

Komparator za mikrotrigonometrijska mjerjenja*

(zaštitni znak RK 1 i RK 2)

Već tri godine radimo na ispitivanju pomicanja pregrade hidrocen-
trale Moste i nastale deformacije određujemo putem mikrotrigonom.
merjenja i preciznog nivelmana.

Stalno nas je zanimalo, *kojom tačnošću faktično određujemo te de-
formacije sa mikrotrigonom. merjenjem i to mi je dalo povoda da kon-
struiram instrumenat — komparator, koji omogućava komparisanje do-
bivenih rezultata sa faktičnim pomicanjem.*

Ako pogledamo švajcarsku i nemačku stručnu literaturu u kojoj se
raspravlja o merenjima za određivanje deformacija pregrada vidimo, da
se srednja greška deformacija dobije putem računanja srednje greške
opažanog pravca, nadalje pretpostavke lične greške operatora, točnosti
centrisanja instrumenta i točnosti centrisanja vizirnih ploča.

Na ovaj način dolazimo — po teoriji grešaka — do formule:

$$m = \pm \sqrt{m_o^2 + m_v^2 + m_i^2 + m_p^2} \quad \dots 1.)$$

gde nam znači:

m_o ... srednja greška opažanog pravca (aritm. sredine iz sviju girusa)

m_v ... lična greška viziranja

m_i ... greška centrisanja instrumenta

m_p ... ,, centrisanja vizirne ploče — marke.

Pošto vršimo opažanja na dvema stanicama, sledi konačno da je
srednja greška, kojom određujemo horizontalne deformacije jednaka

$$M = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2} \quad \text{i odnosno ako je } m_1 = m_2$$

$$\text{tada je } M = \pm m. \sqrt{2} \quad \dots 1.)$$

Predloženi komparator nam daje mogućnost, *da putem direktnog
preciznog merjenja utvrdimo, kojom tačnošću određujemo te deformacije
sa mikrotrigonom. opažanjem.*

Na ovaj način možemo da konstatujemo kod svakog opažača, koliko
greši kod određivanja veličina deformacija i ukoliko su njegova opažanja
uistinu kvalitetna i svrsi odgovarajuća ili ne.

*) Referat na I. kongresu geod. inž. i geometara FNRI 6.—10. XII. 1953, u Zagrebu.
Komparator je izrađen u finomehaničkoj radionici Geodetskog zavoda LRS u Ljubljani
na predlog i po nacrtima ing. Rudla.

Opis komparatora

Komparator je sastavljen iz 4 glavna dela:

1. Iz tronošca
2. Iz pribora za merenje
3. Iz tarče — vizirne ploče
4. Iz pribora za horizontiranje.

Sa mernom napravom RK 2 možemo izvršiti mikrometrično merenje po Y' i X'-osi a sa priborom RK 1 po Z-osi.

Primedba: Y' i X'-os nije identična sa Y i X-osi koordinatnog sistema.

Sa priborom RK 2 komparišemo horizontalne a sa RK 1 vertikalne deformacije.

Ka tronošcu spada i vijak za prisilno centrisanje na kontrolnom stubu.

Naprava za merenje RK 2 ima sa strane pričvršćen daljnogled kojim se navizira vizirna ploča na jednom od kontrolnih stubova sa kojeg vršimo opažanja.

Pomicanja mogu da se očitaju na mikrometrima sa tačnošću od $\frac{1}{100}$ mm.

Ako izvršimo pomicanje sa mikrom, zavrtnjem onda se u isto vreme pomiče i tarča — vizirna ploča na komparatoru.

Pre nego što se postavi merilna naprava sa tarčom u potstavak moramo izvršiti horizontiranje sa priborom za horizontiranje koji je snabdeven sa dve nakrsne libele.

Kod tog komparatora sam tronožac je faktično i sastavni deo jer možemo da upotrebimo svaki tipizirani Zeiss-ov tronožac.

