

# Proučavanje deformacija visokih pregrada geodetskim metodama

(Nastavak)

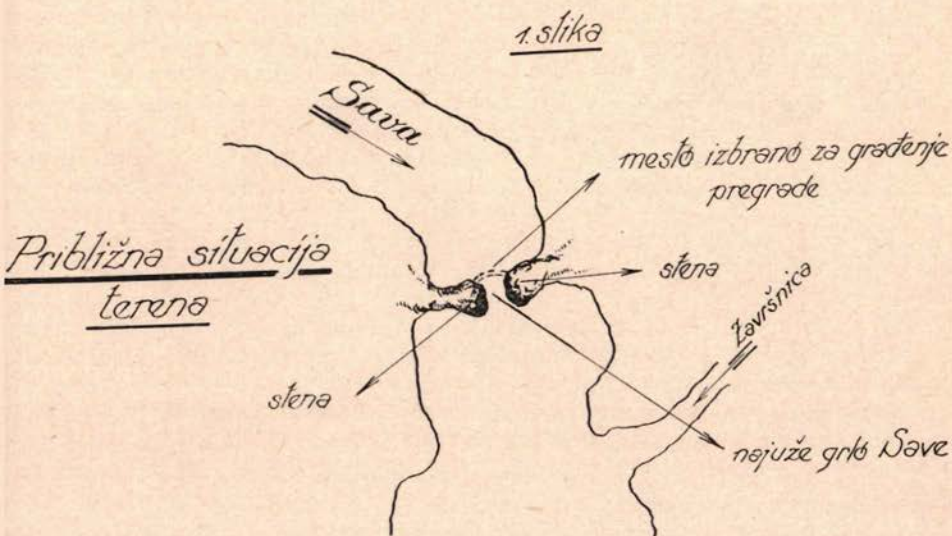
(Osvrt na h. c. Moste)

## II Deo

### Detaljni opis razvoja tih radova kod hidrocentrale Moste

Izgradnjom hidrocentrale Moste u N. R Sloveniji počelo se godine 1948 prvi put u našoj državi rasmatrati pitanje kontroliranja pomicanja pregrade omoću geodetskih metoda. Da bi se razumelo iz kojih je razloga bilo pokre-  
uto i postalo aktuelno to pitanje, moramo donekle opisati položaj ove hidro-  
centrale i teren, koji je bio izabran za gradnju pregrade.

Reka Sava se probija na mestu zvanom »Kavčeka« kroz duboko usečeno  
corito, koje ima svoje najuže grlo baš na tom mestu, gdje je sada podignuta  
pregrada. Postojala su različita mišljenja o mestu, gdje bi trebalo izgraditi  
pregradu. Geološki sastav zemljišta približno 200 m uzvodno od sadašnjeg



mesta bio je povoljniji, ali pregrada bi na tom mestu bila mnogo šira. Činje-  
nica pak, da bi se na najužem mestu najbrže izgradila ova pregrada i s time  
što pre upotpunio predviđeni zapadni deo energetskog sistema NR Slovenije,  
odlučilo je konačno, da se izvrši gradnja na današnjem mestu. (Viđi 1. sliku)

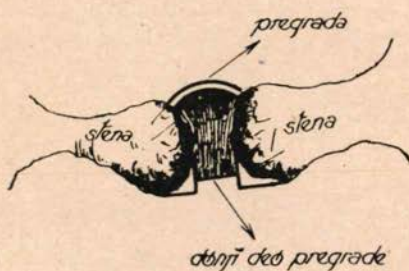
Prvobitno je pregrada bila projektovana kao lučna, koja bi zatvoril uzvodni deo tog grla, a tokom gradnje taj je projekat bio izmenjen, jer se počelo sumnjati u izdržljivost bočnih stena obzirom na bočni pritisak koje bi izvela lučna pregrada pri punom vodostaju u akumulacijskom bazenu.

Naime, tokom gradnje nastavilo se detaljno geološko ispitivanje terena: naročito bočnih stena i dna korita i bilo je konstatirano, da je neophodno potrebno izvršiti injekciranje u tim stenama (vodopropusni vapnenac), a samom koritu se nije moglo doći do zdrave i čvrste stene (Sivica).

Zbog toga je projektant izmenio projekat i već započeta lučna pregrad se je onda gradila kao lučna i gravitaciona (tlačna). (Vidi 2. sliku).

Ovom izmenom je izbegnut pritisak lučne pregrade na bočne stene, koji je nastao prilikom punjenja bazena. Sam projektant kao i stručnjaci, koji su vršili nadzor nad gradnjom su odmah predviđali, da se u samoj pregradi izvrše merenja sa viskovima i klinometrima u cilju kontroliranja njenih pregrad kao što se je to već prakticiralo kod švajcarskih i drugih pregrada, a i da se primene geodetske metode za određivanje odnosno proučavanje deformacija. U tu svrhu je bila formirana posebna komisija koja je imala zadatak da sa kuplja rezultate merenja i da te deformacije proučava

2. slika.



Geodetskim metodama — sem preciznom nivelmanu — se u početku nije pridavala naročita važnost, nego su se forsirala merenja sa viskovima i klinometrima. Kako pak poslednja mogu da pokazuju samo relativne rezultate, jer se ta merenja ne naslanjaju na neke fiksne ishodne tačke izvan tlačne zone pregrade, to su konačno ukazala potreba, da se čim pre počne sa primenom ostalih geodetskih metoda.

U pitanju nije bilo samo kontroliranje pregrade nego i bočnih stena levo i desno od nje.

