

# MERJENJE DOLŽIN KOMPARATORJEV IN PRIMERJALNIH BAZ Z INTERFERENČNO METODO

## PROF. VAISALA

Ing. MARJAN JENKO — Ljubljana

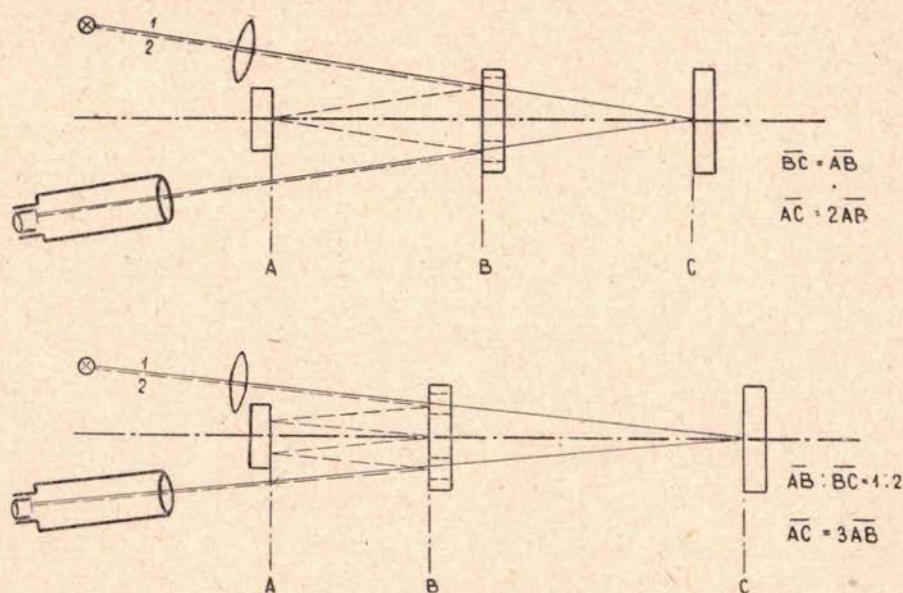
Dandanes se v triangulaciji I. reda postavlja kot glavni problem enotnost merila. Tehnika merjenja kotov je napredovala tako daleč, da dosegamo srednji pogrešek  $\pm 0,3$  in celo  $\pm 0,2$ , kar pomeni relativno natančnost  $1 : 10^6$ . Tehnika (bolje bi rekli: znanstvena disciplina) merjenja dolžin pa nikakor ne bi smela zaostajati za to natančnostjo. Srednji pogreški, ki se običajno objavljajo s rezultatom merjenj triangulacijskih baz, so sicer redno manjši od  $1 : 10^6$ , vendar so izravnave velikih omrežij — kot n. pr. srednjeevropskega — pokazale, da ta natančnost ni realna. Na bazna merjenja vplivajo zelo težko določljivi pogreški pretežno osebnega značaja. Že pred izumom interferenčnih komparatorjev je bilo jasno, da ne zadostuje laboratorijsko kompariranje invarnih žic, temveč da je najbolje celotno aparaturo z osebjem vred »komparirati« na posebni primerjalni bazi dolžine 0,5 do 1 km. Že takrat so se take baze tudi gradile (n. pr. v Potsdamu 1923.), ni pa bilo mogoče zanesljivo kontrolirati njihovo nespremenljivost niti jih medsebojno primerjati. Ta problem je dandanes odlično rešen zahvaljujoč razvoju posebnih metod interferometričnega merjenja dolžin, katerih izumitelj je finski akademik prof. Väisälä. Z njegovo aparaturo si lahko po potrebi izmeri vsaka država ali dežela svojo primerjalno bazo in to z natančnostjo, ki prekaša za cel velikostni red natančnost merjenja z žicami (vsaj  $1 : 10^7$ ) in ki je večja kot natančnost, s katero je bilo možno izraziti dolžino mednarodnega metrskega prototipa ( $1 : 5.000.000$ ).

Doseganje enotnosti merila je problem stopnjevanja relativne natančnosti dolžinskih merjenj. Za absolutno natančnost se ne mudi tako. To je očitno težja zadeva, vendar so v teku napor, omogočeni z novo definicijo metra v valovnih dolžinah ene od spektralnih črt kriptonovega izotopa Kr 86, da bi določili dolžino kremenovega metra — izhodne mere pri interferenčnem komparatorju — s približno enako natančnostjo, kot je že zdavnaj dosežena pri medsebojni primerjavi istih ( $\pm 0,005\mu$  ali  $1 : 2.10^8$ ).

Ne smemo pozabiti, da se problem enotnosti merila postavlja tudi pri kalibriranju elektronskih razdaljemerov. Izkazalo se je namreč, da notranja natančnost geodimetra in telurometra redno prekaša natančnost stranic še tako dobre triangulacije I. reda in da so tovrstna opazo-

vanja izvedljiva le na straneh zelo kvalitetnih baznih omrežij, slonečih seveda na zanesljivo izmerjenih bazah. Prav pomanjkanje takih baz nam danes še ne dopušča končno veljavne presoje in analize rezultatov dobljenih z omenjenimi instrumenti.