Princip komparisanja je u sledećem

Vizirna ploča — tarča komparatora nadomešta uzidanu vizirnu marku na pregradi.

Umesto na uzidanu marku izvršimo mikrotrigonom. opažanja na vizirnu ploču komparatora pri — recimo — očitovanju 0,00 m/m na mikrometr. zavrtnju (bubnjiču komparatora).

Posle izvršenog opažanja sa jednog i drugog kontrolnog stuba izvršimo pomicanje tarče komparatora sa mikrometr. zavrtnjima po Y' i X'-osi za neki iznos i izmerimo t.j. očitamo te *faktično nastale* »deformacije« do $\frac{1}{100}$ m/m i ponovimo mikrotrig. opažanja sa jednog i drugog kontrolnog stuba.

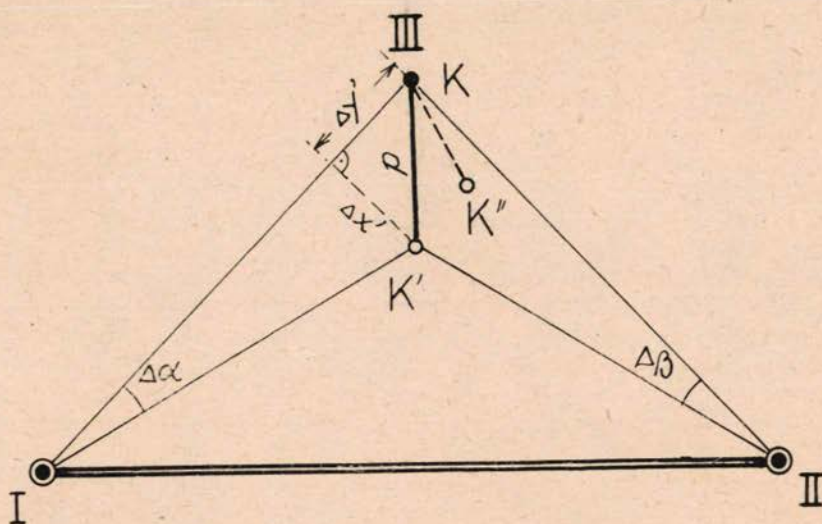
Upoređenjem rezultata dobivenog direktnim preciznim merenjem i rezultata dobivenog mikrotrigonom. opažanjem i izvađenog iz smernog diagrama, možemo odmah da kontrolišemo sa kojom tačnošću dotični operator određuje deformacije pregrade i da li su njegova opažanja kvalitetna i svrsi odgovarajuća.

Postupak kod komparisanja

a) *Horizontalne deformacije*: Uzmimo 3 kontrolna stuba iz mikrotrigonom. mreže. Za te tačke su nam date koordinate, smerni uglovi i

odstojanja stubova. Sem toga imamo izrađeni i smerni diagram za stub broj III, kojim se grafičkim putem određuju mikrotrigon. opažanja.

1. slika



Postupak je sledeći:

1. Na stubu broj III centriramo i horizontiramo komparator RK 2 i uravnavamo čitanja na mikrometerima na 0,00 m/m.
2. Sa durbinom komparatora naviziramo centriranu vizirnu ploču na stubu broj I i pritegnemo zavrtanj, koji koči kretanje komparatora oko vertikalne osovine.
3. Namestimo vizirnu ploču na komparatoru i okrenemo je prema stubu sa kojeg vršimo mikrotrigon. opažanja — recimo da je to stub br. II.
4. Onda premestimo teodolit sa stuba broj II na I — predhodno smo skinuli vizirnu ploču — okrenemo vizirnu ploču komparatora prema stubu broj I i izvršimo opažanja.
5. Na komparatoru pomaknemo vizirnu ploču sa mikrometrima po osi Y' i X' za iznos $\Delta Y'$ i $\Delta X'$ i to izmerimo na mikrometrima.