Za kontrolu vertikalnih deformacija je bio predviđen niz repera (vidi priloženi pregled rasporeda repera) koji su bili povezani međusobom sa preciznim nivelmanom i vezali su se na ishodne repere izvan tlačne zone pregrade. Taj raspored je ostao nepromenjen sve do sada.

Drugo je bilo sa trigonom. mrežom potrebnom za određivanje horizontalnih deformacija.

Izvođenje geodetskih radova je preuzeo Geodetski zavod L. R. Slovenije i odredio je, da jedan službenik zavoda (geod. Bernik Srečko) za sve vreme trajanja gradnje vrši potrebna premeravanja. Pri tome radu mu je povremeno pomagao i geod. Pohar Jože.

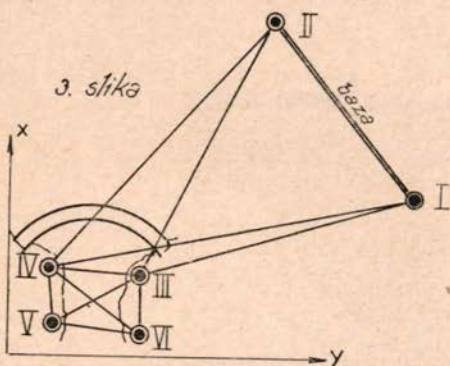
Gradnja temelja pregrade je bila započeta godine 1947 a sa betoniranjem prvih kontrolnih stubova se počelo tek po leti 1948. godine. Imenovani drugovi, koji su bili zaduženi s tim radom su u to vreme već imali na raspoloženju neke publikacije o izvođenju geod. radova za određivanje deformacija dolinskih pregrada i to rezultate švajcarske komisije za gradnju visokih dolinskih pregrada, gde su bile prikazane trigon. mreže kod istih i dobiven

rezultati deformacija bez detaljnog opisa samih radova, i jednu nemačku publikaciju gde su bili prikazani razni važniji detalji i rezultati za pregradu u Nemačkoj.

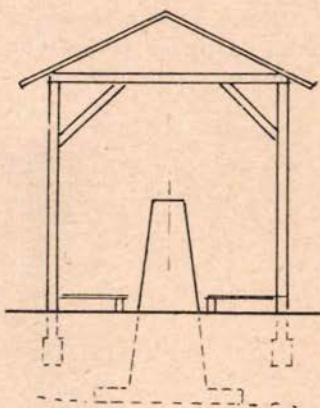
Do godine 1950 je u Mostama bila postavljena mreža kontrolnih stubova sledećeg oblika: (Vidi 3. sliku).

Stubovi su oblika kako prikazuje slika 4.

4. slika

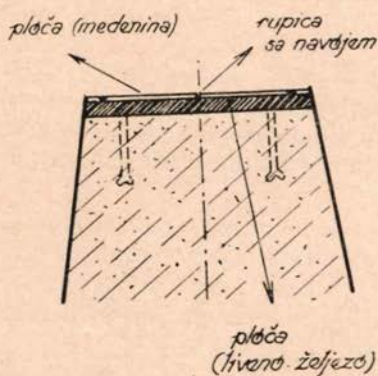


3. slika

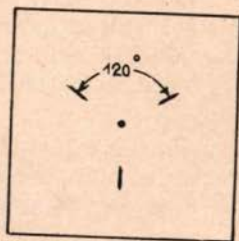


Prisilno centriranje instrumenta i vizirnih ploča je bilo predviđeno tako, da se pomoću jednog vijka izvrši pričvršćivanje a kod instrumenta i uglavljenjem šiljaka podnožnih vijaka u zarezima podnožne mesingaste ploče — vidi sliku. (Vidi 5. i 6. sliku).

5. slika



6. slika

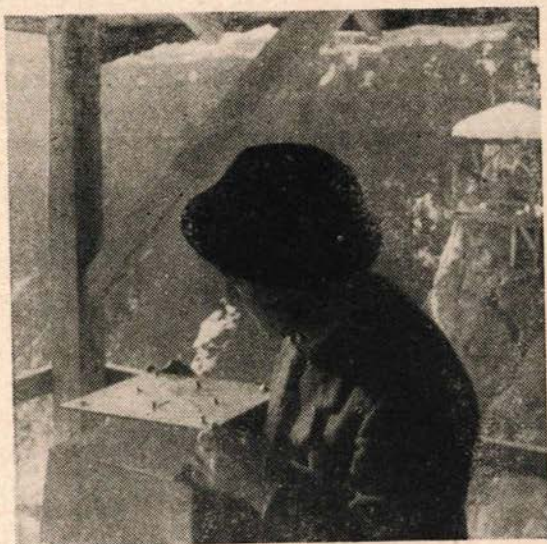


U to vreme bile su još razne poteškoće sa nabavkom livenih ploča i posle užeg čekanja su te ploče bile izliveno u »Litostroju« i poslate mehaničkoj

radionici Geodetskog zavoda na dalje obradivanje. Montaža mesingaste ploče na livenoj ploči prikazana je na donjoj slici 7.

Do te faze su se bili razvijali naši radovi do jula 1950. godine. U međuvremenu su građevinski stručnjaci već redovno vršili kontrolna merenja sa viskovima i klinometrima, a geodeti su kontrolirali vertikalne deformacije putem preciznog nivelmana, a rezultate je prikupljala i analizirala komisija za proučavanje deformacija pregrade.

Kako vidimo, geodetski se radovi sem preciznog nivelmana — nisu odmakli sa mrtve tačke, dok komisija nije dala nalog, da se forsirano pristupi njihovom izvođenju.



