

## OSMATRANJE BRANA SA POSEBNIM OSVRTOM NA BRANU U JABLANICI

### I. ZNAČAJ MJERENJA DEFORMACIJA BRANA

Kod izgradnje savremenih hidroenergetskih i drugih postrojenja, koja imaju akumulaciona jezera, brane ili ustave pretstavljaju jedan od njihovih osnovnih organa. Svako popuštanje stabiliteta brane, a da i ne govorimo o eventualnom njenom rušenju, ugrožava ne samo čitavo postrojenje nego i njegovu okolinu, a u slučajevima katastrofe i ljudske živote. Narušavanje stabiliteta manifestuje se na razne načine, vidljivim i okom nevidljivim promjenama u tijelu brane ili njenoj okolini. Do njega dolazi radi toga, što su brane izložene uticajima raznih sila, koje na nju djeluju, kao što su: hidrostatički pritisak vodene mase, vlastita težina tijela brane, pokretanje terena u osnovi i okolini brane, atmosferski uticaji itd. Zbog djelovanja ovih sila brana može da se pomiče u raznim pravcima, može da se spušta ili izdiže, može da se zaokreće i savija. Pored pomenutih vanjskih sila u brani se pojavljuju i unutarnje sile, naročito odmah poslije izgradnje, koje nastaju uslijed temperaturnih promjena u masi betona kod betonskih brana. Nadalje u značajnije sile spada i razaranje brane koje vrši procurena voda kroz pore u betonu.

Da nebi došlo do većih oštećenja brane, građevinski stručnjaci, projektanti i graditelji, dužni su da preduzmu odgovarajuće mjere u svrhu obezbeđenja njenog trajnog stabiliteta. Društvena zajednica, koja u izgradnju ovakvih objekata ulaže ogromna materijalna sredstva, također je dužna da vodi računa o njihovoj stabilnosti i sigurnosti.

U našoj zemlji izgrađene su mnoge velike brane, a mnoge su u toku izgradnje. Prilikom projektovanja i građenja koriste se inostrana i domaća iskustva. Isto tako koriste se iskustva iz oblasti mjerenja deformacija brana kod nas. Na osnovu iskustva koje smo stekli u oblasti mjerenja deformacija brana, imamo utisak da projektanti ovome problemu pridaju pravi značaj, dok to nemožemo reći za investitore, koji vrše eksploataciju hidrocentrala. Razlog za nedovoljno posvećivanje pažnje mjerenju deformacija od strane investitora leži, po našem mišljenju u stručnom neshvaćanju ovog problema. Radi toga je dužnost nas geodetskih stručnjaka, da na određen način skrenemo pažnju našoj jav-

\* Koreferat podnesen na Savetovanju o primenjenoj geodeziji — Sarajevo 23.—25. III 1961.

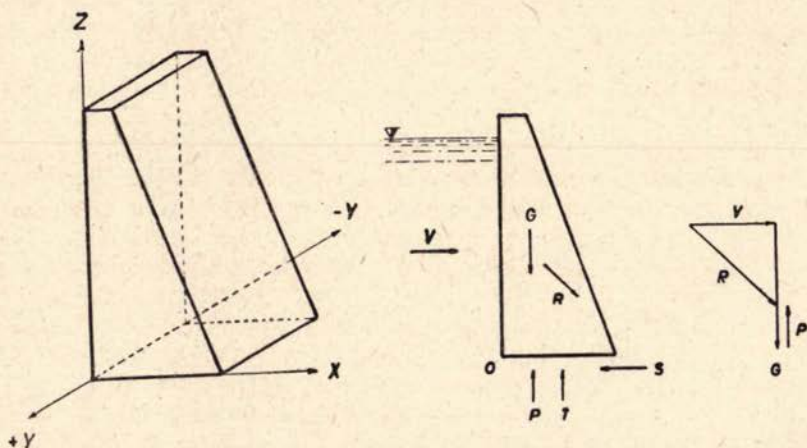
Mjerenje deformacija brana, kao i drugih masivnih građevinskih objekata, ima i drugi značaj. Projektanti u statičkom dijelu proračuna polaze od prosječnih normativa i pretpostavki te koeficijenta sigurnosti. Provjeravanje usvojenih pretpostavki o naprezanjima i deformacijama u statičkom proračunu, mjerenjem stvarno nastalih deformacija, neminovno vodi ka unapređivanju projektovanja, a time i građenja.