Celokupni faktični pomak je onda jednak

$$p = \pm \sqrt{\Delta y'^2 + \Delta x'^2} \quad \dots 3.)$$

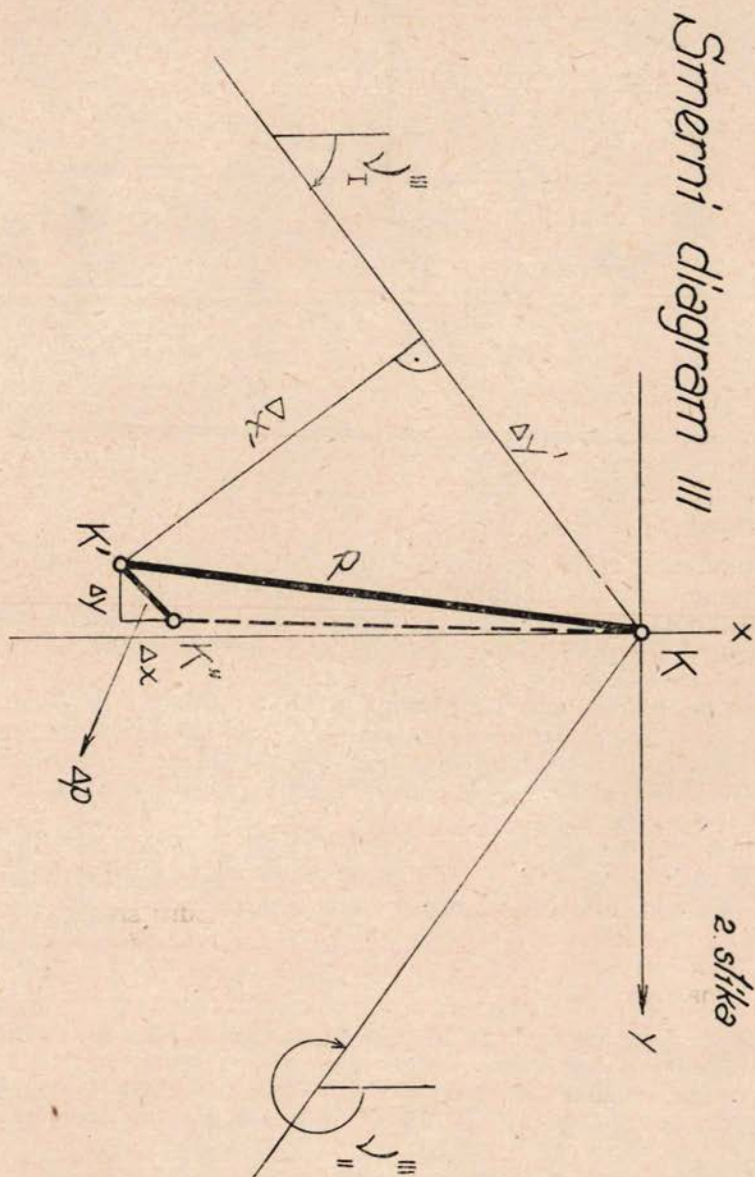
6. Sada ponovimo opažanja na kontrolnom stubu broj I, premestimo instrumenat na stub broj II, okrenemo vizirnu ploču komparatora prema stubu II i izvršimo drugo opažanje na stubu broj II.

Na osnovu razlike pravaca $\Delta\alpha$ i $\Delta\beta$ (vidi 1. sliku) dobivenih sa mikrotrigonom. opažanjem, dobijemo u smernom diagramu**) pomak

***) Vidi Geod. list br. 5—8 od god. 1953. »Proučavanje deformacija visokih pregrada geodetskim metodama«.

K — K'' i tu tačku označimo u diagramu (Vidi 2. sliku). Na smernom diagramu za stub broj III nanosimo sada vrednosti $\Delta Y'$ i $\Delta X'$ i označimo tu tačku K'.