Sl. 7

Jula meseca 1950. god. je pisac ovog članka dobio nalog, da izvrši pregled dosadašnjih radova kod h. c. Moste i da preduzme sve što je potrebno, da se jednom već počinje sa određivanjem horizontalnih deformacija geodetskim metodama.

Pri pregledu na terenu videlo se, da je konfiguracija uzvodno a naročito nizvodno izvanredno nepovoljna za razvijanje mikrotrigonometrične mreže koja se u prvom delu ovog članka preporučuje, i zato su se drugovi, koji su do tada bili zaduženi s tim radom odlučili, da razviju mrežu uzvodno onako kako je to prikazano u 3. slici.

Ta mreža je imala izvesne nedostatke, jer se sa kontrolnih stubova V i VI nije moglo izvršiti opažanje donjeg dela pregrade a što je osobito važno nije bilo sigurnosti u pogledu kontrolisanja eventualnog pomicanja samih stubova V i VI koji se nalaze na bočnim stenama levo i desno od pregrade.

Naime, bočne stene su prilikom punjenja bazena ikasnije isto tako podvrgnute pritisku vode, i usled toga što se nalaze u tlačnoj zoni, moralo se računati i sa eventualnim pomicanjem stubova III, IV, V i VI.

Zbog toga je bilo potrebno proširiti postojeću mikrotrigonometrijsku mrežu nizvodno, da se dobiju ishodne tačke izvan tlačne zone sa kojih će se moći kontrolisati stubovi V i VI, a i da se dopuni mreža još sa dva kontrolna stuba, odakle će se moći izvršiti opažanja na kontrolne čepove u donjem delu pregrade.

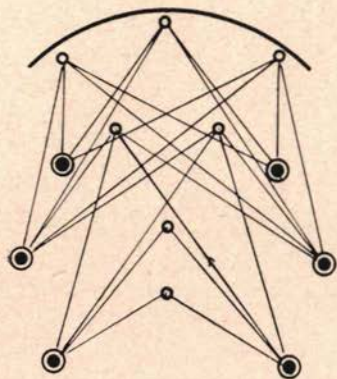
U tome smislu smo onda izvršili dopunu sa stubovima VII, VIII, IX, X i XI, a strana VII—VIII je bila uzeta kao druga baza u mikrotrig. mreži (sl. 21).

Prema tome, stubovi I, II, VIII i IX su izvan okvira eventualnog pomicanja stena i mogu se smatrati kao fiksne, ishodne tačke za sva trig. kontrolna merenja i pomoću njih je moguće kontrolisati eventualno pomicanje kontrolnih stubova III, IV, V, VI, X i XI a posredno opet korigirati rezultate opažanja kontrolnih čepova u pregradi. Drugim rečima, time se omogućuje dobivanje *apsolutnih* vrednosti deformacija bilo pregrade bilo samih bočnih stena.

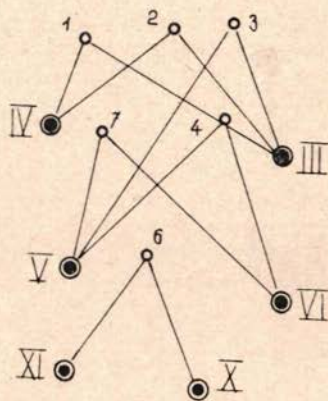
#### Kontrolni čepovi na pregradi

Zamišljeno je bilo da raspored čepova na pregradj bude kako prikazuje slika 8.

8. slika



9. slika



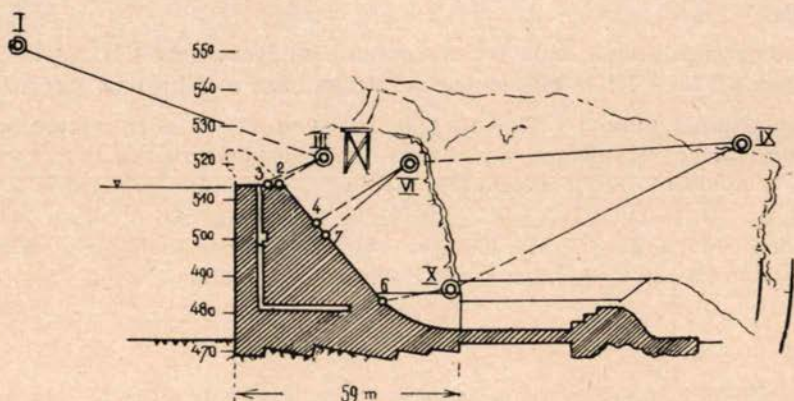
#### Primedba.

Privremena visina pregrade bila je predviđena do kote 514., dok se ne ispitaju deformacije prilikom punjenja bazena do te visine. — Vidi 10. sliku.

Ovako zamišljen raspored — vidi sliku 8. — bio bi primeran, jer bi se dalo ispitivati koliko odstupaju rezultati dobiveni sa strmijim vizurama.

Nažalost, nepovoljna konfiguracija i nemogućnost, da se već postavljeni stubovi III, IV, i VI napuste, onemogućuje izvođenje te zamisli i drug geod. Bernik rasporedio je kontrolne čepove onako kako je to prikazano na slici 9.

10. slika

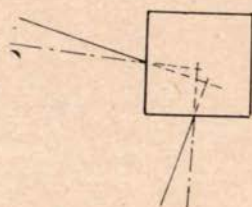


Pre ugrađivanja kontrolnih čepova je bilo izvršeno ispitivanje kakav da bude njihov oblik. Tu su bila razna mišljenja. U nemačkoj publikaciji je bio opisan sledeći tip (vidj sliku 11):

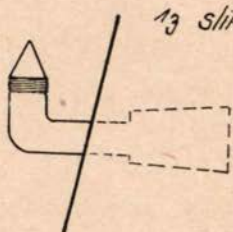
Njegov nedostatak je da presek vizura sa raznih kontrolnih stubova ne daje isto presečište.



