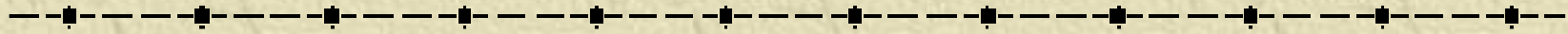


7. MERENJE UGLOVA I KONUSA



Merenje i kontrola uglova i konusa može se vršiti raznim metodama, koje mogu biti:

- uporedne,
- trigonometrijske i
- goniometrijske.

Uporedne metode se odnose na kontrolu pomoću čvrstih, jednostrukih merila. Jednostruka merila su: granična merila, ugaonici, šabloni i tolerancijska merila.

Trigonometrijske metode se baziraju na indirektnom merenju uglova i konusa. Merenjem dužina omogućujemo merenje uglova na taj način, što računskim putem dolazimo do vrednosti tražene mere.

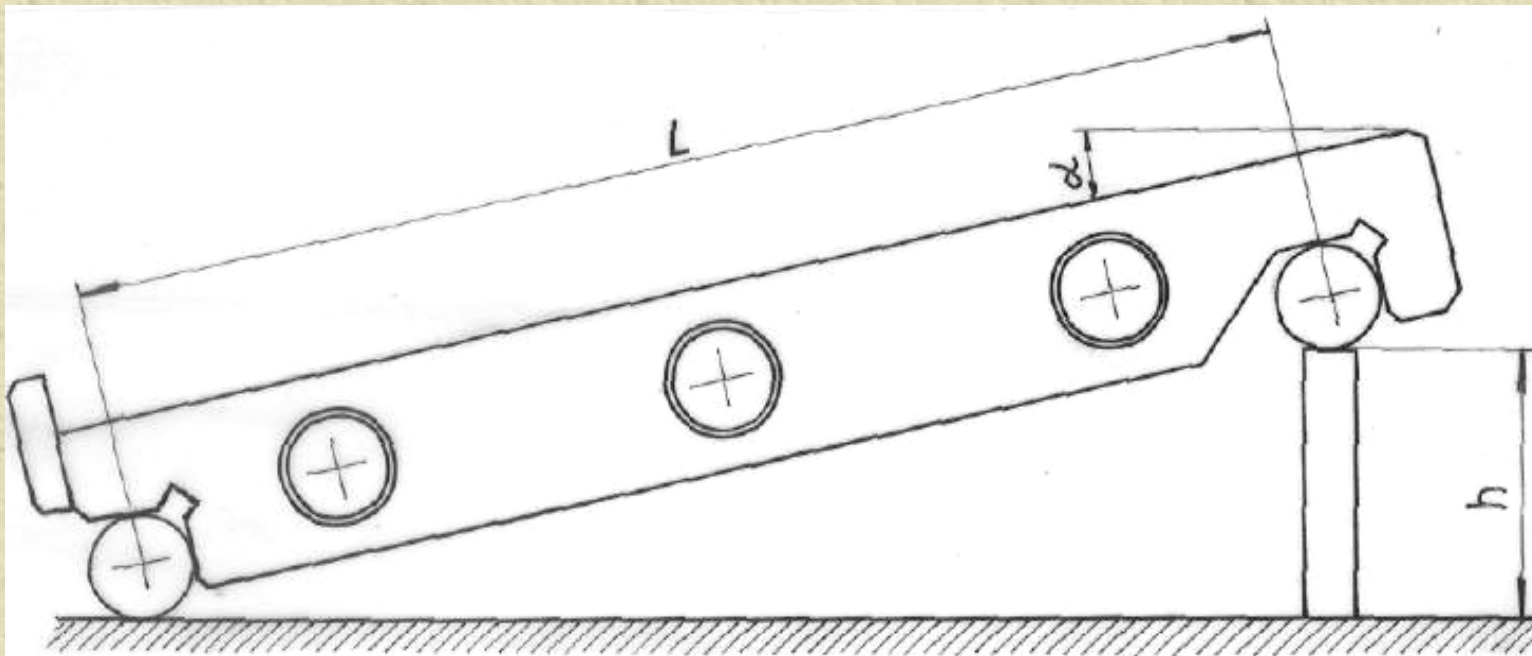
Goniometrijske metode su one metode, pomoću kojih ugao određujemo direktnim očitavanjem na skali instrumenta. Merni instrumenti su višestruka merila, na kojima se može očitati bilo koja vrednost u određenom dijapazonu mera, koju omogućuje instrument.

7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

-----■-----
Za merenje ugla mernog predmeta ili kod kontrole konusa često pribegavamo merenju posrednih veličina, kao što je već rečeno, a ugao se izračunava preko funkcija sinusa i tangensa. Ovaj način se naziva trigonometrijskom metodom merenja ugla i često se koristi u praksi, dok su neke firme konstruisale i uređaje, koji rade na ovom principu.

7.1.1. SINUSNI LENJIR

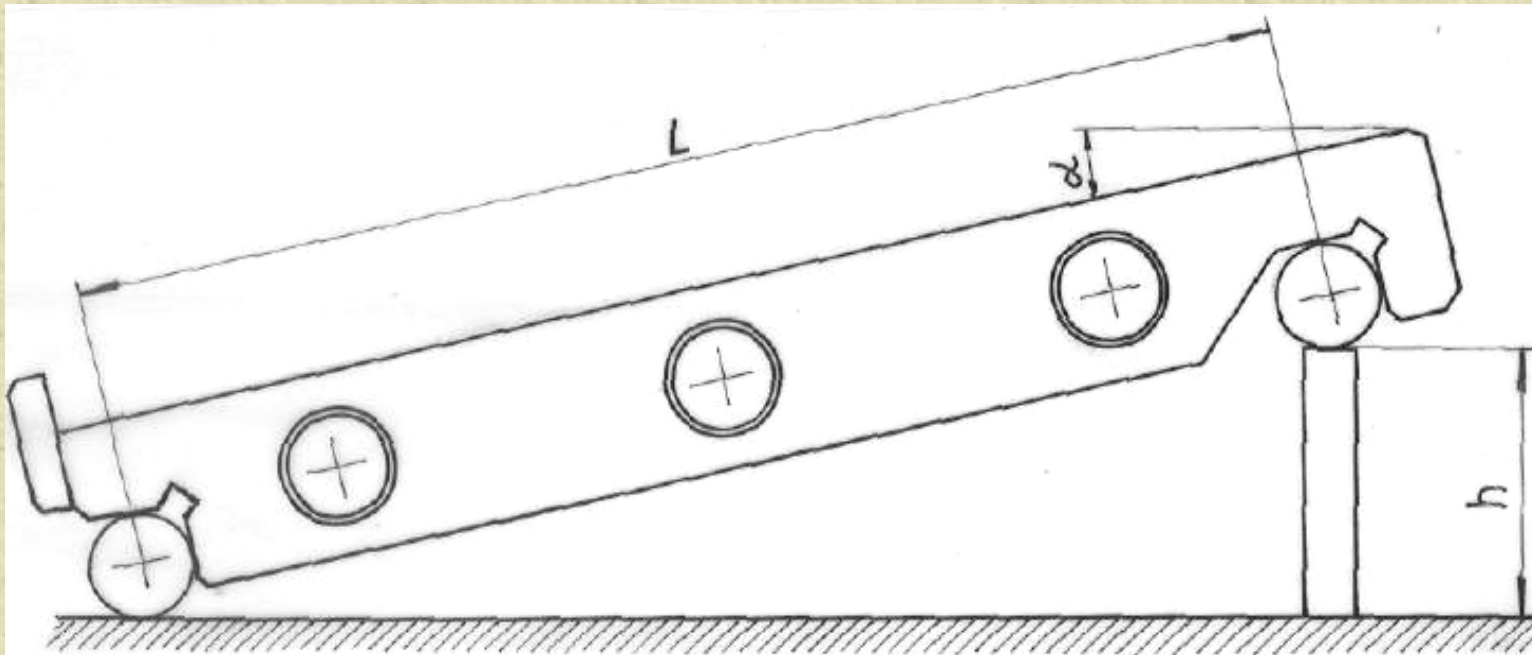
Sinusni lenjir predstavljen je na slici.