Smerni diagrami su izrađeni u razmeri 5 : 1 (ili 10 : 1) i podatke lako i sa sigurnošću nanašamo i očitamo do na 0,1 m/m.

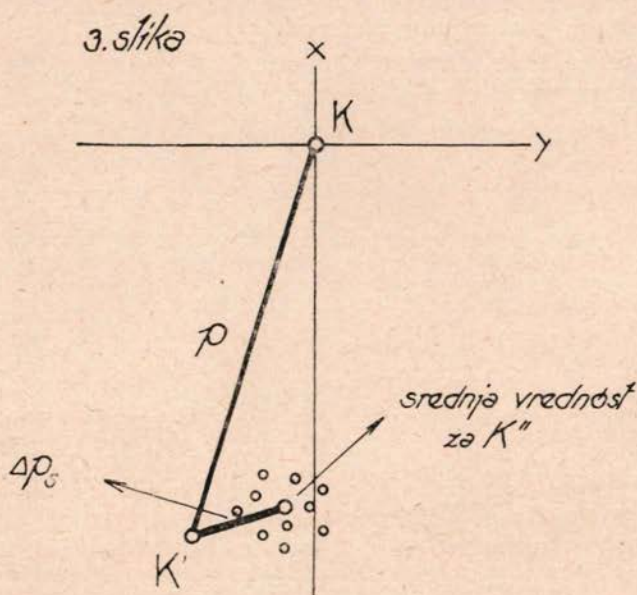


Na diagramu izmerimo odstupanja Δy i Δx od prave vrednosti pomaka i dobijemo

$$\Delta p = \pm \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2} \quad \dots 4.)$$

a za kontrolu izmerimo dužinu $K' - K'' = \Delta p$ i rezultat mora da se slaže do na 0,1 m/m.

Iz veće serije girusa dobijemo celu vrstu podataka za Δp . Recimo, da smo dobili sledeće: — vidi sliku 3.



Srednju vrednost dobijemo po formuli

$$\Delta y_s = \frac{[\Delta y]_I^n}{n}; \Delta x_s = \frac{[\Delta x]_I^n}{n}$$

$$a \quad \Delta p_s = \pm \sqrt{\Delta y_s^2 + \Delta x_s^2} \quad \dots 5.)$$

Na ovaj način možemo za svakog operatora odrediti srednje popravke Δy_s i Δx_s sa kojima je potrebno popraviti rezultate dobivene mikrotrigonometrijom, opazanjem da bi se čim više približili faktičnom pomaku odnosno faktično nastaloj deformaciji.

Ujedno imamo i mogućnost da izračunamo pozicijsku sigurnost konačnog rezultata po formulama

$$m_{\Delta y_s} = \pm \sqrt{\frac{[v_y]^2}{n-1}} \quad i \quad m_{\Delta x_s} = \pm \sqrt{\frac{[v_x]^2}{n-1}}$$

gde je:

$$v_{y1} = \Delta y_s - \Delta y_1; v_{x1} = \Delta x_s - \Delta x_1;$$

$$v_{yn} = \Delta y_s - \Delta y_n; v_{xn} = \Delta x_s - \Delta x_n; \text{ a } m_{\Delta ps} = \pm \sqrt{m_{\Delta ys}^2 + m_{\Delta ps}^2} \dots 6)$$