11. slika



12. slika



13. slika

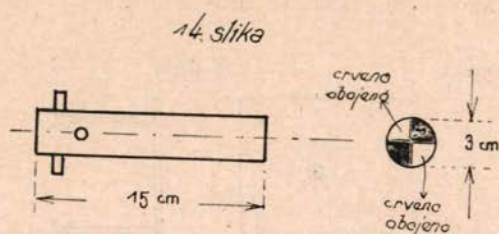
Sa naše strane smo prvo predložili čep oblika kakav je na slici 13.

Ovu smo ideju brzo napustili, jer bi se previše vremena izgubilo sa odvijanjem i navijanjem zaštitnog poklopca pre i posle opažanja, a zbog strmine pregrade bilo bi to i teško izvodljivo.

Vršili smo onda probe sa raznim modelima i tražili smo najpodesniji oblik marke za pouzdano viziranje.

Usvojili smo konačno ovaj tip čepa:

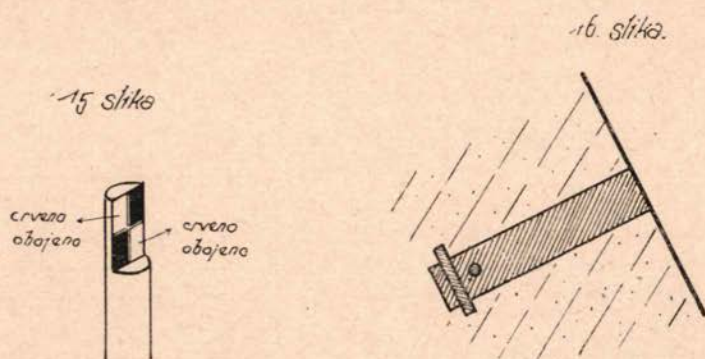
a) Za srednji i donji deo pregrade (vidi sliku 14).



b) Za vrh pregrade (vidi sliku 15).

Na zahtev projektanta smo morali čepove pod a) ugraditi ovako:

Vanjski deo je morao biti potpuno savršen sa površinom pregrade i to zato, da pri puštanju vode (u slučaju visokog vodostaja) preko pregrade ne bi došlo do kvara obloge na tim mestima.



Primedba: Kod pregrada gde je predviđen odtok visoke vode na drugom mestu ovo ne važi i čepovi mogu da strše van).

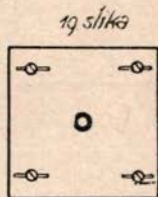
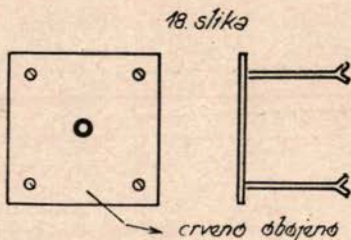
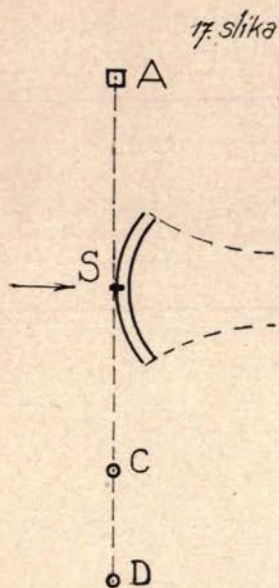
Time su bile izvršene pripreme za mikrotrigonometrijska opažanja i komisija je tražila, da bi se ova opažanja vršila periodično u malo dužim vremenskim razmacima (svakog meseca ili svakog drugog meseca). Međutim, da se u vremenu od jednog do drugog opažanja ne bi propustilo kontrolisanje pregrade, bila je predviđena i alignementna metoda, koja je opisana u prvom delu članka.

#### Alignementna metoda.

U tački A smo dalji izraditi postolje za centriranje instrumenta isto tako kao što je to bilo urađeno kod kontrolnih stubova mikrotrigon. mreže.

U tački D — u steni — smo dalji ubetonirati vizirnu značku oblika (vidi 18. sliku), a u tački C isto takvu značku s tom razlikom, da je ova bila snabdevena sa prorezima, koji su omogućili njeno pomicanje levo ili desno, dok se

centar ove značke nije potpuno poklapao sa pravcem A—D. Onda smo pričvrstili zavrtnjeve i time je bio fiksiran pravac ACD.



Na kruni pregrade u tački »S« smo dali ubetonirati čep kontrolne marke. U taj čep se pre merenja postavlja kontrolna marka — vidi sliku 20 — (od nas nazvanu »alignemetar«) upravno na vizirnu liniju ACD.

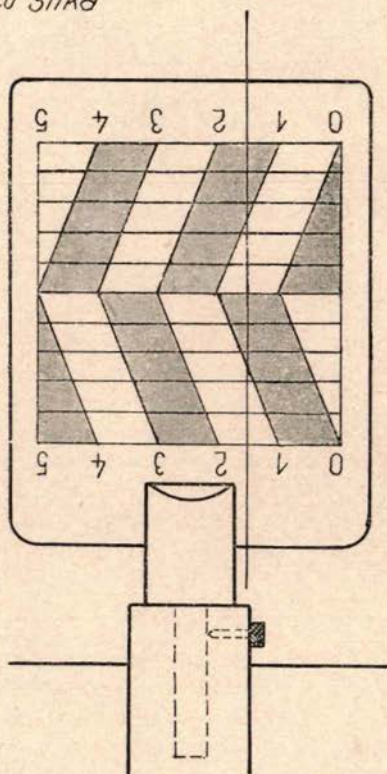
(Kolika se toleranca dozvoljava kod odstupanja upravnosti — vidi kasnije izvršenu analizu).