Interferometrično merjenje dolžin je pravzaprav že precej stara zadeva v klasičnih fizikalnih meritvah in ima aplikacije v številnih fizikalno-tehničnih panogah. Osnovano je na opazovanju in merjenju pojava interference dveh svetlobnih pramenov, vodenih s pomočjo zrcalnih ploskev po različnih poteh in nazadnje združenih v opazovani točki. Če je razlika poti teh žarkov enaka sodemu mnogokratniku polovične valovne dolžine, se intenziteti seštevata in opazujemo svetlo pego (krog ali črto); če pa je ta razlika enaka lihemu mnogokratniku polovične valovne dolžine, se žarka uničujeta in opazovalec vidi temno pego. Uporabljena svetloba mora biti monokromatska, t. j. ne sme biti sestavljena iz mešanice žarkov različnih valovnih dolžin. Na tem principu se dajo absolutno meriti majhne dolžine (v skrajnem primeru nekaj dm) kot razlike poti žarkov.<sup>1</sup>



Sl. 1

Prof. Väisälä pa ni uporabil monokromatske svetlobe, temveč belo svetlobo, kakršno oddaja žareča nitka običajne električne žarnice. Ni težko razumeti, da nastopi interferenca dveh pramenov bele svetlobe — mešanice žarkov vseh vidnih valovnih dolžin — edino v primeru, da sta poti obeh pramenov enaki. S primerno namestitvijo zrcal lahko damo

<sup>1</sup> Več o tem glej n. pr.: Čubranič, Viša geodezija I., in Jordan-Eggert-Kneissl, Hdb. f. Vermessungskunde Bd. IV/1, od str. 402 dalje.

žarkom poseben potek, tako da se iz enakosti poti (opazovne z interferenco) izvede kot posledica enakost ali celoštevilčno razmerje med razdaljami zrcal.

V prvem primeru na sl. 1 gre za podvojitvev, v drugem pa za potrojitev razdalje AB. Navedli bi lahko že celo vrsto podobnih primerov. Zmerom je enakost poti žarkov 1 in 2 le tedaj dosežena, čim so medsebojne razdalje zrcal v točnem celoštevilčnem razmerju. V praktični izvedbi si je treba misliti žarek 2 pribl. 2,5 cm pod ali nad žarkom 1, zaradi katerega sta napravljeni v srednjem zrcalu dve izvrtini.

Če smo izmerili metrsko razdaljo med prvim dvema zrcaloma A in B na začetku komparatorja (s kremenovo končno mero), lahko na opisan način to razdaljo množimo s celim faktorjem (do 10), Dobljeno razdaljo AC lahko analogno spet množimo z izbranim faktorjem itd. Klasična je razporeditev zrcal na finski primerjalni bazi v Nummeli: (0), (1), (6), (24), (72), (216), (432), (864). (Zrcala so označena s številkami, ki povedo razdaljo v metrih od začetka baze.) Tu je 6 stopenj množenja: s 6, s 4, po dvakrat s 3 in po dvakrat z 2.

Če se omejimo na prva štiri zrcala od (0) do (24), dobimo interferenčni komparator za invarne žice (v ožjem smislu). Na okvir prvega in zadnjega zrcala se da pritrčiti mikroskop za opazovanje žičnih skal. Žica je potem napeta v vertikalni ravnini, ki poteka skozi osi zrcal. Takih interferenčnih komparatorjev je po geodetskih inštitutih raznih dežel že precej. Bolj redke pa so še za enkrat interferenčne primerjalne baze. Nummelska baza je najstarejša (prvič izmerjena 1947.), če izvzamemo nekaj poskusnih baz, ki so jih gradili Väisälä in njegovi učenci že od 1. 1927 dalje. Slične baze so še v Buenos Airesu, v Loenermarku (Nizozemska) in pri Münchenu.

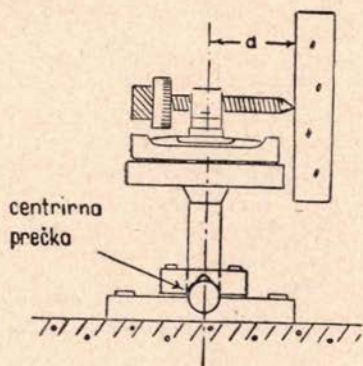
Pri teh bazah poteka merska črta, vzdolž katere opravljamo merjenje z žicami, vzporedno na razdalji 1,5 do 3 m od linije, vzdolž katere so razporejena zrcala. Razlogi za to preložitvev so predvsem praktični. S tem pa nastane potreba po projiciranju primerjalne baze na izmerjeno interferenčno linijo in to je v pogledu natančnosti sicer zahtevna, a tudi zanimiva geodetska operacija.

Naj v glavnih potezah opišem finsko bazo v Nummeli in potek 5. interferenčnega merjenja te baze izvršenega v oktobru 1961, pri katerem sem imel priliko prisostvovati in deloma sodelovati.

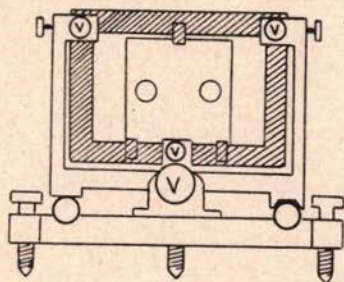
Pri topografskem opisu so pomembne predvsem naslednje značilnosti: peščenoprodna sestava terena do precejšnje globine, zaraščenost z iglastim gozdom, orientacija baze od JZ proti SV. Teren je skoraj raven in približno horizontalen; višinska razlika med krajiščema je okrog 2 m. Gozdni presek je čisto ozek (4 m). Po sredini poteka primerjalna baza, 2 m desno od nje — tik ob drevju — pa interferenčna baza. Ta se sastoji iz dobro fundiranih, močnih stebrov iz navadnega betona — po en steber za vsako zrcalo, 3 m pred začetnim stebrom (0) pa stoji betonska miza za opazovalni daljnogled in za umetno zvezdo (izvor svetlobe). Primerjalna baza je stabilizirana s tremi podzemnimi centri vstribrov (0), (432) in (864). Stabilizacija srednje točke omogoča koristne kontrole. Podzemni centri so zelo veliki, brezoblični betonski bloki z