7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

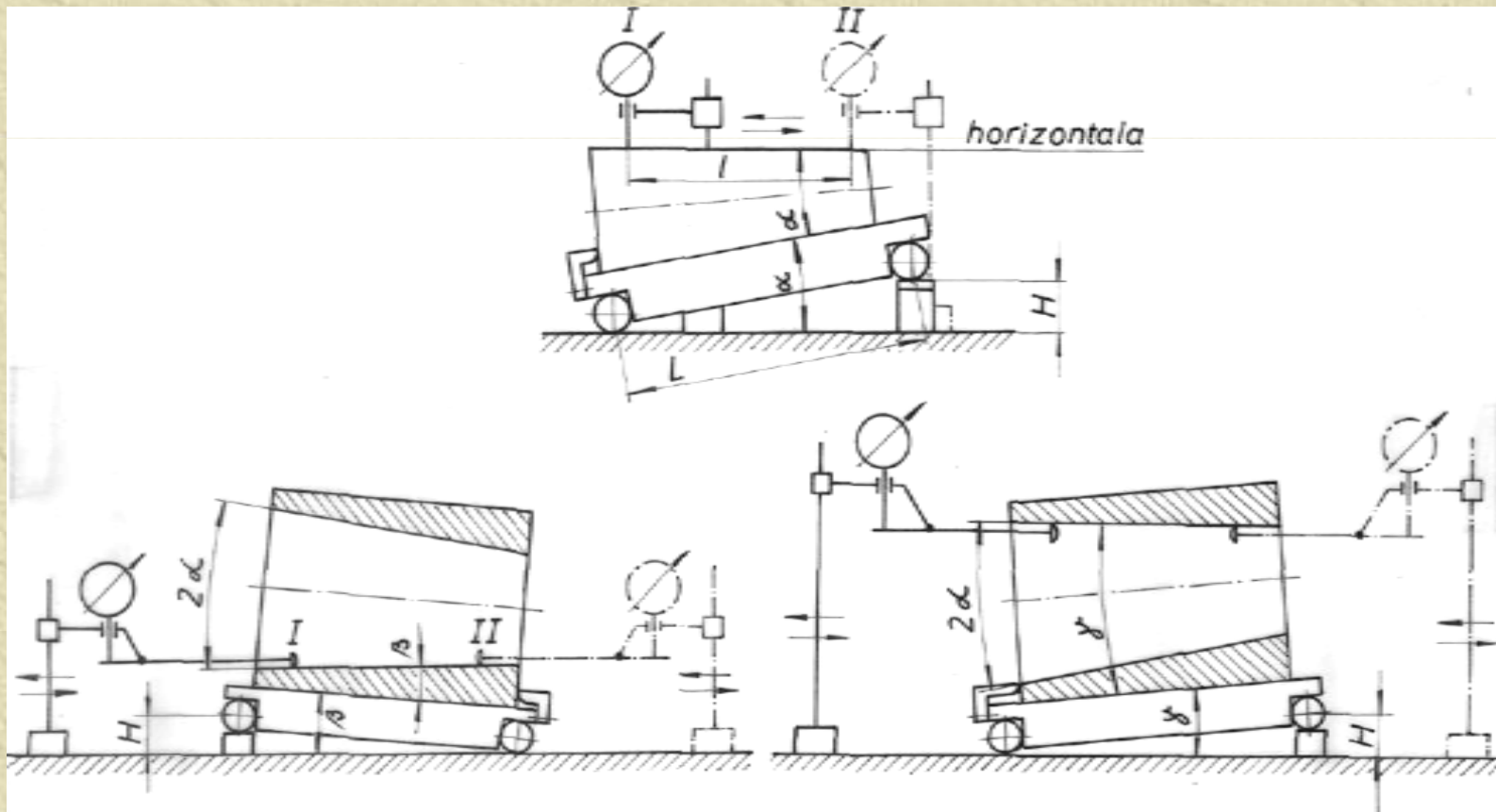
Postavljanjem graničnih merki visine h na jednoj strani, dobićemo trougao iz kojeg ćemo izračunati željeni ugao α , s tim što je hipotenuza najčešće 100 mm. (Može biti još 200, 300 i 500 mm) Ugao je dobijen iz izraza:

$$\sin \alpha = \frac{h}{L} = x \quad , \text{ odnosno} \quad \alpha = \arcsin x$$



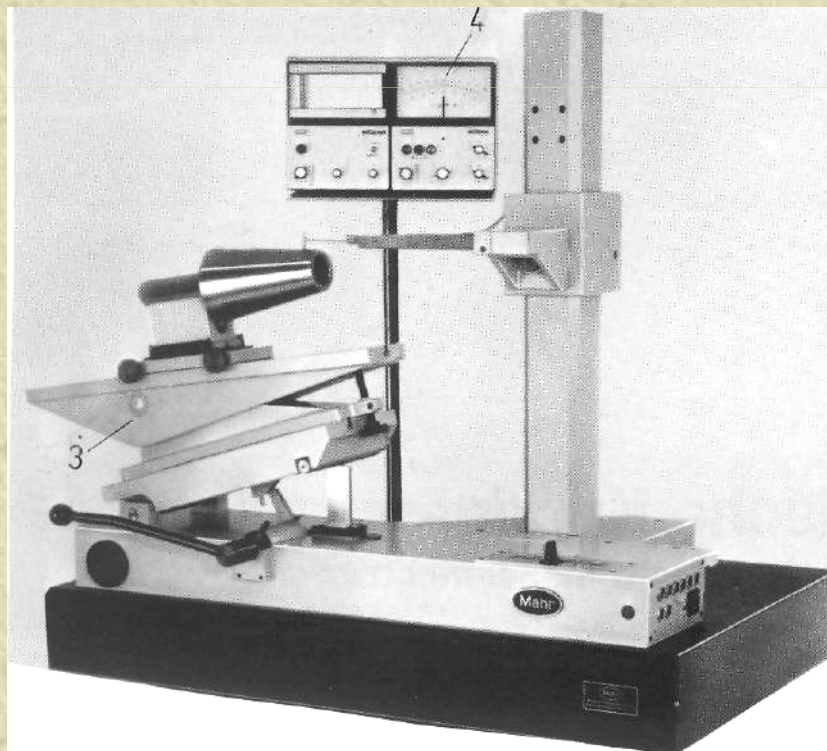
7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

Na granitnu ploču postavi se sinusni lenjir sa graničnim merkama, a na njega se stavi radni predmet. Tada se komparatorom proveri horizontalni položaj izvodnice konusa (slika). Ukoliko se javi odstupanje, izračunaćemo u uglovnim ili dužinskim jedinicama grešku izrade predmeta. Greške merenja ovom metodom kreću se od 10-15".



7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

Uredjaj, koji radi na principu sinusnog lenjira, firme C.Mahr, prikazan je na slici. Omogućuje kontrolu spoljnih i unutarnjih konusa. Desni kraj se izdiže na potrebnu veličinu, tako da izvodnica konusa dodje u horizontalan položaj. Pokretni sto (3) se tada pomera uzdužno, a na pokazivaču (4), sa podelom u 0,001 mm, se kontroliše postavljeni ugao. Ukoliko se ne pokaže odstupanje, radni predmet je uradjen tačno. Na ovaj način se mogu meriti uglovi konusa sa greškom od 7" do 8".