## II. O PONAŠANJU BRANA

Svaki stručnjak koji vrši mjerenje deformacija brana, stoga i geodetski stručnjak kao takav, treba da u osnovnim crtama zna, kako se brana ponaša u toku građenja i kasnije. U protivnom slučaju, uslijed nepoznavanja toga područja, može doći u situaciju da nezna protumačiti rezultate vlastitog ispitivanja. Radi toga ovdje se daje pojednostavljen šematski prikaz o ponašanju brana.

### 1. Ravnoteža sila

Ako se promatra jedan blok tijela brane, ograničen sa dva vertikalna presjeka u pravcu vodotoka, te uzvodnom i nizvodnom plohom brane (vidi sl. 1), pri čemu radi pojednostavljenja izlaganja vertikalne presjeke



Sl. 1

uzimamo trapezastog oblika, uzvodnu plohu kao vertikalnu a nizvodnu kao kosu ravninu. Vertikalne granične presjeke bloka u stvari predstavljaju tzv. razdjelnice (fuge), koje se prilikom betoniranja bloka (lamele) ne ispunjavaju betonom, radi potrebe hlađenja kod vezivanja betona. One se ispunjavaju tek kasnije, kad beton čitavog bloka potpuno očvrstne. Donja ploha bloka predstavlja ravninu temelja. Zamislimo prostorni koordinatni sistem XYZ kakav je na sl. 1 označen. Glavne sile koje djeluju na blok jesu:

vlastita težina  $G$  i pritisak vode  $V$ . Osim ovih dviju sila pojavljuje se i potisak  $P$ , koji nastaje pritiskom vode iz pora betona i vode sa dna ispod temelja. Ove tri sile daju rezultantu  $R$ . Ovu rezultantu  $R$  možemo rastaviti u dvije komponente, horizontalnu silu smicanja  $S$ , i vertikalnu silu pritiska tla  $T$ . Pritisku tla  $T$  proporcionalna je sila trenja  $T$ , koja nastaje između dna tijela brane i fundamenta. Kvalitet spoja (veze) između dna brane i fundamenta, i sila trenja sprječavaju klizanje brane. Otpor smicanja znatno ovisi o stanju fundamenta, ali dobrim dijelom i od vezivnog lepka. Nadiranjem podzemne i porne vode, koje se nikad nemože potpuno spriječiti, otpor smicanja slabi, što uslovljava mogućnost klizanja brane. Odatle proizlazi zaključak, da je potrebno vršiti konstantno mjerenje podzemne i porne vode te njihovog pritiska.

Nanos, a u nekim slučajevima i led, vrše pritisak na branu. Ove sile su uglavnom manjeg značaja, ali ne u svakom konkretnom slučaju.

Pored navedenih statičkih sila, mogu da se pojave i dinamičke sile tektonskog karaktera. Radi toga se na mnogim branama moraju da vrše seizmička opažanja.

Svako narušavanje ravnoteže navedenih sila dovodi do poremećenja stabilnosti brane, a to znači do njezinog pokretanja iz postojećeg položaja.