gornjo površino približno pol metra pod nivojem terena. Vanjo je vzdan reper z luknjico kot centrom in z navoji za kovinski pokrovček. Nadzemne stabilizacije ni; pri merjenju se odkoplje gornja površina podzemnega centra okrog reperja. Na vsakih 24 m (razen nad podzemnini centri) je zabit debel, nekaj manj kot 1 m visok kol, podprt s treh strani z enako debelim okroglim lesom in na vrhu ravno odžagan. Pri aliniranju se zasadi v gornjo površino kola jeklena konica preprostega reperčka opremljenega z marko v obliki križca.

V gornjo površino vsakega stebra interferenčne baze so vzdane tri železne podložke za vijake podnožnega okvira, po katerem se premika zrcalo, dalje privojni vijak za fiksiranje tega okvira in, pravokotno na smer baze, vodoravna, fino brušena jeklena os (tzv. centrirna prečka), ki predstavlja konkreten »center« stebra, to je točko, od katere lahko vsak čas mehanično odmerimo razdaljo do zrcalne ravnine. V ta namen nam rabi preprosta »centrirna« naprava, ki se sestoji iz mikrometrskega vijaka in občutljive libele; oboje je pritrjeno na kovinski mostič, sličen onemu pri natakljivi libeli teodolita. Na sl. 2 je naprava skicirana od strani. Z njo se merijo premiki zrcala na  $\pm 2\mu$  natančno.



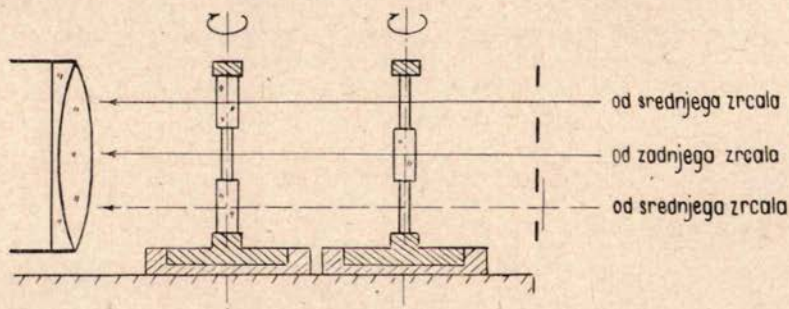
Sl. 2



Sl. 3

Podnožni okvir ima zgoraj dve tračnici okroglega profila, po katerih drsi (v smeri baze) nosilec zrcala. To je plošča z dvema stranskima sohami, v katero so vdeleni trije pari nasproti si delujočih vijakov za pritrditev in obenem za fino premikanje zrcalnih okvirov (sl. 3). Tudi sam nosilec zrcala se da mikrometrsko premikati po tračnicah in pritrčiti s pomočjo dveh nasprotnih vijakov na podnožnem okviru. Vsi deli so izdelani preprosto in masivno. Tudi zrcala su precej bela. So kvadratne oblike s stranico 10 cm, le zrcalo (0) je samo 6 cm široko in je brez lukenj. Zrcali (0) in (1) imata v sredini vodoraven neposrebren pas. Zrcalni okvirji so pravokotne oblike, tako da ostane levo in desno od zrcala nekaj cm široka odprtina.

Med stebroma (0) in (1) je še poseben mostič — nosilec kremenovega metra, ki omogoča tudi pravilno nameščanje koncev te mere napram zrcalom (0) in (1). Na stebru (1) se namesti za zrcalom še tzv. ločni aparat (glej razlago k sl. 5), na stebru (0) levo pred zrcalom pa kolimator, t. j. precej velik objektiv z goriščnico 3 m, stransko in višinsko premičen. Opazovalni daljnogled z nad stokratno povečavo sloni na primernem podnožju, ki omogoča manjše premike in zasuke v vseh potrebnih smereh, kakor tudi fiksiranje posameznih položajev daljnogleda. Optična os je dvadrat prelomljena, s čimer se zmanjša dolžina instrumenta in doseže udobnejši položaj opazovalca. Neposredno pred objektivom je tzv. akromatski vrtljivi kompenzator, za njim pa posebna loputa z zaslonkami, preko katerih vodimo svetlobne pramene proti ustreznemu delu kompenzatorja.



Sl. 4

Kompenzator (sl. 4) se sestoji iz dveh skupin planparalelnih ploščic v vrtljivih okvirih. Slika kaže prerez naprave gledane od strani. Debelejše ploščice so iz kronovega, tanjše pa iz flintovega stekla; s primeranim razmerjem debelin je dosežena praktično popolna akromatičnost. Osnovnica okvira je krožne oblike in nosi stopinjno razdelbo. Princip kompenzatorja je v tem, da s sukanjem enega od okvirov podaljšujemo optično pot enega od prihajajočih žarkov napram poti drugega. Zasuk kompenzatorja je torej optično enakovreden mehničnemu premiku enega od zrcal (do iznosa 1 mm). Teoretično so sicer kompenzatorji odveč, v praksi so pa nenadomestljivi. Spremembo optične poti dobimo z mikronsko natančnostjo iz posebnih tablic, katerih argument je zasuk kompenzatorja.