Sav pribor smo dali izraditi u finomehaničkoj radionici Geod. zavoda LRS slično kontrolnoj marki »Myra« koju su upotrebljavali u Švajcarskoj. Transverzalno merilo nanešeno na marki ima intervale od po 2 cm, svaki interval je transverzalno podeljen na 5 glavnih delova dakle dobijemo podatak čitanja 4 m/m a ceniti možemo 0,4 m/m. Očitovanja treba uvek vršiti na gornjoj i donjoj podeli n. pr. kod

1. opažanja ... gore 125  
dole 126 sred. 125,5
  2. opažanje ... gore 120  
dole 121 sred. 120,5
- razlika ..... —5,0

puta 0,4 daje 2,0 m/m.

20. slika





Znači, da je do 2. opažanja usledilo pomikanje vrha pregrade nizvodno za 2 m/m u pravcu okomitom na stalnu vizuru ACD.

Posle sviju ovih pripremnih radova smo konačno stvorili osnovu za proučavanje deformacija trigonom. putem u tome obliku kako je to prikazano u slici 21.

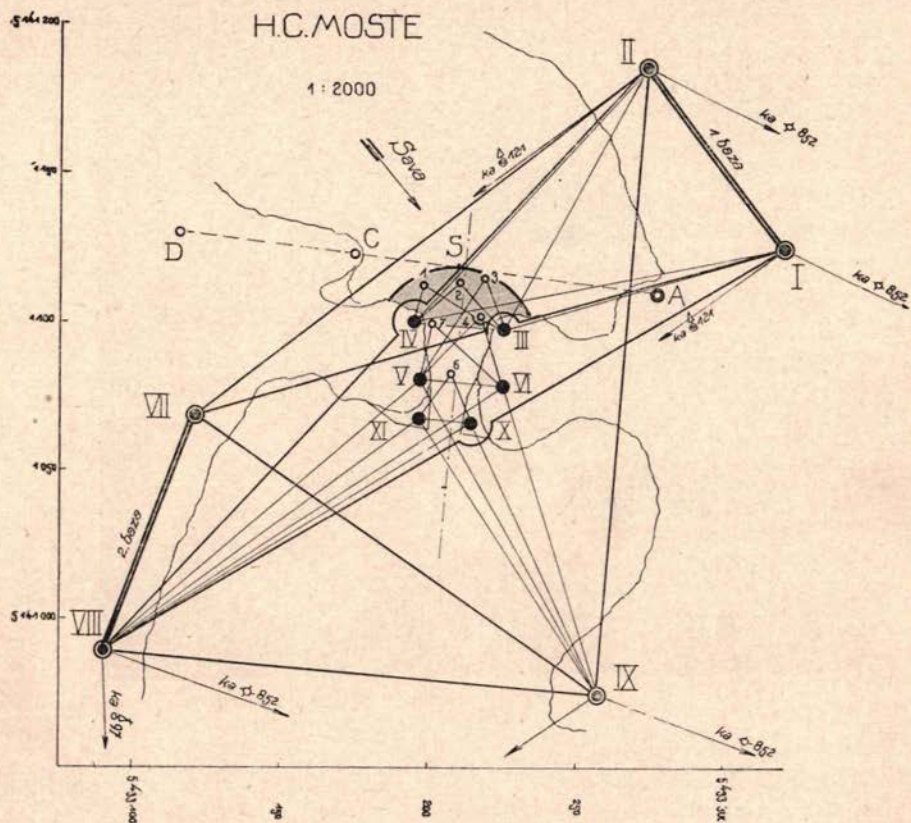
Načelno je dakle bilo rešeno da se upotrebe sve tri geodetske metode...

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. alignementna metoda     | } za određivanje horizontalnih deformacija |
| 2. trigonometrijska metoda |  |
| 3. precizni nivelman       | za određivanje vertikalnih deformacija.    |

