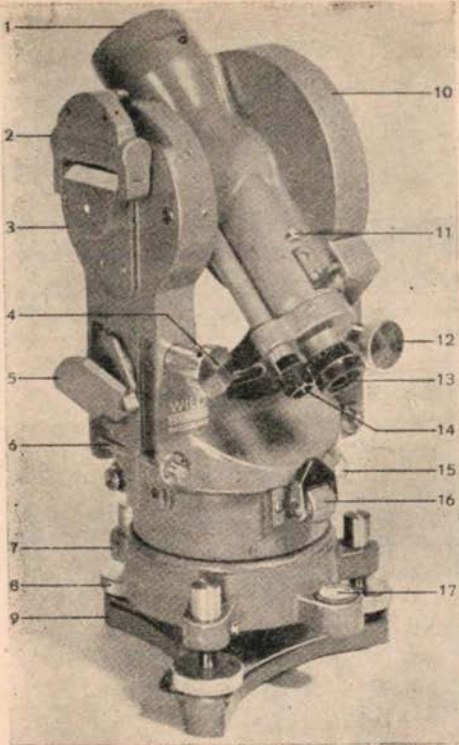
Postoji odnos

$$r_1 = 3 r_2 = 3 r_3$$

Na osnovu toga ako se nazubljeni vijenac 1 okrene oko osovine  $XX$  za neki kut  $\beta$  u izvjesnom smislu, svaki od ovih kotačića okrenut će se za kut  $3\beta$  u suprotnom smislu, pa i kotačić 3 koji na sebi nosi dijagram  $D$ .

Sl. 13a i b

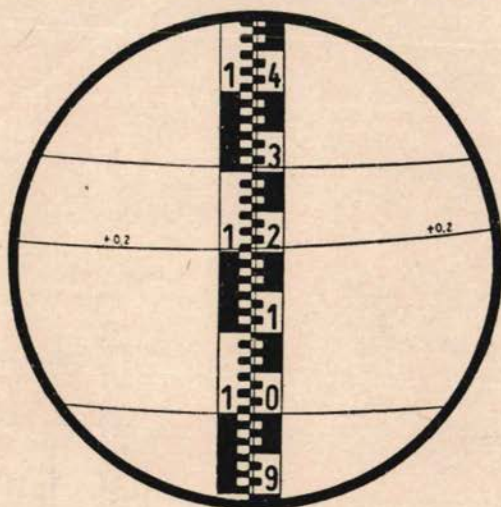
1. Objektiv, 2. visinska libela, 3. kutija vert. kruga, 4. mikro-vijak visinske libele, 5. zrcalo za osvjetljenje, 6. klin za učvršćenje, 7. vijak za udešavanje, 8. podnožni vijak, 9. podnona ploča, 10. kutija dijagrama, 11. vijak za rektifikaciju kolimacije, 12. vijak za fino pomicanje durbina, 13. okular durbina, 14. okular mikroskopa, 15. kočnica alhidade, 16. kočnica horizontalnog kruga (repeticioni uređaj), 17. dozna libela, 18. kočnica durbina, 19. dugme za fokusiranje, 20. vijak za rektifikaciju, 21. vijak za fino pomicanje alhidade.



Sl. 14.

Slika 14 je shematski prikaz tog mehaničkog uređaja. U stvari osovina XX je šuplja, kroz prolazi poluga koja nosi divergentnu leću unutrašnjeg fokusiranja.

Slika 15 prikazuje pogled u vidno polje durbina. Čitanje na letvi je jednostavno. Nulta (donja) krivulja stavlja se na reper, u ovom slučaju 1,0. Daljinomjerna krivulja daje reduciriranu dužinu  $d = 0,306 \times 100 = 30,6$  m. Visinska krivulja daje čitanje  $\Delta H = 0,204 \times 100 \times (+0,2) = +4,08$ .



Sl. 15.

Prema navodima firme instrumentalne pogreške svedene su na najmanju mjeru. Ispitati i rektificirati treba alhidadnu i visinsku libelu te kolimacionu pogrešku.

Daljinomjerni uređaj treba da bude precizno centriran u obrtnoj osovini durbina i okomito na nju. To je u tvornici ispitano i dotjerano. Izbjegnuta je svaka paralaksa nitnog križa i dijagrama. Na taj način nema kompliciranog ispitivanja i rektifikacije dijagrama, kako je to postojalo kod autoredukcionih tahimetara starije konstrukcije. Za uklanjanje kolimacione pogreške služi vijak 11 s obje strane durbina, a ispitivanje i rektifikacija libela vrši se na poznati način.

#### LITERATURA

1. Macarol, Janković, Čubranić, Neidhardt: Geodetski priručnik — Zagreb 1948.
2. Rukavina: Hammer-Fennel tahimetar — Geod. list 1953 br. 5—8.
3. F. Ollivier: Le tachéomètre auto-réducteur Wild RDS Bulletin No 26 L'ingénieur géomètre topographe.
4. R. Lesprit: Un nouvel instrument topographique Wild RDS — Le monde industriel 1951 — extrait No 2.
5. Société Wild: Tachéométries autoréducteurs RDH et RDS — Revue d'optique t 3, No 1, 1952.
6. Wild RDS — Mode d'emploi.