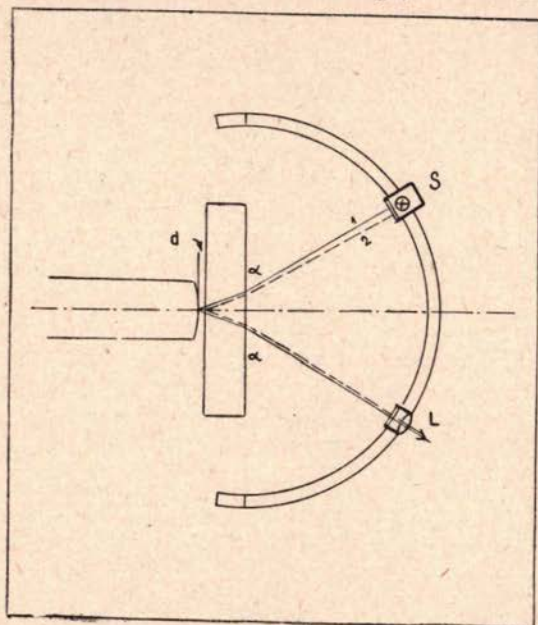
Sam kompenzator še ne zadostuje pri praktičnem iskanju interference. Nadaljnjo olajšavo omogoča okularna prizma, ki se natakne pred okular in ki razkloni opazovano (dvojno) sliko svetila v spekter. Sukajoč kompenzator opazimo v spektru mnogo laže temne interferenčne proge; zatem šele iščemo intrferenco brez okularne prizme z dodatnimi majhnimi premiki kompenzatorja.

Na levi strani betonske mize (gledano v smeri baze) je nameščeno še svetilo — tzv. umetna zvezda, ki se sestoji iz žarnice in iz močne negativne leče, ki tvori pomanjšano, praktično točkasto virtualno sliko dela žareče nitke. Ta slika mora biti v žarišču kolimatorja, tako

da je žarkovje, ki zapuša kolimator, strogo paralelno. Umetno zvezdo lahko mikrometrsko premikamo in sučemo; njene prečne premike lahko tudi čitamo na merskom vijaku. Vsaki stopnji multiplikativnega prenosa dolžin namreč odgovarja določen položaj svetila kakor tudi ustrezen položaj daljnogleda (prim. sl. 1).

Vsak steber kakor tudi miza se da zapreti s posebno pločevinasto kapo, dovolj veliko, da lahko ostane ves instrumentarij ob prekinitvi dela na stebru.

K temu precej površnemu opisu je treba dodati še pojasnilo, kako se izmeri razdalja med zrcalom (0) in (1). Kot že rečeno, je med njima položen kremenov meter. Ta ima obliko votle palice okroglega preseka s sferičnimi končnimi površinami. Bolj zakrivljena površina se dotika zrcala (0). Pravilen dotik ugotovimo s pogledom skozi neposrebreni del zrcala (0) na Newtonove interferenčne kroge, v katerih središču mora



Sl. 5

biti praviloma srednjevelika črna pega. Drugi konec metra se ne sme dotikati zrcala (1), sicer bi neizogibno nastale napetosti, ki bi pokvarile natančnost merjenja. Vmes mora ostati nekaj mikronov debela zračna plast, katero izmerimo z že omenjenim ločnim aparatom. To je kovinski polkrog z razdelbo, po katerem drsi en nastavek (S) z majhno žarnico za motnim steklom in drugi (L) z barvnim filtrom ter opazovalno lupo. Glej sl. 5! Kot posledico interference žarkov 1 in 2 vidimo na površini zrcala temno ali svetlo pego, obdano s koncentričnimi kolobarji (Newtonovi krogi). Teoretična formula za razdaljo  $d$  je:

$$2d = \frac{m\lambda}{\sin\alpha}$$

$\lambda$  : valovna dolžina uporabljene svetlobe  
 $m$  je število krogov, ki se pojavijo pri premikanju svetila  $S$  in lupe  $L$  od izhodišnega položaja ( $\alpha = 0$ ) do določenega kota. Opazujemo seveda vse položaje, pri katerih vidimo v središču krogov srednjemetno pego, od  $\alpha = 0$  do  $\alpha = 90^\circ$ . V zadnjem položaju pa ugotovimo v središču krogov večjo ali manjšo, temno ali svetlo pego, kar pretvorimo v del ( $\epsilon$ ) valovne dolžine po posebnem ključu (srednjevelika svetla pega pomeni n. pr.  $0,5\lambda$ ). Tako računamo v praksi razdalje  $d$  raje po formuli:

$$2d = (m_{\max} + \epsilon) \cdot \lambda$$

Natančnost te meritve je nekaj stotink/ $\mu$ . Ker je število  $m$  pri danem  $d$  premosorazmerno s  $\sin\alpha$ , je skala na loku nanesena kar v vrednostih sinusove funkcije. Zaporedni odčitki zato izkazujejo konstantne medsebojne razlike. To nam olajšuje ugotavljanje števila eventualno izpuščenih opazovanj temne pege, kar je pri majhnih kotih  $\alpha$  reden pojav.