7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

7.1.2. MERENJE UGLA KONUSA POMOĆU DVA PARA KOLUTOVA

Kontrola spoljašnjeg konusa pomoću dva para kolutova vrši se na taj način, što se konusni merni predmet postavi svojom čeonom površinom na ravnu ploču, a uz njega priljubi par manjih kolutova i izmeri mera l_1 , a zatim drugi, veći par i izmeri mera l_2 (sl 7.4).

Tada imamo da je:

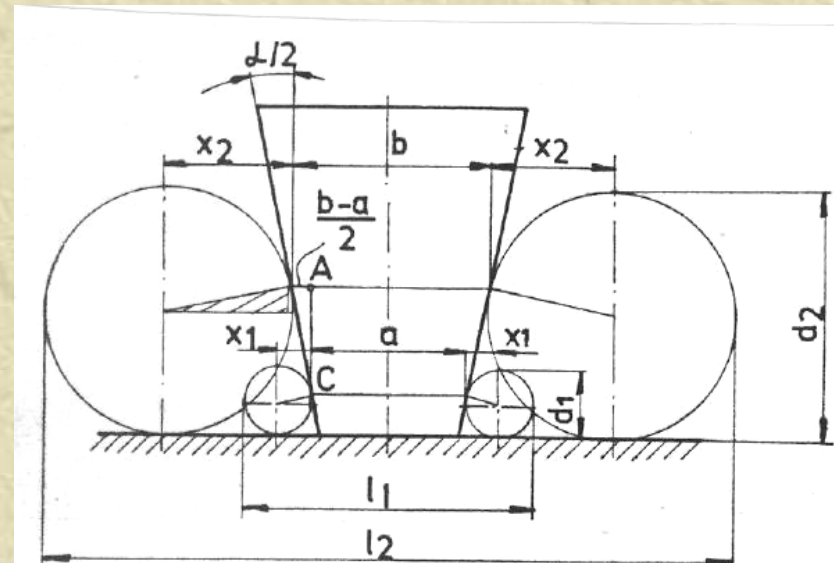
$$l_1 = d_1 + 2x_1 + a$$

$$l_2 = d_2 + 2x_2 + b$$

$$l_2 - l_1 = d_2 - d_1 + 2(x_2 - x_1) + b - a$$

$$x_1 = \frac{d_1}{2} \cos \alpha / 2$$

$$x_2 = \frac{d_2}{2} \cos \alpha / 2$$



7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

$$\frac{b-a}{2} = 2AC \operatorname{tg} \alpha / 2 \quad AC = \frac{d_2}{2} + \frac{d_2}{2} \sin \alpha / 2 - \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_1}{2} \sin \alpha / 2 \right)$$

pa je:

$$l_2 - l_1 = d_2 - d_1 + (d_2 - d_1) \cos \alpha / 2 + (d_2 - d_1) (1 + \sin \alpha / 2) \operatorname{tg} \alpha / 2$$

ako označimo sa k odnos:

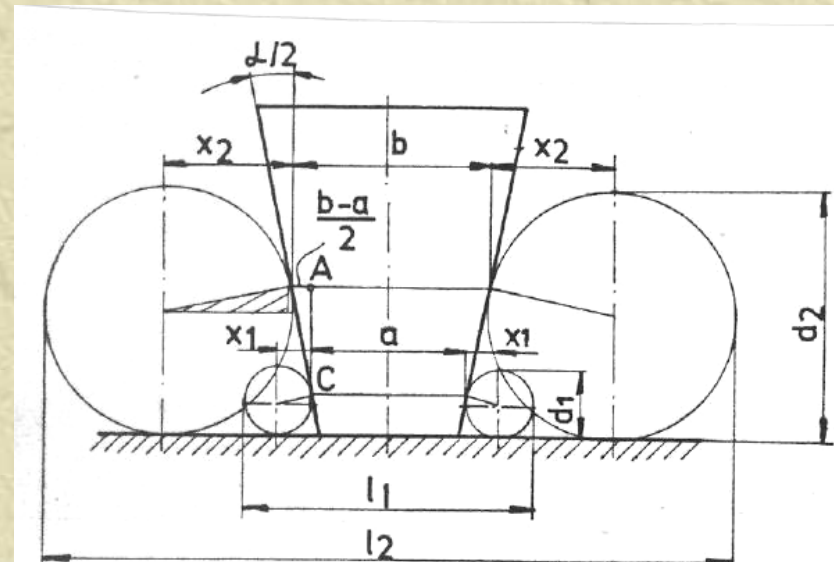
$$k = \frac{l_2 - l_1}{d_2 - d_1} = 1 + \cos \alpha / 2 + (1 + \sin \alpha / 2) \operatorname{tg} \alpha / 2 = \frac{1 - \sin \alpha / 2}{\cos \alpha / 2} + 1$$

razvijanjem izraza imaćemo:

$$(k - 1) \cos \alpha / 2 - 1 = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha / 2}$$

odnosno:

$$\cos \alpha / 2 = \frac{2(k - 1)}{(k - 1)^2 + 1}$$

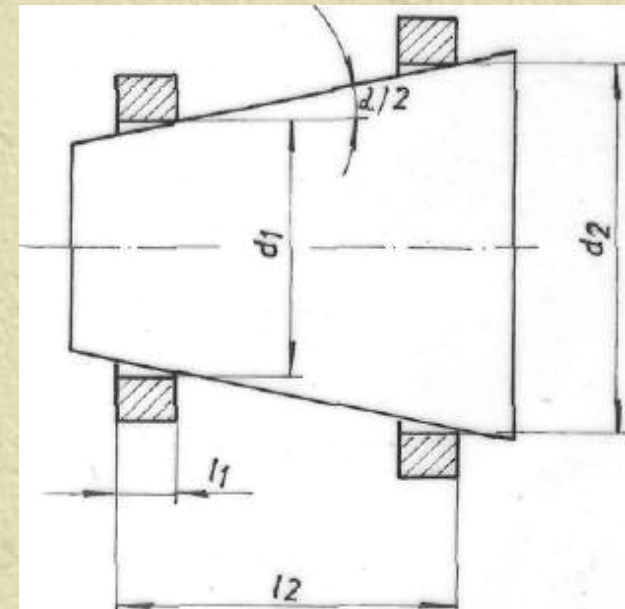
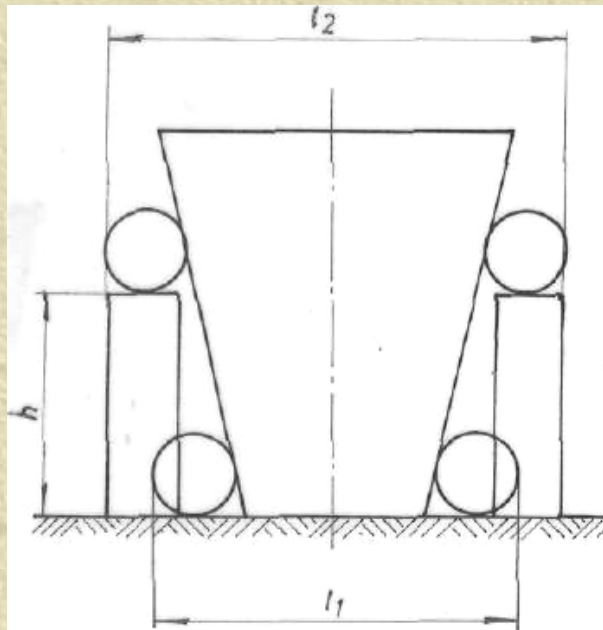


7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

7.1.3. MERENJE UGLA KONUSA POMOĆU GRANIČNIH MERKI

Na slici prikazana je metoda merenja pomoću para valjčića i dva prečnika merila iste dužine. Prvo se uz konus, postavljen na ravnu ploču, priljubi par valjčica i izmeri mikrometrom mera l_1 , a zatim isti par valjčica postavi na granične merke i izmeri veličina l_2 . Ugao konusa dobićemo iz odnosa:

$$\operatorname{tg} \alpha / 2 = \frac{l_2 - l_1}{2h}$$



7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

7.1.4. MERENJE UGLA KONUSA POMOĆU DVA PRSTENA

Dva kalibrisana prstena navuku se na konus i izmeri veličina l_2 , dok su vrednosti l_1 , $\varnothing d_1$ i $\varnothing d_2$ poznate (sl.7.6).