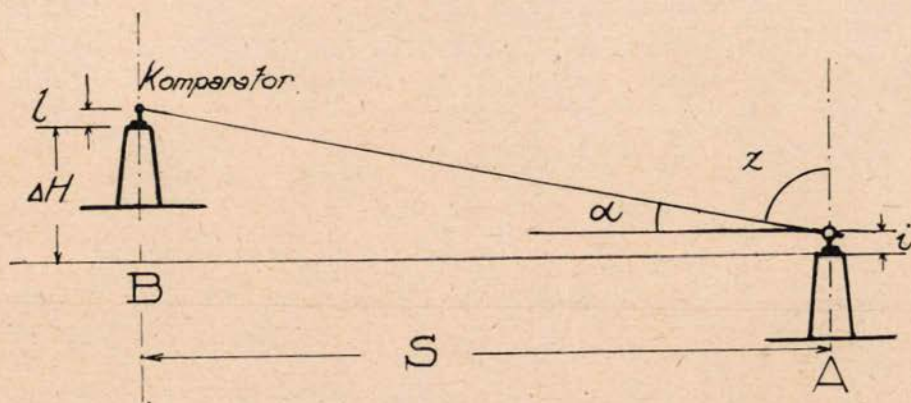
Vrednost $m_{\Delta ps}$ predstavlja radijus kruga grešaka za dotičnog operatora. To je dakle *faktična vrednost greške sa kojom je opterećen rezultat operatora.*

Praktični pomen komparisanja veoma je važan jer u buduće možemo da dajemo konkretne podatke o dosegljivosti tačnosti određivanja deformacija putem mikrotrigon. merenja.

Ti podatci su uvek potrebni komisiji stručnjaka koja se bavi proučavanjem deformacija.

b) *Vertikalne (visinske deformacije).*

4. slika



Visinsku razliku između tačaka A i B određujemo putem trigonometrijskog nivelmana po formuli

$$\Delta H = S \cdot \operatorname{tg} \alpha + i - l + (1-K) \cdot \frac{S^2}{2R}$$

$$\text{ili } \Delta H = S \cdot \operatorname{cotg} z + i - l + (1-K) \cdot \frac{S^2}{2R}$$

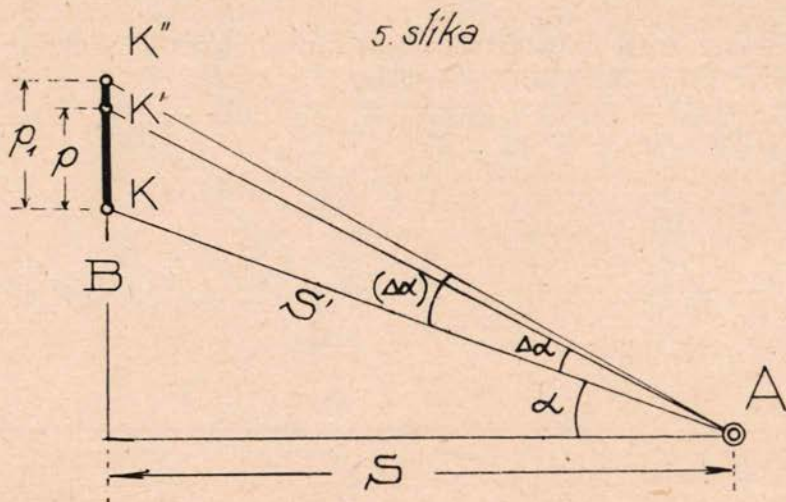
Kod samog komparisanja visinskih pomaka (vertikalnih deformacija) otpadaju članovi „i” i „l” i ostaje: $\Delta H' = S \cdot \operatorname{tg} \alpha + K_r \dots 7.)$

gde je $K_r = (1-K) \cdot \frac{S^2}{R^2}$ a predstavlja korekcionni član za refrakciju i za krivljenost zemlje.

Postupak kod komparisanja:

1. Na jednom kontrolnom stubu n.pr. B centriramo i horizontiramo komparator RK 1 za visinske deformacije. Na mikrometru uravnamo čitanje na 0,00 m/m (ili bilo koje čitanje).

2. Sa stuba A izvršimo opažanje vertikalnog ugla α na vizirnu ploču komparatora.
3. Posle toga pomaknemo u vertikalnom smislu vizirnu ploču, pomoću mikrometra iz pozicije K u poziciju K' i čitamo faktičnu vrednost pomaka „p” do na 0,01 m/m.