K opremi interferenčne baze spadajo še precizijski aneroid in večje število kvalitetnih termometrov obešenih v višini os zrcal nedaleč od iste. Razpored je lahko različen in zavisi od števila razpoložljivih komadov. Vsak termometer ima pločevinast zaslon stožčaste oblike, ki varuje bučko z živim srebrom pred toplotno radiacijo. Dva termometra se uporabljata za merjenje zunanje in notranje temperature kremenovega metra. Zračni pritisak in temperatura sta argumenta v redukcijskih formulah za dolžino metra in za dolžino optičnih poti žarkov v zavisnosti od spreminjanja zračne gostote.

Pomožna oprema: poljski telefon za sporazumevanje na razdaljah 216, 432 in 864 m; platnena streha nad stebroma (0) in (1) ter nad mizo; leseni okviri obiti s strešno lepenko za zaščito ostalih zrcal pred dežjem; cela vrsta različnih pločevinastih zaslonov, ki se nameščajo pred zrcali ali pa za njimi in ki se s pridom uporabljajo pri justiranju zrcal ter svetila.

Okrog stebrov (0) in (1), ki imata skupen temelj, je zgrajen lesen pod, katerega oporne točke ležijo kolikor mogoče daleč od stebrov.

Pri začetku baze je še lesena stavba s 24-metrskim interferenčnim komparatorjem, katerega stebri in opazovalna miza so povsem slični začetnemu delu interferenčne baze. Dodana sta še fiksna kovinska nosilca škripcev za napenjanje žic, opremljena z napravami za ustrezna mikrometrsko premikanja. Stavba ima veliko število širokih vrat zato, da bi bili temperaturni pogoji pri kompariranju žic čimbolj slični onim pri merjenju na terenu.

Iz gornjega opisa je bralcu že lahko jasno, da pri tolikem številu instrumentov, merilnih naprav in opreme trajajo pripravljala dela za interferenčno merjenje 864-metrške proge več dni. Prva faza teh del obsega v bistvu postavitev zrcal. Podnožni okviri s tračnicami se horizontirajo z običajno libelo, obenem se nastavijo s pomočjo vznožnih vijakov pravilne višine teh okvirov in s centrirno napravo pravilne razdalje zrcal od centrirnih prečk. Vsi ti podatki so bili zabeleženi od prišliki zadnje interferenčne meritve in so zanesljivi le s pogojem, da niso

nastali vmesnem času kaki večji premiki stebrov. Sledi alinjiranje vseh podnožnih okvirov s teodolitom; orientiranje okvirov smemo izvršiti na oko.

V naslednji fazi natančneje alinjiramo zrcala tako v horizontalnem kot v vertikalnem smislu. Zadnje opravimo po predhodno izvršenem preciznem nivelmanu vseh nosilcev zrcal, ki nam pokaže, koliko še odstopajo posamezni nosilci po višini od geometrijske preme. Pri računu moramo seveda upoštevati upliv zemeljske krivine. S teodolitom nato alinjiramo zrcala v horizontalnem smislu; pri tem viziramo na sredino zrcal, premikamo pa zrcalne okvire.

Tretja faza obsega predhodno justiranje (paraleliziranje) zrcal. To se v grobem najprej opravi na oko. Opazovalec drži blizu očesa ročno svetilko usmerjeno proti zrcalu in poišče mesto, odkoder vidi v zrcalu njeno odbito svetlobo. Pomočnik nato premika zrcalni okvir toliko časa, da dovede opazovalca v linijo baze po smeri in po višini. Sledi natančnejše justiranje s pomočjo nivelirja, postavljenega z optično osjo na nekaj mm natančno v podaljšek bazne linije — spojnice zrcalnih središč. Centrično pred objektivom je pritrjena majhna žarnica. Opazovalec vizira na sredino zrcala, nato pa premika omočnik zrcalo toliko časa, da pride odbita slika žarnice v sredino nitnega križa (avtokolimacijski princip).

V četrti fazi postavljamo kolimator, svetilo in daljnogled v pravičen položaj medsebojno in napram zrcalom, definitivno paraleliziramo zrcala in iščemočasne interference. Na tem mestu ni mogoče podati pravega opisa teh operacij, ki bi bil precej dolgovezen in za bralca, ki nima možnosti videti konkretni postopek, tudi teže razumljiv. Omejujem se zato na naštevanje operacij s kratkimi pripombami.

1. Postavljanje kolimatorja pred zrcalo (0). Njegov desni rob mora segati do sredine toga zrcala.

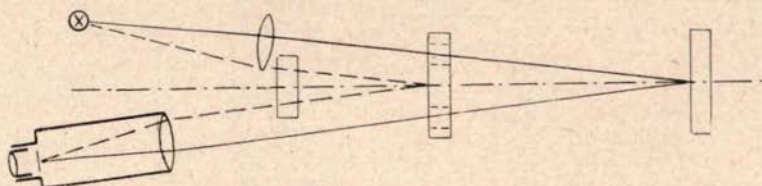
2. Postavljanje umetne zvezde in daljnogleda. Virtualna slika svetila mora biti natančno v žarištu kolimatorja. Določanje pravičnih položajev po smeri in po višini se opravi postopoma, deloma s prostim očesom, deloma z daljnogledom. Pri tem (kakor tudi pri sledečem justiranju zrcal) uporabljamo pločevinaste zaslone, ki pokrivajo zrcala s stranskimi odprtini vred; ti imajo različno rasporejene okrogle in pravokotne izreze, skozi katere takorekoč vodimo posamezne žarke na zaželeno mesto.