Nadalje da se ova mreža priključi na državnu triangulaciju (tačku br. I

21. slika

## MIKROTRIGONOM MREŽA

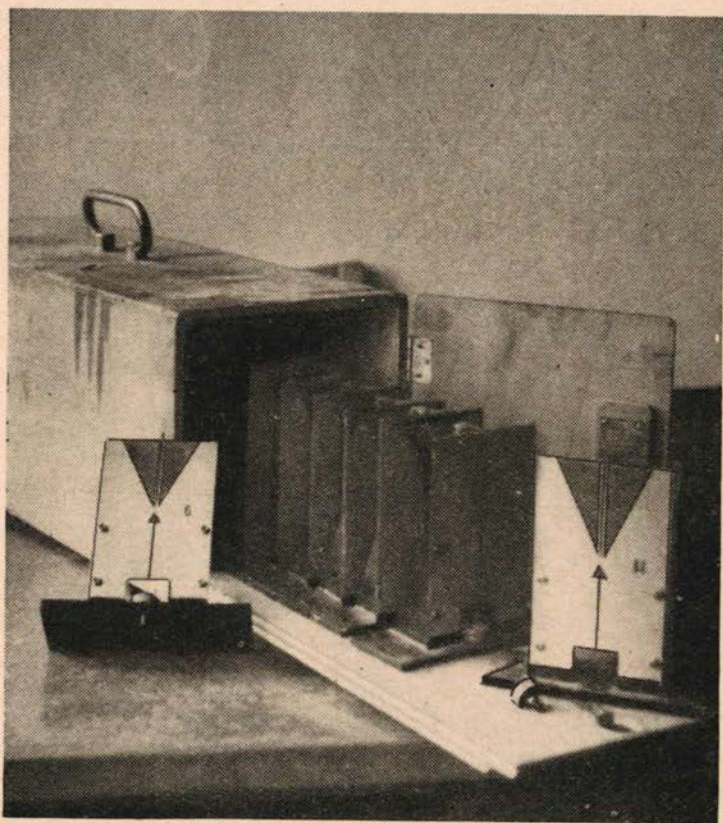


smo povezali sa 108) i da se »glavna« mikrotrigonom. mreža — vidi tačke I, II, VII, VIII i IX — izravna po metodi uslovnih opažanja, a ostale tačke — III, IV, V, VI, X, XI i kontrolni čepovi 1, 2, 3, 4, 6 i 7 — odrede putem presecanja.

### Vizirne ploče.

Još nije bilo rasčišćeno pitanje primernog signaliziranja kontrolnih stubova prilikom opažanja. Vizirne ploče, opisane u I. delu ovog članka nama još nisu bile poznate, a one opisane u nemačkoj publikaciji nam nisu konvenirale, jer nije bilo predviđeno prisilno centriranje.

Zato smo po našoj zamisli dali izraditi vizirne ploče sa prisilnim centriranjem i takvog oblika, koji omogućava merenje horizontalnih a po potrebi i vertikalnih uglova. Vidi sliku 22.



Sl. 22.

Za svaki stub izrađena je po jedna vizirna ploča sa obrnuto ugraviranim brojem stuba (operator može na ovaj način da kontroliše, da li je postavljena odgovarajuća ploča) a na zadnjoj strani ploče je pričvršćen »vizir« radi usmeranja u pravac stuba s kojeg se vrši opažanje.

Vertikalnost crte svake ploče smo ispitali sa instrumentom i to na taj način, da smo na kontrolnom stubu centralni ploču, lako pritegnuli vijak i

onda ploču polako okretali. Pri tome smo stalno kontrolisali, da li se vertikalna nit durbina poklapa sa vertikalnom crtom ploče.

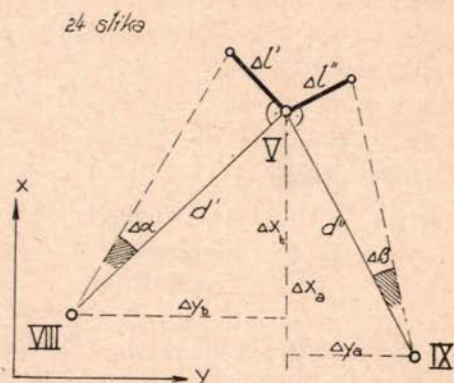
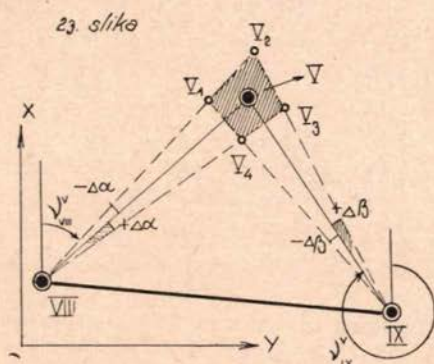
### Smerni diagrami

Da bi se pojednostavio i ubrzao rad posle svakog periodičnog opažanja, t. j. da bi čim pre došli do novih koordinata tačaka određenih putem presecanja jer bi stalno ponovno računanje bilo i suviše dugotrajno, a rezultate smo morali što pre predati komisiji, rešili smo to pitanje grafičkim načinom putem smernih diagrama.

### Konstrukcija smernih diagrama.

Do tih diagrama dolazimo na sledeći način.

Uzećemo n. pr. kontrolni stub br. V koji se određuje presecanjem iz tačaka VIII. i IX — vidi sliku 23.



Pretpostavimo, da bi imali n. pr. maksimalne smerne razlike

$$\Delta\alpha = 20''$$

$$\text{i } \Delta\beta = 20''$$

Sa tim razlikama bi morali popraviti odgovarajuće smerne uglove i putem presecanja napred bi dobili koordinate presečišća  $V_1$  do  $V_4$ .

Površinu, obuhvaćenu sa tim tačkama, nazvaćemo površinom mogućih deformacija.

S obzirom na to, da su ove deformacije prema dužinama vizura VIII—V i IX—V vrlo malene, možemo smatrati, da je pravac  $V_1 V_2$  paralelan pravcu  $V_4 V_3$ , a pravac  $V_1 V_4$  paralelan pravcu  $V_2 V_3$ .

Ako sada te tačke naneseimo sa njihovim koordinatama, dobijemo sa interpoliranjem smerne uglove, koji su veći ili manji od početnih

$$(v_{VIII}^V \pm \Delta\alpha_0^{20} \text{ i } v_{IX}^V \pm \Delta\beta_0^{20}).$$

Međutim, to možemo pojednostaviti time, da recimo za  $\Delta\alpha = \pm 20''$  i  $\Delta\beta = \pm 20''$  sračunamo linearni pomak  $\Delta l'$  i  $\Delta l''$  upravan na smer VII—V odnosno IX—V. Vidi sliku 24.