Ugao konusa ćemo dobiti iz odnosa:

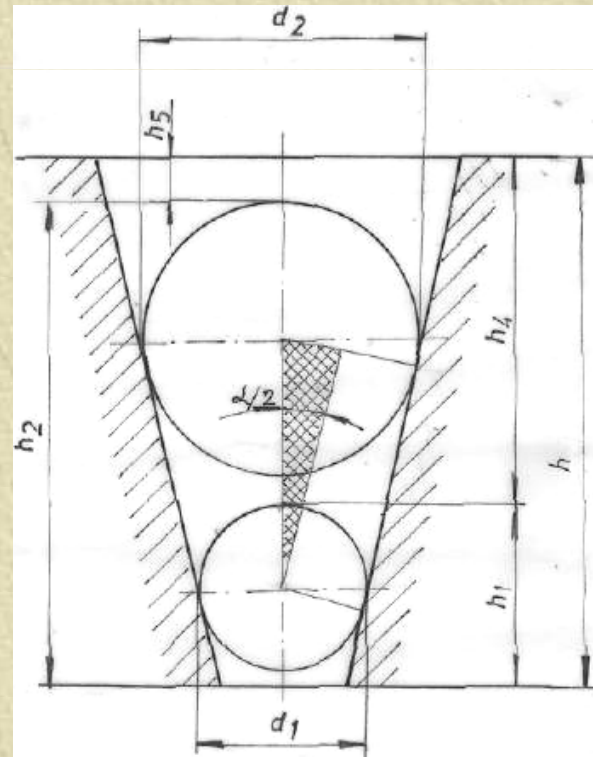
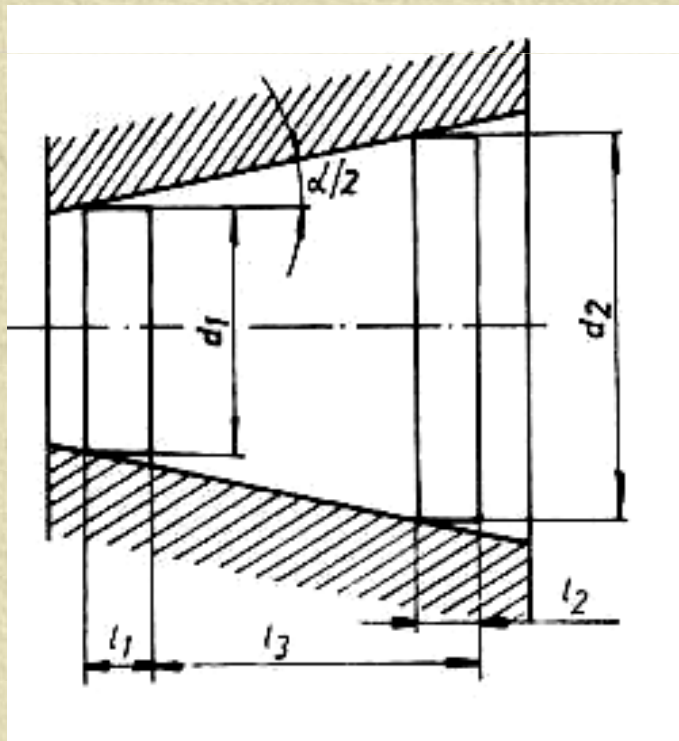
$$\operatorname{tg} \alpha / 2 = \frac{d_2 - d_1}{2(l_2 - l_1)}$$

7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

7.1.5. MERENJE UGLA KONUSA POMOĆU DVA KOLUTA

Merenje unutrašnjeg konusa dobićemo koristeći istu metodu kao i u prethodnom slučaju. Prema slici imaćemo:

$$\operatorname{tg} \alpha / 2 = \frac{d_2 - d_1}{2(l_3 - l_2 - l_1)}$$



7.1. TRIGONOMETRIJSKE METODE MERENJA UGLOVA

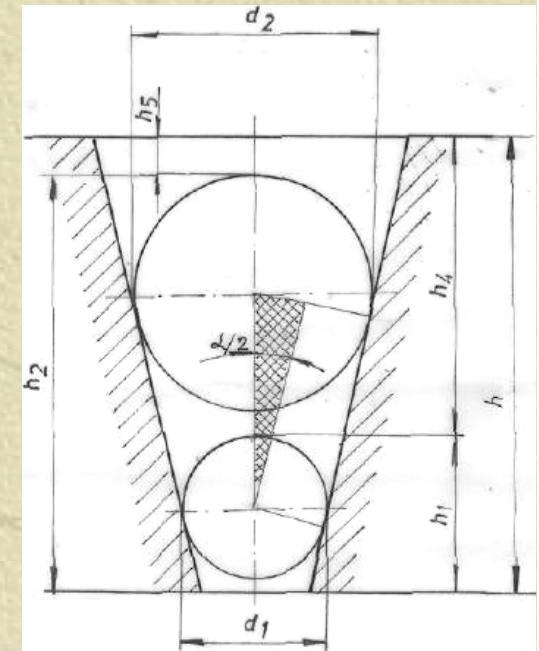
7.1.6. MERENJE UNUTARNJEG KONUSA POMOĆU DVE KUGLE

Merenje konusa pomoću dve kugle različitih prečnika $\varnothing d_1$ i $\varnothing d_2$, vrši se tako, da se postavi manja kugla u konusni otvor, izmeri dubina h_4 , a zatim postavi veća kugla i izmeri veličina h_5 (slika). Pošto je ukupna dužina konusa (h) poznata, možemo jednostavno doći do izvedenih vrednosti h_1 i h_2 , pa je:

$$\sin \alpha / 2 = \frac{d_2 - d_1}{2} \frac{1}{h_4 - h_5 - \frac{1}{2}(d_2 - d_1)} = \frac{d_2 - d_1}{2} \frac{1}{h_2 - h_1 - \frac{1}{2}(d_2 - d_1)} = x$$

$$\alpha = 2 \arcsin x$$

Ova metoda daje dosta tačne rezultate, gde ni kod najnepovoljnijih uslova merenja greška ne prelazi oblast od $\pm 11''$ do $\pm 15''$.