4. Posle toga izvršimo opažanje vertikalnog ugla α'
5. Visinsku deformaciju dobijemo po formuli:

$$p_1 = S \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha') \dots 8.)$$

pošto je razlika vertikalnih uglova vrlo malena, možemo gornju formulu zameniti sa mnogo praktičnijom.

$$p_1 = S' \cdot \frac{(\Delta\alpha'')}{\rho''} \dots 9.) \quad \text{gde je } S' = \frac{S}{\cos \alpha}$$

ad 9. $\Delta\alpha$ je istinita razlika vertikalnih uglova koja odgovara faktično nastaloj deformaciji, a $(\Delta\alpha)$ je razlika uglova dobivena opažanjem.

Razlika $\Delta p = p - p_1$ je faktična greška dotičnog operatora kod određivanja vertikalnih deformacija sa mikrotrigonom. nivelmanom.

Analogno kao kod komparisanja horizontalnih deformacija izvršimo i ovdje seriju opažanja i dobijemo srednji popravak za vertikalne deformacije

$$\Delta p_s = \frac{[\Delta p]_I^n}{n} \dots 1a)$$

Sa ovim popravkom Δp moramo popraviti rezultate dobivene sa mikrotrigonom. nivelmanom.

Srednju grešku tog popravka izračunamo po formuli

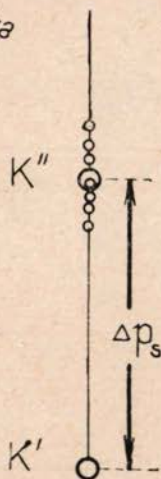
$$m_{\Delta p_s} = \mp \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} \dots\dots 11.)$$

gdje je $v_1 = \Delta p_s - \Delta p_1$

$$v_r = \Delta p_s - \Delta p_n$$

Veličina $m_{\Delta p_s}$ predstavlja radijus kruga pogrešaka dotičnog operatora i faktična je vrednost greške sa kojom je opterećen rezultat opažanja.

č.slika



Ekscentricitet durbina kod komparatora RK 2

Ekscentricitet durbina moramo uzeti u obzir kod uvođenja podataka odnosno nanašanja u smernom diagramu.

Postupak prikazan u 2. slici bi bio potpuno ispravan ako bi bio durbina centričan, t.j. u tome slučaju bi faktično dobili viziru K-I.

Pošto je durbina ekscentričan, ne možemo koristiti već utvrđeni smerni ugao v_I^{III} (vidi 7. sliku), nego treba uzeti u obzir smerni ugao koji je jednak (vidi 7. sliku).