N. pr. dani su podaci.

$$d' = 140,470 \text{ m}$$

$$d'' = 122,388 \text{ m}$$

Dobijemo:

$$\Delta l' = d' \cdot \text{tg } \Delta \alpha = 13,63 \text{ m/m}$$

$$\Delta l'' = d'' \cdot \text{tg } \Delta \beta = 11,87 \text{ m/m}$$

Sada sračunamo ostale vrednosti i sredimo ih u tabeli.

Elementi za nanašanje  
smernog diagrama

$\Delta y_a = - 60,55\text{m}$   
 $\Delta x_a = + 106,36$  (zaokruženo)  
 $\Delta y_b = + 105,73\text{m}$   
 $\Delta x_b = + 92,48$   
 $\varphi_a = 330^\circ 20' 44'',1$   
 $\varphi_b = 48^\circ 49' 26'',5$   
 to su početni smerni uglovi  
 koji se upišu u diagram

$\Delta \alpha$	$\Delta l'$	$\Delta \beta$	$\Delta l''$
2"	1,36 m/m	2"	1,19 m/m
4"	2,73	4"	2,37
6"	4,09	6"	3,56
8"	5,45	8"	4,75
10"	6,82	10"	5,94
12"	8,18	12"	7,12
14"	9,54	14"	8,31
16"	10,90	16"	9,50
18"	12,27	18"	10,68
20"	13,63	20"	11,87

Originalni diagrami za h. c. Moste su nanešeni u razmeri 5 : 1 a prikazani diagram za stub V izrađen je u razmeri 4 : 1 — vidi sliku 25.

Upotreba diagrama.

Pretpostavimo da se stub V pomaknuo nizvodno i da smo dobili da je:

$$\Delta \alpha = + 2''$$

$$\Delta \beta = - 3''.$$

Smerni ugao VIII—V bio bi u tome slučaju  $48^\circ 49' 28'',5$   
 a smerni ugao IX—V . . . . .  $330^\circ 20' 41'',1$

Sa fino zarezanom olovkom povučemo odgovarajuće pravce i u presečišću dobijemo novi položaj tačke V.

$$\text{Očitamo . . . } \Delta y = - 2,4 \text{ m/m}$$

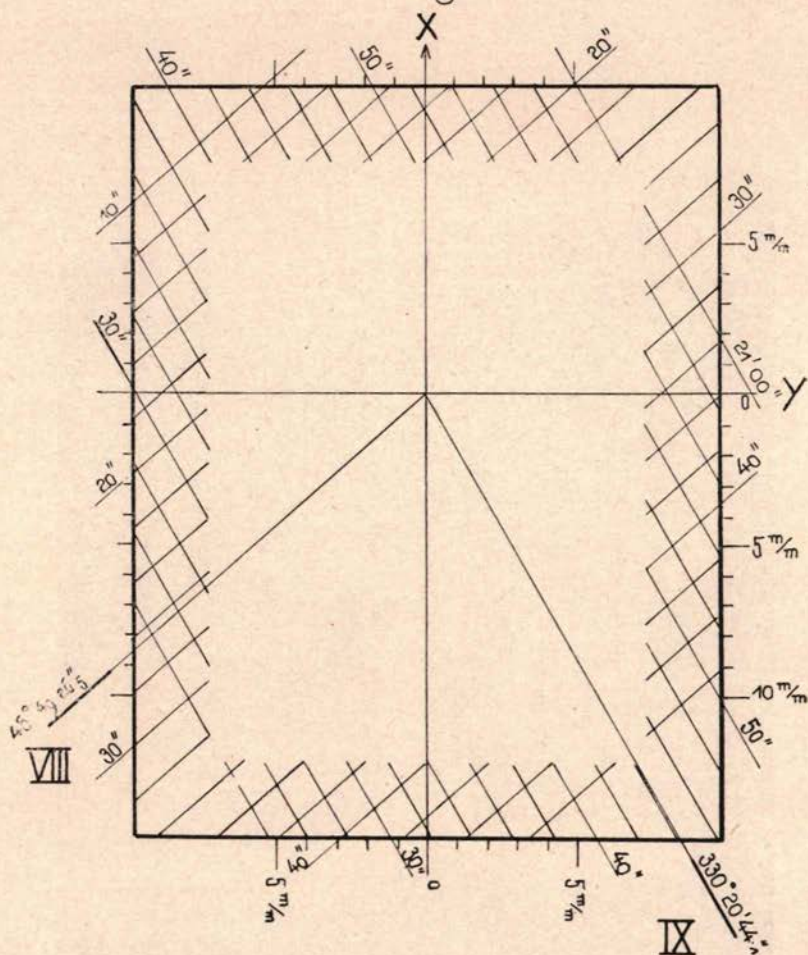
$$\Delta x = - 0,6 \text{ m/m}$$

Svaki diagram smo pre upotrebe kontrolirali računskim putem i nigde nisu bile veće razlike od 0,1 m/m između računskog i grafičkog rezultata.

Uloženi trud za izradu diagrama se isplati kada pomislimo, da treba ovakva opažanja vršiti periodično, a ujedno se ceo rad pojednostavi i mehanizira.