## 2. Promjena stanja građevinskog materijala

Za vrijeme procesa vezivanja cementa u betonu nastupa nagli porast temperature, koji prema lokalnim i drugim uslovima traje nekoliko sati, a može da traje i nekoliko dana. U nekim slučajevima temperatura može da se popne i do  $50^{\circ}\text{C}$ . Kad se porast temperature zaustavi, nastupa period hlađenja, koji traje do momenta, kada se temperatura betona izjednači sa temperaturom okoline. Proces hlađenja proteže se vrlo često na nekoliko godina. Intenzitet i trajanje porasta temperature betona, kao i opadanje kod hlađenja betona, zavisi ne samo od vrste cementa i brane, tzv. stopa, hlade se znatno sporije, nego gornji dijelovi, koji imaju manju masu betona, a osim toga izloženi su atmosferskom provjetranju i rashlađivanju. Uzvodna strana brane hladi se u pravilu znatno brže uslijed vode, koja pospješuje hlađenje. Iz navedenih razloga u tijelu brane nastaju velike temperaturne razlike između srednjih dijelova tzv. jezgra, i vanjskog dijela-omotača. Na uzvodnoj strani brane ove temperaturne razlike su jače, nego na nizvodnoj strani.

Veličina pada temperature mijenja se vremenski različito. Kratko vrijeme poslije betoniranja, na vanjskoj strani brane temperaturne razlike iznose oko  $10^{\circ}$ , a kroz nekoliko dana ona se povećava i do  $30^{\circ}\text{C}$ . Poslije toga temperaturne razlike se smanjuju.

Osim temperaturnih promjena, koje potiču od vezivanja betona, zid brane podvrgnut je i vanjskim promjenama temperature okoline, osobito njegova nizvodna strana. Kiša, mraz, snijeg, vjetar i sunce znatno utiču na nastajanje temperaturnih razlika u masi brane, i to uglavnom u nizvodnom sloju, dok na jezgro brane znatno manje utiču. Sa porastom

dubine ovaj uticaj opada. Kad se nakon nekoliko godina konstatuje, da se je temperatura betona izjednačila, onda su kasnije moguća manja kolebanja, u zavisnosti od vremenskih, dnevnih i godišnjih izmjena temperature, i to samo na dubini od 5 do 10 m. Ova kolebanja mogu da iznose samo nekoliko stepeni i nisu opasna. Međutim veća temperaturna kolebanja u vanjskom sloju betona, dubine od 1 do 2 m, mogu da izazovu naprsline betona. Pravilnim doziranjem cementa u toku betoniranja, mogućnost nastajanja naprslina može se dobrim dijelom umanjiti.

Prema tome za praćenje deformacija i unutrašnjih naprezanja u tijelu brane, neophodno je konstantno praćenje temperaturnih promjena, jer one u pravilu mnogo jače utiču na deformacije, nego promjena pritiska vode uslijed izmjena vodostaja.

Vanjska temperatura vazduha i okoline mogu također da znatno utiču na deformacije. Suncem obasjana strana vanjske plohe brane znatno se jače isteže u vrijeme ljetnih mjeseci, nego vodom hlađena nutarnja strana. Radi toga se u to vrijeme, u pravilu može očekivati savijanje gornjeg dijela brane prema uzvodnoj strani. Na to savijanje utiče i visina vodostaja, jer je tada u pravilu vodostaj niži. U jesenskim mjesecima, kad temperatura vazduha opadne, a jezero u pravilu ima puni maksimalni vodostaj, nastaje savijanje lučne brane u suprotnom pravcu, prema nizvodnoj strani. Prema tome kruna brane, u zavisnosti od vanjskih temperaturnih promjena trpi oscilirajuća pomjeranja.

Osim praćenja temperaturnih promjena u samom tijelu brane, i u njenoj vanjskoj okolini, potrebno je da se ono vrši i u fundamentu do potrebne dubine. Na taj se način utvrđuje brzina oticanja topline u temelju, a u vezi s tim i mogućnost stvaranja naprslina, kroz koje može da podzemnim putem prodire voda u tijelo brane.

Prilikom betoniranja, mokri beton naglo smanjuje sadržaj vode, a uslijed toga smanjuje zapreminu. Kao rezultat toga nastaje vučno naprezanje, koje može da dovede do prskanja, naročito kad je mraz. Beton kojega kvasi procijeđena-filtrirajuća voda, može da bude izložen naprezanju na pritisak.

Donošenjem mase betona pri betoniranju gornjih dijelova brane, donji još potpuno ne-osušeni dijelovi podvrgnuti su velikom opterećenju, koje izaziva puzanje donjih slojeva. U kojoj se mjeri to dešava, mogu da objasne samo precizna mjerenja.