Pri večjih razdaljah je justiranje svetila in zrcal težaven postopak. Na tako dolgi poti namreč difundira snop žarkov v širino in se krivi vsled tzv. nivelitske refrakcije, zaradi česar je treba dodatno popravljati višino svetila. Določitve definitivnih položajev svetila in zadnjega zrcala (prim. naslednji odstavek) so v teh primerih tesno povezane operacije.

3. Justiranje zrcal se začne z orientiranjem zadnjega zrcala, ki mora odbijati žarke skozi sredino luknje v srednjem zrcalu in skozi srednjo zaslonko pred kompenzatorjem v zorno polje daljnogleda. Sledi paraleliziranje srednjega zrcala s zadnjim. Pri tem si pomagamo s pomož-



nim žarkom, ki gre skozi srednji neposrebreni pas zrcala (0) in se le enkrat odbije od srednjega zrcala. Kadar sliki obeh žarkov v zornem polju sovpadata, je položaj srednjega zrcala pravilen (glej sl. 6). Nazadnje se popravlja zrcalo (0). Vzporednost z zadnjim in s srednjim



Sl. 6

zrcalom je dosežena tedaj, ko se združijo v eni točki zornega polja srednji žarek, ki se odbija od zadnjega zrcala, in zgornji ter spodnji žarek, ki se več ali manjkrat odbijata med srednjim in začetnim zrcalom (glej sl. 1). Obenem se tudi kontrolira pravilno število teh odbojev.

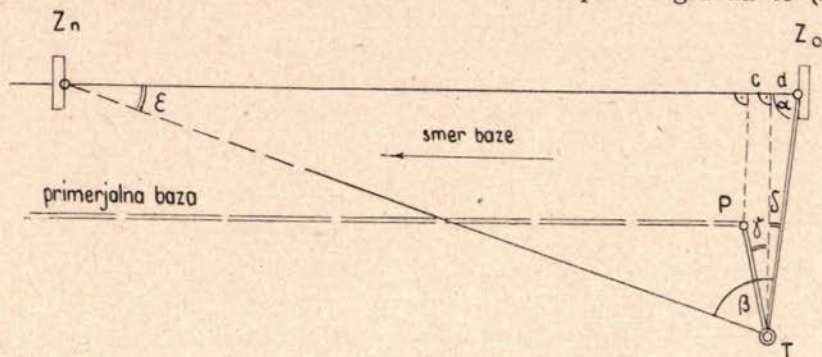
Pri teh justiranjih uporabljamo opazovalni daljnogled najprej bez okularnega izvlečka (ta se z lahkoto sname). Skozi objektiv vidimo nekoliko povečano, sicer motno, vendar dovolj svetlo sliko. Posamezni svetlobni prameni so vidni drug poleg drugega in je njihove premike lahko zasledovati.

Ves opisani postopek paraleliziranja zrcal ponavljamo za vsako interferenčno stopnjo, začenši s krajšimi razdaljami. Čim so zrcala vzporedna, poiščemo interferenco z vrtenjem kompenzatorjev. Če je ne najdemo ali če nastopi pri izrazito poševni legi kompenzatorja, premaknemo nosilec zadnjega (ali srednjega) zrcala z mikrometrskim vijakom. Kompenzatorski kot, pri katerem je interferenca vidna, seveda zabeležimo. Pri paraleliziranju zrcal naslednje interferenčne stopnje odstranimo dotedanje srednje zrcalo (z nosilcem vred); dotedanje zadnje zrcalo, ki postane sedaj srednje, in zrcalo (0) pretrpita sedaj spet manjše premike (predvsem rotacijske), kar pa bistveno ne pokvari rezultatov justiranja in iskanja interference pri prejšnji stopnji. Čim smo prišli s tem postopkom do največje razdalje, lahko začnemo s pravim merjenjem. Predhodno mora biti pravilno nameščen in pripravljen za opazovanja kremenov meter.

Pravo merjenje se začne z interferencami na najdaljši progii. Opazujemo interferenco srednjega z zgornjim in s spodnjim žarkom in to vsakokrat s sukanjem kompenzatorja v levo in v desno od ničelnega položaja. Dva pomočnika čitata termometre. Beležijo se natančni opazovalni časi. Pri prehodu na krajše razdalje je včasih potrebno malenkostno justiranje srednjega zrcala. Na najkrajših progah 0—6—24 in 0—1—6 opazujemo interferenco po dvadrat, vmes pa štirikrat določimo razdaljo 0—1 z odčitki na ločnom aparatu. To povečanje natančnosti je potrebno zaradi neugodnega multiplikativnega prenosa merskih pogreškov na dolžino cele baze.

S tem je opravljena prva polserija opazovanj. Druga polserija poteka strogo simetrično napram prvi in se zaključí z interferencami na najdaljši progi. Cela serija opazovanj traja dve do tri ure. Za kvalitetno meritev so potrebne vsaj štiri serije, pri čemer je dovolj, če nam interference na najdaljši progi 0—432—864 uspejo v dveh serijah. Vsi definitivni položaji zrcal — razen zrcala (1) — se sproti odmerjajo s centrirano napravo od centričnih prečk.