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

7.2.1. UGLOMERI

Uglomeri služe za direktno očitavanje ugla u stepenima. Mogu biti:

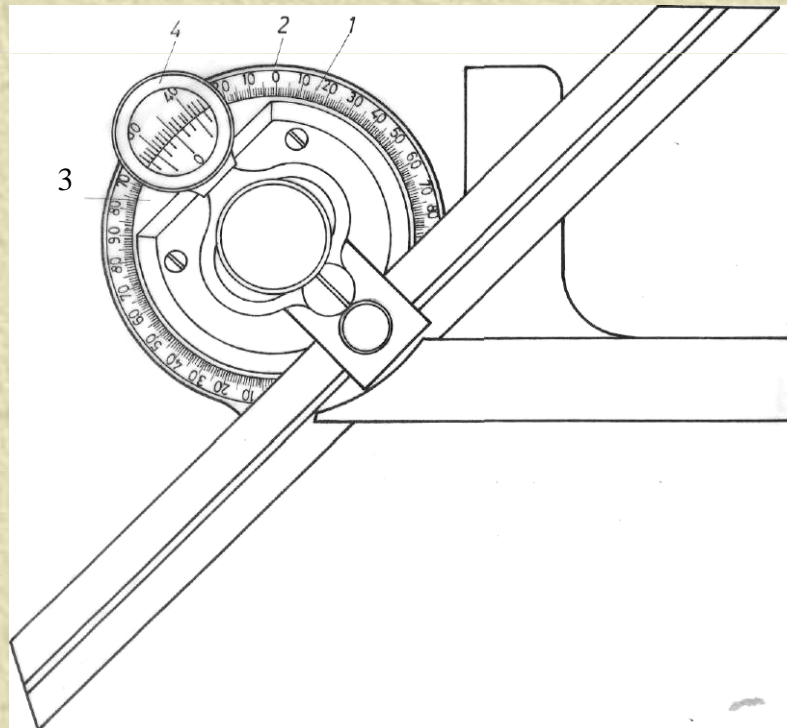
- mehanički i
- optički.

Mehanički uglomeri

Mehanički uglomer omogućuje merenje bilo koga ugla od 0° do 360° . Nepokretna skala i nonijus leže u istoj ravni, što olakšava očitavanje mere. Osim toga isključena je i greška usled paralakse.

7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Uglomer firme C.Mahr (slika) snabdeven je lupom, koja omogućava tačno očitavanje mere na skali, koja se sastoji iz nepokretnog dela (1) i pokretnog nonijusa. Nepokretna skala se sastoji iz četiri dela, gde je svaki deo podeljen od 0-90°. Obrtni deo (2) vezan je sa diskom (3) na kome se nalazi nonijus, dok je lupa (4) pričvršćena tako, da se pokreće zajedno sa nonijusom, kako bi za svaki njegov položaj bilo omogućeno tačno očitavanje mere.



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

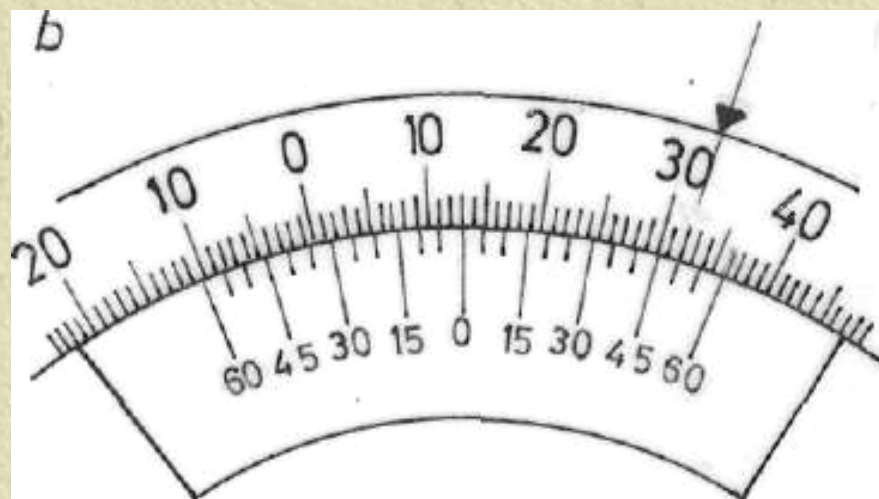
Nonijus ima dva dela, levi i desni. Pri očitavanju mere levo od nule nepokretne skale, služimo se levim delom, a sa desne strane, desnim delom nonijusa.

Nonijus ima 24 podeoka (slika) i obuhvata oblast od 46 podeoka nepokretne merne skale, Veličina razmaka crta na nonijusu iznosi:

$$b = 46:24 = 1^{\circ}55'$$

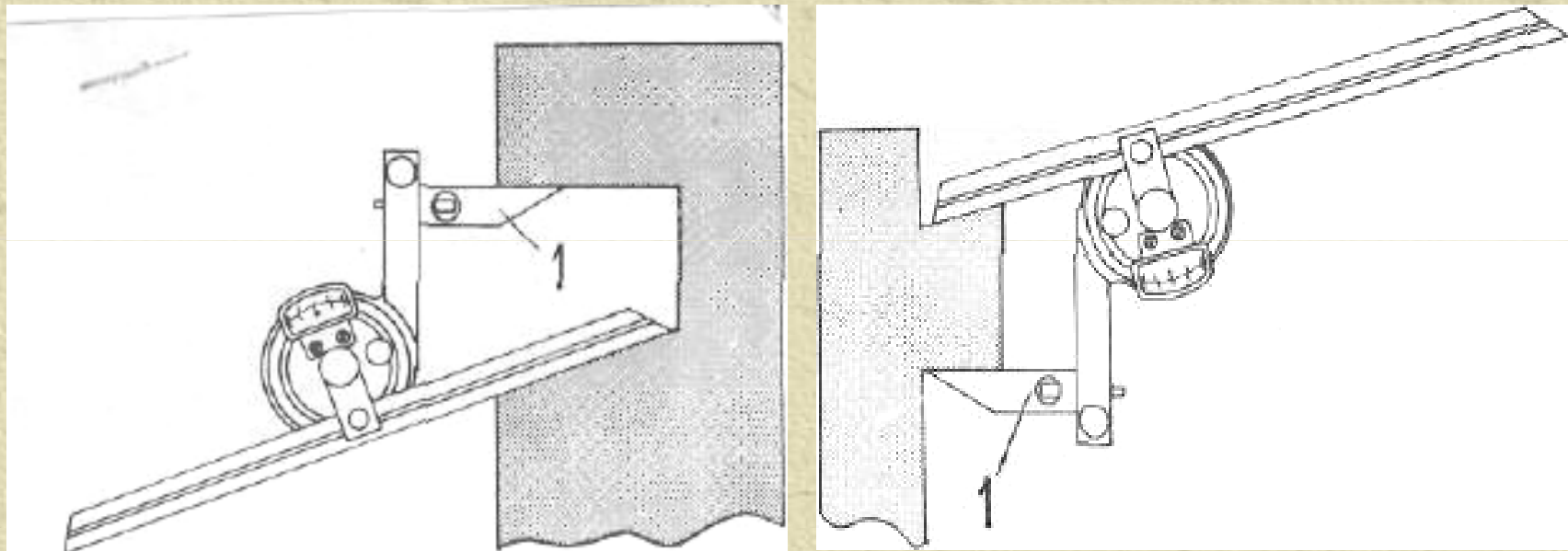
a tačnost merenja:

$$c = a - b = 2^{\circ} - 1^{\circ}55' = 5'$$



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

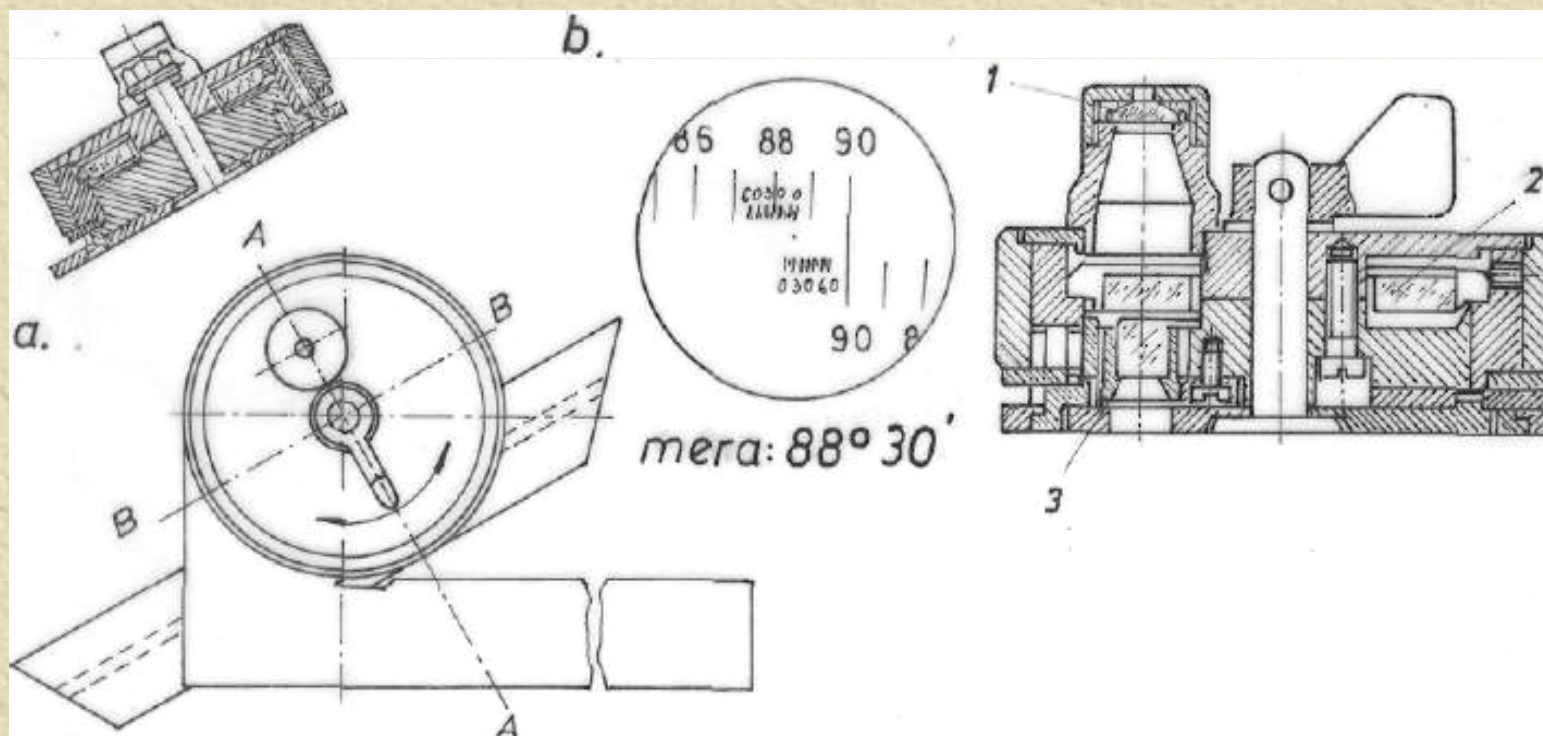
Na slici prikazane su mogućnosti merenja sa dodacima



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Optički uglomeri

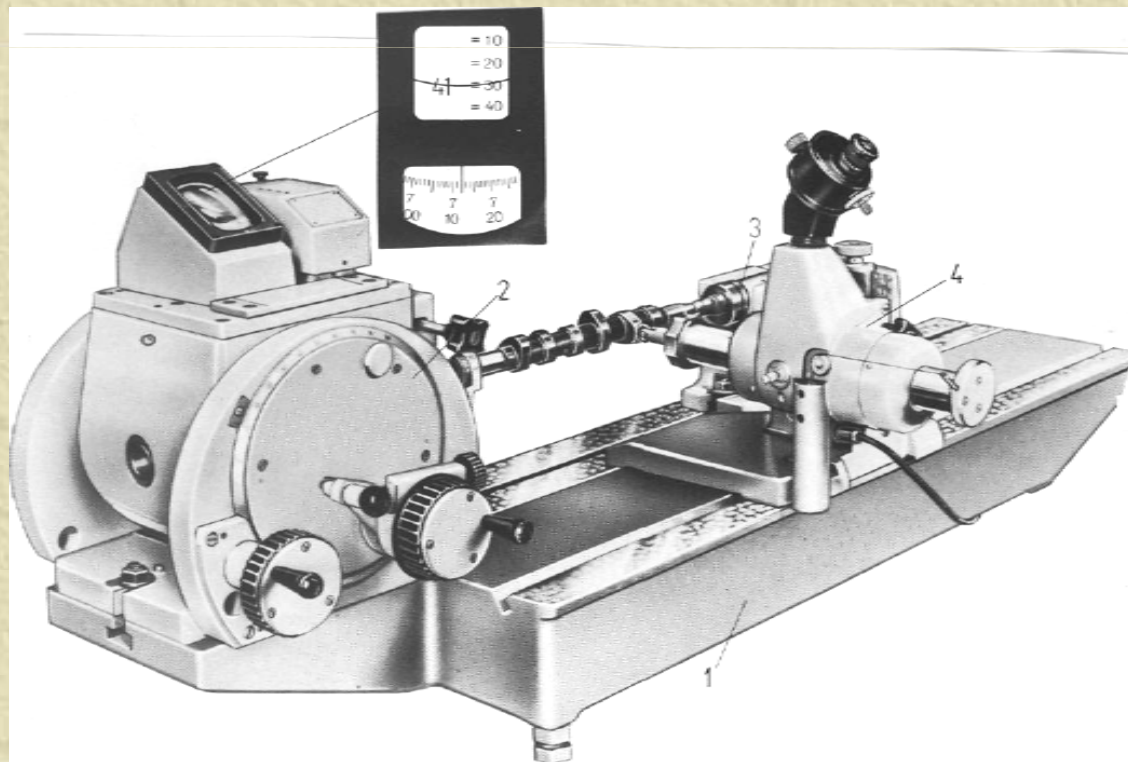
Optički uglomeri su precizniji od mehaničkih. Očitavanje mere se može vršiti pomoću lupe ili mikroskopa. Na slici prikazan je optički uglomer sa lupom. Kroz lupu (1) (presek A-A) vidi se deo osnovne skale koja se projektuje sa staklene skale instrumenta (2) i skala malog lenjira (3) sa podelom od 0-60'. Izgled skale dat je na slici b..