Prostorne deformacije pojedinih dijelova brane, nastaju kao rezultat raznorodnih naprezanja. Dobar uvid u deformacije može se postići mjerenjima, kako na spoljašnjim ploham brane, tako i u njenoj unutrašnjosti. Radi toga se u betonskim branama u pravilu izgrađuju specijalni vodoravni ili kosi hodnici, tzv. kontrolne galerije, te vertikalna kontrolna okna.

### 3. Deformacije brane i promjene položaja brane

Odgovarajućim geodetskim i drugim mjerenjima moguće je ustanoviti, u određenom momentu, prostorne promjene položaja niza dobro markiranih tačaka na spoljašnjoj plohi, ili u unutrašnjosti brane (u

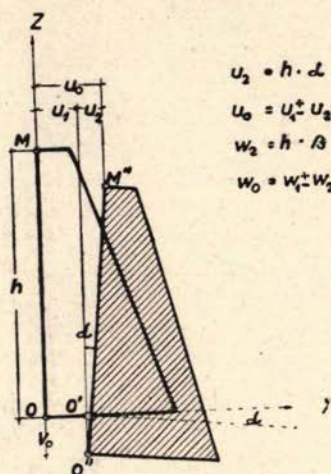
hodnicima i oknima). Iz tih izmjerenih promjena treba izvesti zaključak, dali se radi samo o deformacijama tijela brane, ili samo o promjenama njenog položaja. U koliko se radi i o jednom i o drugom, onda je potrebno da se razluče jedne od drugih.

Deformacija tijela brane ispoljava se između ostalog u tome, da nastaje savijanje vertikalnih osi Z vertikalnih profila, a time i savijanje čitave nizvodne, pa i uzvodne plohe brane. Najveći horizontalni pomak pojaviće se u pravilu u najvišoj tački srednjeg vertikalnog profila. Tako na primjer tačka M na vertikalnoj osi profila, koja je od temelja udaljena za veličinu  $z$ , pretrpi u smjeru osi X, koja približno odgovara pravcu nizvodnog vodotoka, pomak  $u$ , u smjeru osi Y pomak  $w$ , a u smjeru osi Z pomak  $v$ . Kod betonskih brana u pravilu pomaci  $W$  i  $v$  su vrlo maleni u odnosu na pomake  $u$ , mada to nemora da bude uvijek slučaj. Ako se mjerenjem ustanovljeni pomaci  $u$ ,  $w$  i  $v$  za niz pravilno raspoređenih tačaka nanesu u kosoj projekciji, dobije se slika prikazana

Vlastita težina brane  $G$  i težina vode akumulacionog bazena predstavljaju terete zamašnih razmjera. Oni deformišu tlo ispod jezera, a time i bliže okoline, uključujući tu i samu podlogu brane. U početku građenja, osnova brane nije opterećena. Sa napredovanjem građenja podloga dobiva postepeno opterećenja srazmjerna težini brane, koje potpunim završetkom brane dotiže najveći iznos. Iza toga započinje punjenje akumulacionog bazena, koji svojom težinom postepeno dalje povećava opterećenje podloge, koje pri punom jezeru dostiže najveći iznos. Ako dođe do pomjeranja i uopšte do pokreta u podlozi, oni se prenose i na branu, radi čega se položaj brane u prostoru mijenja. Ako posmatramo jedan profil kao nepomičan prije opterećenja brane, onda on u slučaju pokretanja fundamenta brane, pod djelovanjem pomenutih opterećenja, doživi promjenu svoga položaja, kako se to vidi iz slike 2. Promjena položaja profila rezultat je dva gibanja, translacije i rotacije. Ukupna translacija sastoji se iz tri komponente, koje odgovaraju smjerovima osi X, Y i Z usvojenog prostornog koordinatnog sistema. Na crtežu 2 ove komponente označene su sa:  $u_1$  u smjeru osi X,  $w_1$  u smjeru osi Y i  $v_1$  u smjeru osi Z. Na crtežu komponenta  $w_1$  nije ucrtana radi pojednostavljenja slike. U pravilu ova komponenta ima neznan iznos. Rotacija u ravnini profila predstavljena je uglom zaokreta  $\alpha$  vertikalne osi profila, koji je jednak istom uglu nagiba podloge. Uslijed rotacije profila tačka M na kruni brane pretrpi novi pomak  $u_2$  u smjeru osi X, koji je jednak:  $u_2 = h \cdot \alpha$ , gdje oznaka  $h$  predstavlja visinu brane do dna krune. Ukupan pomak krune brane označen je sa  $u_0 = u_1 + u_2$ , odnosno  $u_0 = u_1 - u_2$ .