Interferenčna opazovanja spremlja občasno projiciranje podzemnih centrov pri stebrih (0), (432) in (864) na smer interferenčne baze. Umetno je opraviti to dva do trikrat, da se pridobi na natanačnosti in da se kontrolira nepomičnost ustreznih stebrov. Principielno gre za to (sl. 7),



Sl. 7

da določimo vsakokrat vsoto projekcij  $c+d$  daljic  $TP$  in  $TZ_0$  ( $Z$ : zrcalo,  $P$ : podzemni center,  $T$ : teodolit). Iz opazovanja smeri (po girusni metodi) dobimo kota  $\beta$  in  $\gamma+\delta$ . Na osnovi znane dolžine  $Z_0Z_n$  in s trakom precizno izmerjenih ekscentricitet  $TZ_0$  in  $TP$  se izračuna najprej kot  $\alpha$ , nato pa:  $\delta = 90^\circ - \alpha$  ter  $\gamma = (\gamma+\delta) - \delta$  in slednjič  $c = \overline{TP} \cdot \sin \gamma$ ,  $d = \overline{TZ_0} \cdot \sin \delta$ .

Pri praktični izvedbi pa ni vse tako enostavno. Ako zrcala  $Z_n$ , ki mora biti dovolj oddaljeno, ne vidimo, je treba signalizirati neko točko na pravokotnici skozi  $Z_n$  in to ekscentriciteto izmeriti prav tako kot ostale ter jo upoštevati v računu. Za signalizacijo takih točk se uporabljajo vizirne značke polignometričnega pribora. Specialno signalizacijo pa zahtevata zrcalo  $Z_0$  in podzemni center. Pri obeh uporabljamo načelo eliminiranja ekscentricitete vizirnih točk s prelaganjem istih za  $180^\circ$ . Tako je podzemni center n. pr. signaliziran s kovinsko palico, zgorja in spodaj stožčasto obdelano. Spodnja konica tiči v luknjici reperčka. Palica je podprta s posebnim stativom, ki omogoča mikrometerska premikanja v dveh pravokotnih vodoravnih smereh. Na palico je pritrjena konzola z dvema navskrižnim libelama. Občutljivejšo, ki ima vrednost parsu reda  $5''$ , orientiramo tako, da je vzporedna z bazo. Libeli naravnava vamo z mikrometrskimi vijaki na stativu. Palico je prav lahko zasukati

okrog svoje osi za  $180^{\circ}$  (v drugi položaj); sledi spet naravnavanje libel. Podolžno libelo pa vselej raje odčitamo in upoštevamo odklon mehurčka pozneje računsko; vrhunjenje tako občutljive libele bi bilo namreč prezamudno. Gornja konica palice se uporablja le pri merjenju ekscentricitet. Za viziranje pride v poštev fino izdelana okrogla luknjica z oštremi robovi (premera pribl. 2 mm) v sploščenem delu palice neposredno pod konico. Tudi vizirno marko zrcala predstavlja slična luknjica v vodoravnem medeninastem čepku, ki je naslonjen na sredino zrcala in ki se tudi prelaga z ene strani zrcala na drugo (v računu je treba upoštevati še debelino zrcala!). Take luknjičaste marke se odlično obnesejo.

Posebno skrb posvečamo stabilnosti instrumenta kakor tudi približni horizontalnosti vseh vizur, da ne pride do izraza vpliv nevertikalnosti osi z. Razume se, da mora biti stališče instrumenta čim natančneje na pravokotnici skozi podzemni center oziroma v ustrezni zrcalni ravnini. Letos sta se pri teh opazovanjih uporabljala istočasno dva instrumenta; eden (običajen sekundni teodolit) 2 m levo od podzemnega centra, drugi (Wild T3) pa 6 do 7 m desno od ustreznega stebra (gledano v smeri baze).

Izkušnje so pokazale, da se po opisani metodi doseže (in preseže) natančnost projiciranja  $\pm 0,02$  mm. Metoda ima še nekaj variant; tu je opisana tista, ki se trenutno smatra kot najpraktičnejša.

Za celotno terensko delo je treba predvideti, upoštevajoč neizogibne periode neugodnega vremena, približno štiri tedne časa.

Obdelava računskega postopka, po katerem pridemo od dolžine kremenovega metra do dolžine primerjalne baze, ni namen tega stavka. Načelno sicer ne bi vsebovala nič novega za bralca, ki mu je princip merjenja jasen. Je pa v tem postopku mnogo posebnosti in podrobnosti, ki jih ni mogoče obdelati brez predhodnega temeljitejšega opisa merskega postopka in baze same. Najvažnejša redukcija, ki se mora že od vsega začetka upoštevati, je temperatura. Ne sme se zanemariti vpliv debeline srebrne plasti na zrcalih (0) in (1). Razdalja teh zrcal se namreč meri med neposrebnima površinama, žarki pa se pri interferenci odbijajo od posrebnih površin. Nadaljnjo redukcijo povzroči sprememba zračnega pritiska vzdolž baze zaradi nehorizontalnosti iste. Ostale redukcije so geodetske narave (prenos z interferenčne linije na linijo primerjalne baze, redukcija na horizont itd.). Rezultat je prava dolžina primerjalne baze, reducirana na primerno izbran srednji horizont.