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

7.2.2. OPTIČKA PODEONA GLAVA I PODEONI STOLOVI

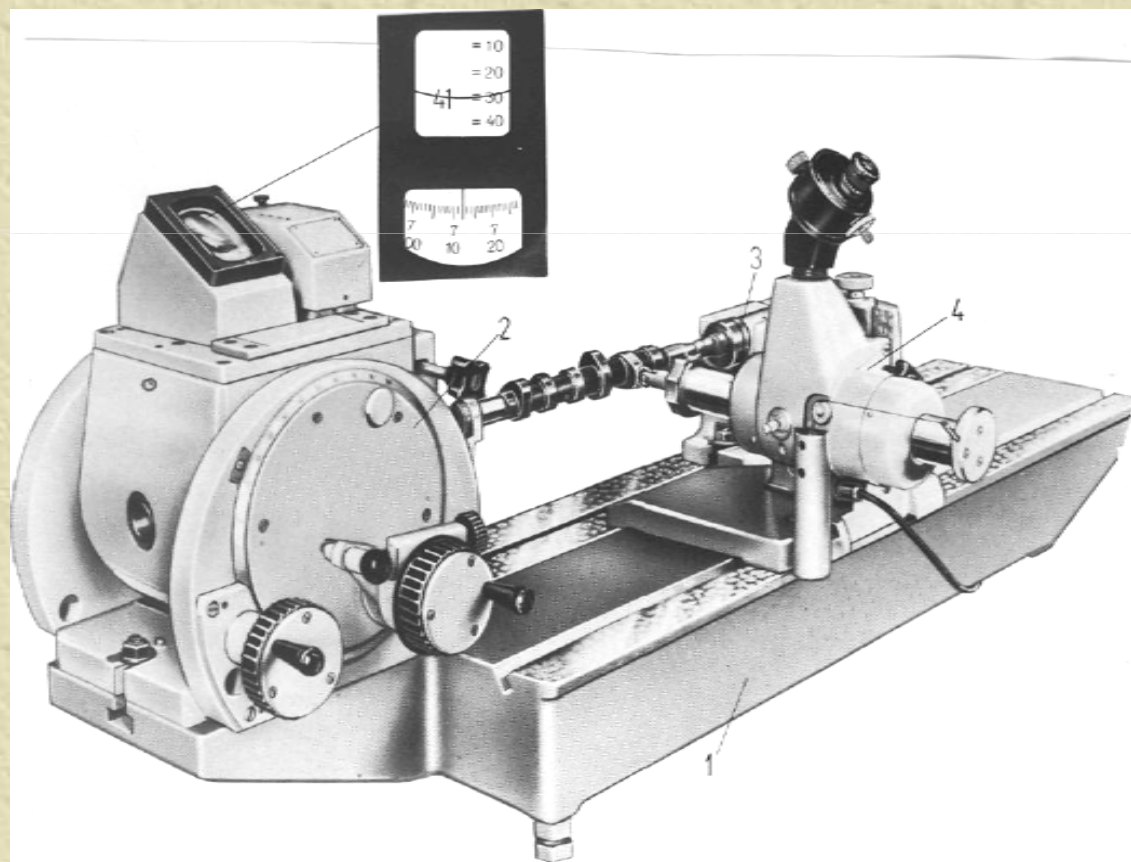
Optička podeona glava koristi se za određivanje uglova i podela pri kontroli bregova, bregastih osovina, ekscenta-a, kopira i slično i sastavni je deo standardne opreme ve ćine mernih laboratorija. Podeoni stolovi imaju istu osnovnu namenu, ali je njihova obrtna osa vertikalna, dok je kod podeonih glava horizontalna. Proizvode ih: C.Zeiss (DR Nemačka), Matrix (V.Britanija), E.Leitz (SR Nemačka) a optičke podeone stolove i SIP (Švajcarska).



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Spoljni izgled optičke podeone glave firme W.Jahnert prikazan je na slici. Na čvrstom postolju (1) nalazi se podeona glava (2), i nosač pinole (3). Posедуje optički analogni projekcioni pokazivač, a može biti snabdeven i digitalnim pokazivačem.

Postavljanjem dodatnog uređaja na postolje mašine, koji predstavlja optički uređaj za merenje dužina, možemo vršiti merenje i kontrolu bregova. Kontrola se vrši tako što se na svakih 5° - 15° , koji se podese na podeonoj glavi, očita veličina radijusa i uporedi sa vrednostima datim na crtežu.



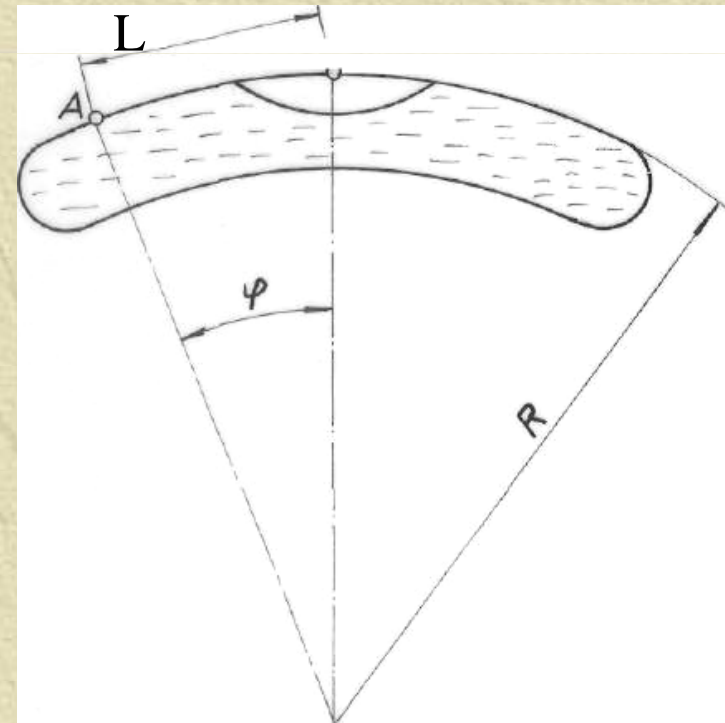
7.2. VIŠESTRUKA MERILA

7.2.3. LIBELE

Libele se uglavnom koriste za merenje malih uglova, odnosno za kontrolu horizontalnog i vertikalnog položaja. Osnovni element libele je blago zakrivljena staklena cev. Ona je delimično ispunjena tečnošću, dok ostali prostor zauzima vazdušni mehur, koji se uvek nalazi u gornjem položaju. Pri zakretanju cevi za ugao ϕ , prvobitna najviša tačka (A) pomeriće se za veličinu luka AB. Veličina ugla će tada biti ravna (slika):

$$\phi_{rad} = \frac{L}{R} \quad \text{ili u ugaonim sekundama}$$

$$\phi'' = 206265 \frac{L}{R}$$



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Osetljivost libele je:

$$A = \frac{L}{\phi} = \frac{R}{206265}$$

odnosno, ako želimo vrednost podeoka od 1", s tim da je njegova veličina ravna 1mm, moraćemo imati cev sa radijusom približno od 206 m.

Mali nagibi se mogu izražavati i u dužinskim veličinama, kao što je mm/m. Veličina podeoka se izražava u tom slučaju:

$$c = \frac{1000}{R} \approx 0,005\phi''$$

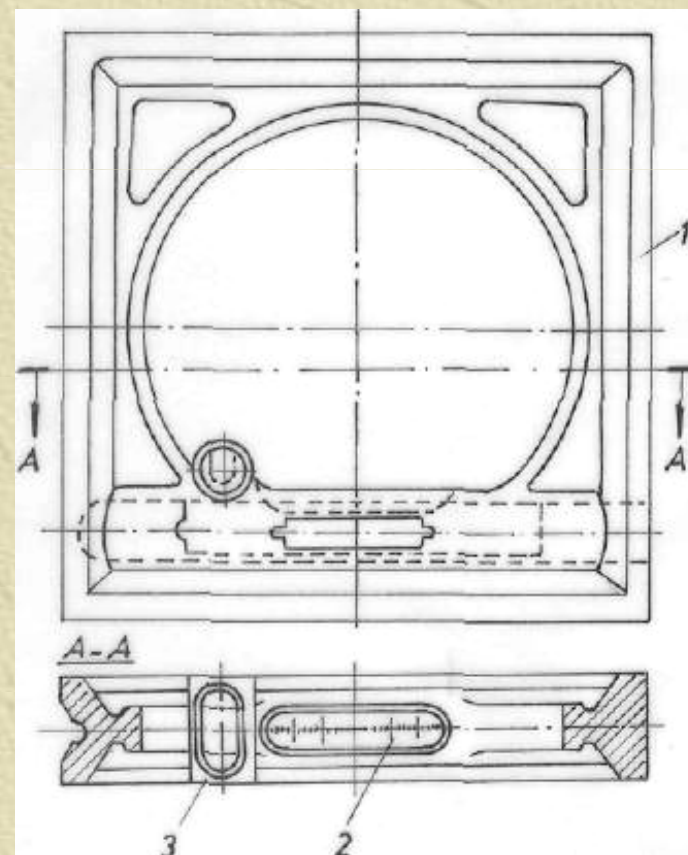
za slučaj da je: $L=1\text{mm}$

7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Okvirna libela

Okvirna libela se koristi za kontrolu horizontalnih i vertikalnih površina. Veoma je pogodna za proveru mašina alatki po Shlezinger-u. Imaju dve staklene cevi sa mehurom, postavljene u dva medjusobno upravna pravca. Spoljne strane su, takodje, medjusobno upravne, izradjene kao prizmatične površine (slika.)