Rotacija u ravnini koja je okomita na ravninu profila, t. j. u ravnini YZ za ugao  $\beta$ , izaziva novi pomak tačke M u smjeru osi Y za veličinu  $w_2 = h \cdot \beta$ . Ove rotacije u ravnini YZ su vrlo ograničene, jer su blokovi (lamelle) međusobno spojeni betonom. Vertikalni pomak tačke O u fundamenteu profila, u smjeru osi Z, označen je na crtežu sa  $v_0$ . Za istu veličinu pomjeri se i tačka M na kruni brane. Rotacije profila o kojima

je bilo riječi, povećavaju ili umanjuju ovaj vertikalni pomak za iznose koji su u pravilu neznatni, pa stoga na crtežu nisu ni prikazani.



Sl. 2

Tijelo brane doživljava u pravilu i deformacije i promjenu položaja. Deformacije i promjene položaja mogu da imaju elastičan ili plastičan karakter. Plastično ponašanje u pravilu prestaje onda, kada se temperatura betona izjednači. Kasnije se brana ponaša elastično. Plastično ponašanje se ispoljava puzanjem, bubrenjem i smanjivanjem volumena betona, koji smanjivanjem opterećenja ne povraćaju branu u prvobitno stanje.

Stručnjak koji vrši mjerenje, treba da odredi prostorne pomake pojedinih tačaka, ugrađenih na samoj brani i u njenoj unutrašnjosti, kao i tačaka ugrađenih u okolnom terenu, uglavnom u blizini temelja. On treba da odredi deformacije pojedinih horizontalnih i vertikalnih profila brane, kao elastičnog tijela na krutom fundamentu, kao i promjene položaj brane kao krutog tijela na elastičnom fundamentu.

#### 4. Vremenski tok promjena stanja brane

Iz dosadašnjeg izlaganja proizlazi, da je potrebno određivanje mnogobrojnih promjenljivih veličina na brani, koje djeluju zajedno i uporedo jedne pored drugih, radi čega jedne na druge utiču. Da bi se došlo do pravilnih zaključaka, treba ova raznovrsna uzajamna djelovanja znati razlučiti. U tu svrhu treba razlikovati tri karakteristične faze rada.

Prva faza obuhvata period građenja tj. betoniranja. U tom vremenskom intervalu zbiva se vezivanje betona sa brzim i naglim promjenama u tijelu brane. Može se reći da je za uspješno izvršenje zadatka ova faza najvažnija. Treba na vrijeme izvršiti sve pripreme i ugraditi stajališta

za instrumente, a zatim i same instrumente. Mjerenja treba vršiti u malim vremenskim intervalima. Treba da se osigura dobra saradnja sa izvođačima. Njih treba upoznati sa značajem i funkcijom postrojenja za mjerenje. Sama mjerenja, kao početna, moraju biti vršena sa posebnom pažnjom. Prije toga treba izvršiti potrebna mjerenja na stalnim tačkama i sračunati njihove koordinate i visine. Betoniranjem brana izrasta u visinu i postepeno opterećuje donje slojeve i podlogu povećanom težinom. Unutrašnji procesi vezani za vezivanje betona znatno utiču na deformacije. Paralelno sa betoniranjem brane treba ugrađivati i na određen način signalisati tačke, koje će se kasnije opažati. Naročitu pažnju treba obratiti na zaštićavanje ugrađenih tačaka od eventualnog uništavanja i oštećivanja.