$$v_I^{III'} = v_I^{III} - \Delta v \dots\dots 12.) \dots\dots$$

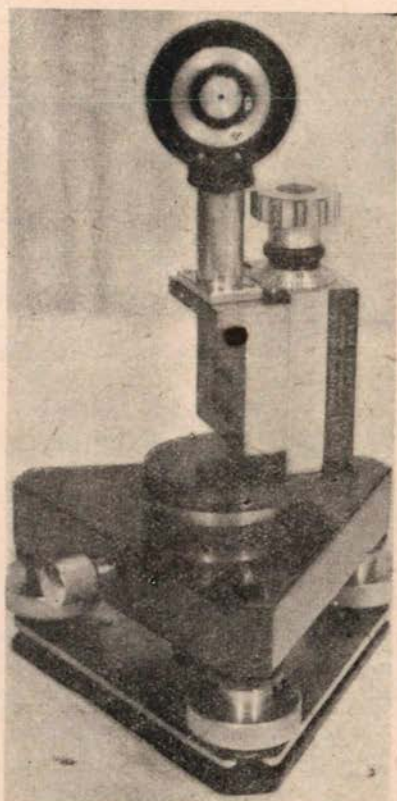
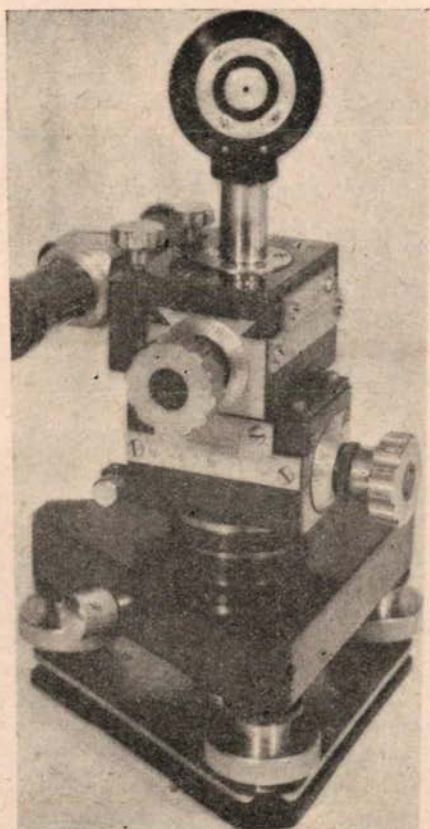
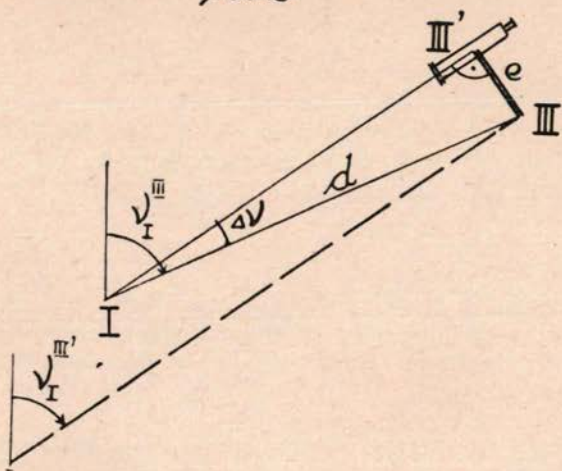
Korekciju smernog ugla

$$\Delta v'' = \frac{e}{d} \cdot \varrho'' \dots\dots 13.)$$

sračunamo, i korigiramo, sa dužinama vizira odgovarajućim korekcijama, sve naše smerne diagrame.

N.pr. u smernom diagramu za kontrolni stub broj III izvučemo kroz tačku III pravac paralelan pravcu III'-I.

z. slika



Elementi za nanašanje tog *novog pravca* dobijemo sa

$$\Delta y = d \cdot \sin v_I'''$$

$$\nabla x = d \cdot \cos v_I'''$$

Na tome pravcu sada nanašamo $\Delta y'$ (kao što je to bilo prvotno pokazano u skici 2.) i upravno na njega vrednost $\Delta x'$

Ekscentricitet „e” ne možemo direktno izmeriti i mora se odrediti sporednim putem.

Postupak je sledeći:

Komparator RK 2 centriramo i horizontiramo recimo na kontrolnom stubu broj III i sa daljnogledom komparatora naviziramo centrisanu vizirnu ploču na kontrolnom stubu broj I. Pre toga smo naravno uravnali čitanje na komparatoru na 0,00 m/m. Tarču komparatora okrenemo prema stubu broj I.

Na stubu broj I uklonimo vizirnu ploču i postavimo teodolit, t.j. centriramo ga i horizontiramo. Posle toga izvršimo opažanje na centar objektiva i na centar tarče i dobijemo taj ugao ϑ koji je jednak Δv . Ekscentricitet dobijemo onda po formuli

$$e = d \cdot \sin \vartheta \dots 14)$$

Tu korekciju smernog ugla Δv možemo dakle dobiti za svaki smerni diagram *direktnim opažanjem ili pak da jednom odredimo ekscentricitet „e” i korekcije izračunamo za svaki diagram.*

Ovo poslednje je bolje jer tako uštedimo ponovno opažanje na svakom početnom stubu.

Rezultate komparisanja kod Hidrocentrale Moste objavićemo kasnije kada bude već izvršen dovoljan broj opažanja.