Na natančnost rezultata ima redno najmočnejši vpliv nesigurnost temperaturne redukcije, združena za nesigurnostjo glede na stabilnost stebrov. Na drugem mestu utegne biti nesigurnost projekcijskih opazovanj; šele nato se uvršča vpliv pogreškov multiplikativnih prenosov in odmerjanj s centrirno napravo. Skupni vpliv teh najvažnejših faktorjev, predvsem prvih dveh, omejuje relativni srednji pogrešek baz na nekaj manj kot  $1/10\,000\,000$ , kot vidimo iz naslednjega pregleda rezultatov:

Baza		Dolžina	Relat. natančnost
Numela	1947	864,121.89 m $\pm$ 0.05 mm	1 : 17 000 000
"	1952	.55 $\pm$ 0.06	1 : 14 000 000
"	1955	.49 $\pm$ 0.08	1 : 11 000 000
"	1958	.37 $\pm$ 0.06	1 : 14 000 000
Buenos Aires	1953	480,001.78 $\pm$ 0.05	1 : 10 000 000
Loenermark	1957	576,092.26 $\pm$ 0.05	1 : 11 500 000
München	1958	864,064.27 $\pm$ 0.09	1 : 10 000 000
"	1960	.03 $\pm$ 0.14	1 : 6 000 000
"	1961	.20 $\pm$ 0.15	1 : 6 000 000

Sistematsko skrajševanje numelske baze še ni pojasnjeno.

Da ta natančnost popolnoma zadovoljuje geodetske potrebe, je bilo poudarjeno že v uvodnih odstavkih.

Za doseganje kvalitetnih rezultatov je predpogoj kvaliteten instrumentarij. Finske aparature, izdelane v laboratorijih prof. Väisälä, so v tem oziru izvrstne in zaenkrat v bistvu nenadkriljive. Drug važen moment je stabilnost terena in stebrov. V okolici se ne smejo proizvajati tresljaji (n. pr. s tovarniškimi stroji). Nestabilnost stebrov je delala velike preglavice v Buenos Airesu.

Nadaljnji odločilen pogoj so ugodne vremenske razmere, te je temperaturna izenačenost in stabilnost zračnih plasti vzdolž baze. Temperaturni kolebanjem namreč odgovaraja nestabilnost lomnega količnika zraka in s tem dolžine optičnih poti žarkov, kar praktično onemogoča opazovanje intereferece. Na interferenčni progi 0—1—6, kjer je vpliv vsakega pogreška (ne le temperaturnega) najbolj občuten, se je letos merila temperatura razen z običajnimi termometri še z električnim, konstruiranim po zamisli prof. Honkasala. Ugodno je mirno, precej oblačno vreme; vetrič in rahel dež ne motita. Nočno delo ni nujno, čeprav ima svoje prednosti.

Nazadnje se mora poudariti še osebni faktor. Od znanja, izkušenj in tudi od potrpljenja opazovalca zavisi uspeh merenja v nemajhni meri. Zanimivo je, da se prvo meritev na zgoraj naštetih bazah izven Finske opravili vselej finski strokovnjaki, predvsem profesorja Kukkamäki in Honkasalo. Zadnji je vodil tudi letošnjo meritev v Nummeli in vanjo uvajal enega od svojih kolegov s Finskega geodetskega inštituta.

Že pred leti je Mednarodna unija za geodezijo in geofiziko priporočila izgradnjo primerjalnih baz merjenih po interferenčni metodi, v kolikor že ne v vsaki državi, pa vsaj enakomerno razporejenih na posameznih kontinentih. Argentina, Nizozemska in Zahodna Nemčija so se priporočilom že dejansko odzvale. Govora je bilo že tudi o namenu, da se zgradi v južni Evropi dve taki bazi: ena v južni Franciji in druga v Jugoslaviji. Jugoslovanska baza bi lahko zadovoljevala potrebe vseh balkanskih dežel in Podonavja; žal pa ni bilo dosedaj več čuti o kakih nadaljnjih korakih v smeri realizacije tega lepega projekta, ki bi bil v čast jugoslovanskim geodetom. Zeleti bi bilo, da nam to prinese najbliža bodočnost!

## VIRI:

- T. H o n k a s a l o: Measuring of the 864 m — long Nummela standard base line with the light interference comparator and some investigations into invar wires. Veröff. d. Finn. Geod. Inst. No. 37, Helsinki 1950.
- T. H o n k a s a l o: Measurement of standard base line with the Väisälä light-interference comparator. Journal of Geophys. Res., Vol. 65 No 2, Febr. 1960, p. 457—460.
- M. K n e i s s l: Väisälä und sein Interferenzkomparator. Commentationes in honorem Vrjö Väisälä die natali eius septuagesimo. Ann. Acad. Sci. Fenn., Ser. A III, Helsinki 1961.
- Y. V ä i s ä l ä: Anwendung des Interferenzkomparators von Väisälä bei der Grundlinienmessung. Jordan-Eggert-Kneissl, Handbuch der Vermessungskunde Bd. IV/1, Stuttgart 1958, S. 482—501.
- T. J. K u k k a m ä k i: Entwicklung und Bedeutung des Väisälä-Interferenz-Komparators. Zeitschrift f. Vermessungswesen 1958.

## ISPRAVAK

U Geodetskom listu br. 10-12/61 potkrala se je štamparska pogreška u njemačkom prijevodu naslova članka Dr. Ing. Stjepana Klaka: »Formule za računanje utjecaja visine stajališta na mjerenje vrijednosti ubrzanja sile teže.«

Ispravan prijevod treba glasiti:

»Formeln für die Berechnung des Einflusses der Höhe des Standpunktes auf die gemessenen Werte der Schwerebeschleunigung.«

### Berichtigung

In Geodetski list No 10-12, Seite 398 Zusammenfassung, 16. Reihe von unten soll  
statt »eine auf 0,5 mm« . . . .  
stehen: »eine auf 0,05 mm« . . . . .