Druga faza započinje potpunim završavanjem betoniranja, a završava se punjenjem jezera do najvišeg vodostaja. Brana je u toj fazi opterećena ukupnom vlastitom težinom i djelomičnim pritiskom vode, koji pri punom jezeru dostiže maksimum. Ova »spoljna« opterećenja zbrajaju se sa »unutrašnjim«, koja su vezana za smanjivanje temperature vezivanja betona, promjenom stanja vlažnosti, smanjivanjem i puženjem betona i dr., i zajednički djeluju na deformacije i pokretanja. Spoljašnje vremenske promjene također vrše svoj uticaj. U ovoj fazi mjerenja se vrše u dužim vremenskim intervalima, nego kod prve faze. Promjene stanja u tijelu brane, koja se vrši i u prvoj i u drugoj fazi događaju se samo jedamput, i nikad se više ne ponavljaju. To stanje je od vrlo velikog značaja za kasnije ponašanje brane. Svaki propust koji nastupi u tim fazama neda se nadoknaditi. U drugoj fazi, mjerenja treba vršiti od momenta zaustavljanja vode do potpunog punjenja u vremenskim razmacima, koji zavise od brzine punjenja. Nakon nekoliko dana obično se vrši probno pražnjenje, pa je potrebno vršiti odgovarajuća mjerenja u istim vremenskim intervalima pri tom pražnjenju, a isto tako i pri narednom, obično definitivnom punjenju.

Iz rezultata mjerenja dobivenim pri punjenju i pražnjenju jezera dobiće se uvid u to, dali su i u kojoj mjeri nastale trajne deformacije i pokreti brane. Upoređivanjem ovih rezultata sa rezultatima koji će se dobiti u narednim godinama, moći će da se ustanovi stanje stabilnosti brane. Isto tako iz upoređenja kako trajnih, tako i elastičnih veličina deformacija moći će se brana pratiti u narednom dužem periodu. Svako povećanje deformacija u kasnijem periodu, pod istim uslovima opterećenja, pretstavljaće upozorenje, koje ukazuje na poremećaj ravnoteže.

Treća faza obuhvata vremenski period poslije potpune izgradnje, kada je brana odnosno hidrocentala u pogonu. U toj fazi opadanje temperature betona uslijed vezivanja prestaje. Na deformacije utiču temperatura okoline i pritisak vode u bazenu. U godišnjim ciklusima koji se neprekidno ponavljaju, brana biva podvrgnuta približno istim opterećenjima. Deformacije poprimaju u pravilu elastičan karakter. Jedino u slučaju eventualnog pokreta temelja, nastaju trajne deformacije. Pošto uticaji unutrašnjeg karaktera prestaju, to upoređivanjem rezultata dobivenim u istim uslovima opterećenosti može da se izvrši razlučivanje

uticaja pritiska vode, od uticaja temperaturnih promjena. Opažanja treba vršiti pod istim uslovima vanjske temperature a različitog vodostaja i obratno.

### 5. Pravovremenost početka mjerenja

Značaj sistematskih mjerenja deformacija, nažalost i kod nas, pa i u inostranstvu, nije još shvaćen u krugovima građevinskih stručnjaka. Vrlo su česti slučajevi da se pitanje mjerenja deformacija uzima u razmatranje u posljednji čas. Tada se dolazi u situaciju, da se na brzinu učini ono što se može. Obično to biva onda, kad je brana gotovo već izbetonirana. Projektom se u pravilu predviđaju tzv. fizikalna mjerenja, a geodetska se zaborave, sve do početka građenja pa i kasnije.

Ako se želi dobiti pravi i potpuni uvid u stanje brane, u pogledu njenih deformacija i pokretanja, a to znači u stanje stabilnosti, onda se to može postići samo onda, ako projekat brane sadrži dio, koji se odnosi na mjerenja deformacija ili oskultacija. Takav projekat i program mjerenja treba da izradi odgovarajući zavod ili institut, ili grupa stručnjaka za ove poslove, u saradnji sa projektantskom i izvođačkom grupom.