## Smerni diagram

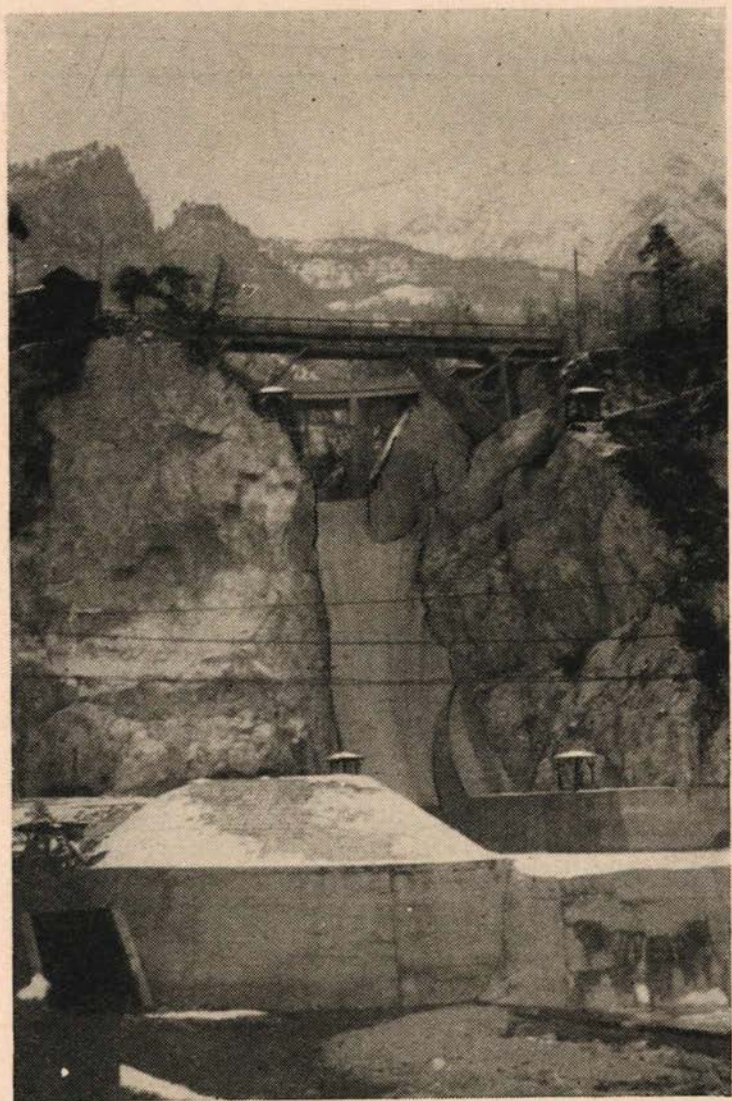
V



Grafičko određivanje apsolutnih vrednosti deformacija kontrolnih čepova

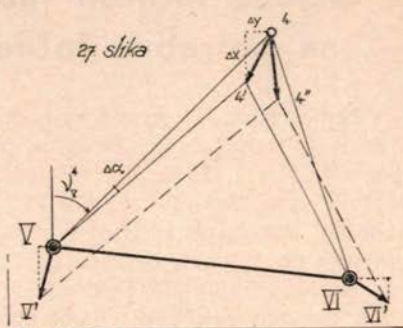
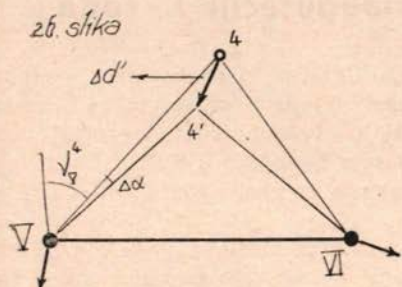
Prije smo već spomenuli, da smo morali supponirati da će eventualno doći i do pomicanja stubova III, IV, V, VI, X i XI jer se nalaze u tlačenoj zoni pregrade.

Deformacije pregrade — opažanjem kontrolnih čepova — određujemo baš sa tih stubova i prema tome pomoću smernih diagrama za kontrolne čepove



Sl. 28.

ne ćemo dobiti direktnim putem apsolutne vrednosti deformacije nego samo relativne. Vidi sliku 25.



Kako vidimo, jednostavna upotreba diagrama za čep br. 4 neće nam dati pravog rezultata deformacije, jer dobijemo smo relativnu vrednost  $\Delta d'$ .

Dakle trebalo je i ovde naći grafičko rešenje, pomoću kojeg možemo dobiti apsolutne vrednosti deformacija čepova sa takvom tačnošću, da se računski i grafički dobivene vrednosti ne razlikuju više od 0,1 m/m.

Tu se pomažemo grafičkom kombinacijom i to na sledeći način.

Na smernom diagramu za čep br. 4 dobijemo n. pr. relativne deformacije

$$\Delta y = -1,0 \text{ m/m}$$

$$\Delta x = -2,0 \text{ m/m}$$

dalje, na smernom diagramu za stub br. V

$$\Delta y = -0,5 \text{ m/m}$$

$$\Delta x = -2,0 \text{ m/m}$$

a na smernom diagramu za stub br. VI

$$\Delta y = -1,5 \text{ m/m}$$

$$\Delta x = -1,0 \text{ m/m}$$

Izradimo pomoćne diagrame. Na hartiji sa milimetarskom podelom nanesimo u razmeri 1 : 100 tačke V, VI i 4 i izvučemo taj trougao.

U razmeri 10 : 1 nanosimo vrednosti  $\Delta y$  i  $\Delta x$  dobivenih iz smernih diagrama. Kod stubova V i VI imamo već apsolutne vrednosti deformacija, jer su određene iz stubova VIII i IX koji se nalaze izvan tlačne zone pregrade, za čep br. 4 se nađe apsolutna vrednost tako, da sa tačkama V' i V' povučemo paralele V—4' odnosno VI—4'. Presečište 4'' nam daje pravi položaj tačke i time i apsolutnu vrednost pomaka čepa br. 4.

Grafički onda očitamo vrednost  $\Delta y$  i  $\Delta x$ . vidi sliku 27

Računska kontrola je i ovdje pokazala, da se računski i grafički rezultati ne razlikuju više od 0,1 m/m.

(Nastaviće se)