Dimenzije libele su 200 x 200 mm, 250 x 250 mm ili 300 x 300 mm. Vrednost podeoka se kreće od 0,02 - 0,03 mm/m.



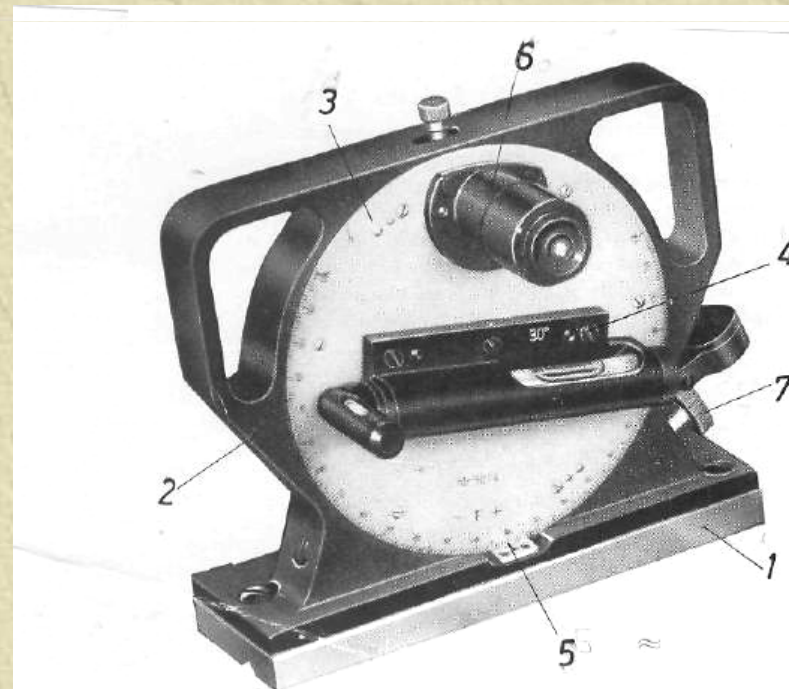
7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Ugaona libela sa mikroskopom

Na slici prikazana je ugaona libela firme Zeiss. Ovakva libela omogućuje merenje i manjih i većih uglova u uglovnim jedinicama tako da predstavlja kombinaciju libele i uglomera. Na prizmatično postolje (1) pričvršćeno je telo libele (2), koje nosi obrtni deo (3). Na njemu se nalazi pričvršćena skala sa podelom u stepenima do 120 sa obe strane, s tim da je jedna strana obeležena sa +, a druga sa -.

Zajedno sa skalom obrće se i nosač (4), na kome su dve upravno postavljene cevi sa mehurom.

Merenje se vrši tako, da se ručno prema spoljnoj skali grubo podesi mera prema repernoj nultoj crti (5), a zatim izvrši fino podešavanje pomoću vijka (7), pošto smo odigli prethodno zaštitnu kapicu. Posmatranjem kroz mikroskop (6) očitavamo tačnu meru.

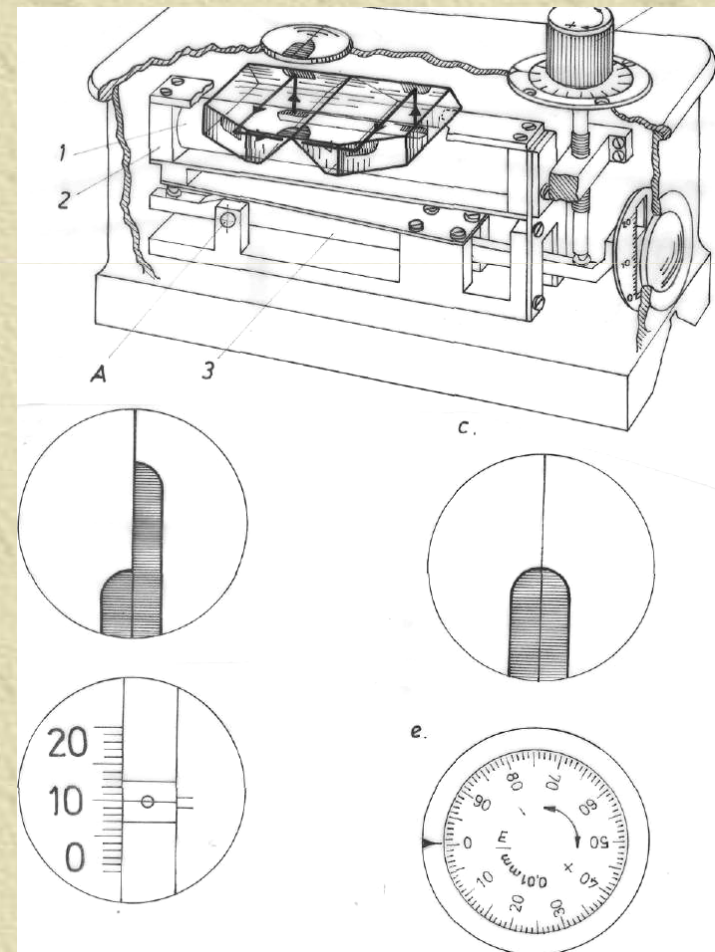


7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Koincidenc libela

Na slici predstavljena je libela sa mikroskopskim vijkom i sistemom optičkih prizama, koje dovode slike dva kraja mehura u vidno polje lupe. Proizvodi je firma Zeiss.

Cevna libela (1) nalazi se u telu (2), koje se oslanja na dvokraku polugu (3), obrtnu oko tačke (A). Naslanjanjem na kosu mernu ravan videćemo nepodešen položaj libele (slika b). Okretanjem vijka (4) podiže se kraj poluge i time se dovodi libela u horizontalan položaj, pa će se u vidnom polju lupe pokazati lik, kao na slika c. Kraj dvokrake poluge će, pritom, pomeriti repenu crtu po skali za grubu meru (sl. d), gde će se očitati mera u mm/m, dok će se fino čitavanje vršiti na gornjem delu vijka u 0,01 mm/m (sl . e).



7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Predeo merenja libele iznosi ± 10 mm/m ($\pm 34'$), a greška merenja $\pm 0,01$ mm/m, za oblast merenja od 1 mm/m odnosno $\pm 0,02$ mm/m, za ceo opseg merenja.

Veličina podeoka odrediće se prema:

$$c = \frac{1000h}{Z \cdot l} \frac{a}{b}$$

gde je:

h- korak vijka u mm

Z- broj podeoka skale

a,b- mali i veliki krak dvokrake poluge

l- veličina udaljene cevi

za $h=0,5$ mm, $Z=100$, $a=18$ mm, $b=100$ mm i $l=90$ mm, dobićemo:

$$c = \frac{1000 \cdot 0,5}{100 \cdot 90} \frac{18}{100} = 0,01 \text{ mm/m}$$

7.2. VIŠESTRUKA MERILA

Elektronska libela

Libela "Niveltronic" firme Tesa ima, umesto zakrivljene cevi sa tačnošću, elektronski uređaj, napajan baterijom, čiji je vek 1000 časova rada (slika). Elektronski uređaj sa mernom skalom, nalazi se na čvrstom livenom postolju, koje omogućuje merenje u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Libela ima priključak za pisač, tako da se merenja mogu zabeležiti na traci.

Libela se izradjuje u dve veličine, sa mogućnošću očitavanja odstupanja u uglovima i dužinskim jedinicama. Oblast merenja za instrument veličine I: $\pm 0,75$ mm/m (± 150 sec) i veličine II: $\pm 0,15$ mm/m (± 30 sec). Tačnost merenja za veće merilo 0,001 mm/m (0,2 sec) i za manje 0,005 mm/m (1 sec).