### 6. Stručnjaci za mjerenje deformacija

Za uspješno izvođenje mjerenja deformacija, potrebni su odgovarajući stručnjaci. Stoga se kao prvo treba riješiti pitanje kadra za takve poslove. Kod građevinskih stručnjaka nažalost preovladava mišljenje, da je za takve poslove pogodan svaki inženjer, a ponekad i tehničar građevinske struke. Za opservacije treba odabrati stručnjake, koji pored školskih kvalifikacija posjeduju lične sklonosti i smisao, kao i potrebno iskustvo. Ta lica nesmiju imati sklonost, da rezultate mjerenja »dotjerivaju« u slučajevima, kad se oni nemogu odmah da objasne. To moraju biti ljudi, koji imaju sposobnosti i sklonosti da se udube u problem, kao i u duh čitavog objekta. Mnogi geodetski stručnjaci također olako i na brzinu pristupaju ovim radovima, tretirajući ih kao svaki drugi standardni geodetski rad. Izmjena stručnog personala, naročito česta, vrlo mnogo smanjuje kvalitet, a da ne govorimo o izvjesnoj dezorganizaciji čitavog posla. U davanju konačnih sudova o stanju brane treba biti obazriv, naročito u početku, sve dok brana ne dođe u stanje stabilnosti. Stručnjacima za ove radove treba omogućiti, da kontinuirano rade nekoliko godina prateći branu. Svako normiranje radova nesmije da dolazi u obzir. Elaborat opažanja postane vrlo obiman, pa je neophodna preglednost i registracija. Uporedo sa mjerenjima treba se upoznavati sa osnovnim pojmovima iz oblasti ispitivanja građevinskog materijala, specijalno tehnologije betona. Isto tako potrebno je poznavanje, eventualno i iskustvo iz građenja. Ako takav stručnjak, barem u izvjesnoj mjeri, vlada osnovama teorije elastičnosti, te nauke o čvrstoći, onda će on moći da stručno interpretira dobivene rezultate. Sva ova teoretska znanja naravno nemora da posjeduje lica, koja će vršiti opserviranja i računanja, nego samo rukovodioc radova, koji daje interpretaciju.



Prilikom rada iskrsavaju mnoge nepredviđene poteškoće i zapreke, pa je često puta nužno mijenjati predviđeni plan mjerenja.

Svaki opservator mora prethodno da dobro upozna instrumente, sa kojima će raditi, rukovanje sa njima i njihovo ispitivanje. Radi toga su potrebna probna mjerenja radi sticanja rutine i sigurnosti u radu.

Na svakom većem objektu, za mjerenje je potrebno formirati grupu za osmtaranje, sa rukovodiocem na čelu. Kod geodetskih mjerenja treba imati najmanje dva stručna lica za opažanje i sređivanje podataka. Za mjerenje fizikalnim uređajima u brani, pored opservatora i pisara, potreban je električar, naročito kod ugrađivanja instrumenata. Pored opservatora, potrebno je imati dobrog crtača.

Za uspješno obavljanje rada, grupa za osmatranje mora imati prostorije za svoj biro, u neposrednoj blizini brane, sa svim potrebnim namještajem i priborom. U tom birou, ili u posebnoj prostoriji, treba da postoje ormari ili drugi namještaj za ostavljanje instrumenata, pribora i alata za ugrađivanje oznaka itd.

### III. FIZIKALNE METODE MJERENJA DEFORMACIJA

Fizikalne metode mjerenja deformacija brana ovdje su samo kratko izložene, pošto detaljnije razmatranje izlazi iz okvira ovog rada.

Fizikalne metode obuhvataju uglavnom mjerenja pojava u unutrašnjosti brane, te mjerenja temperature okoline i visine vodostaja. Rezultati koji se odnose na deformacije i pokrete brane imaju relativan karakter, te kao samostalna mjerenja imaju značaj samo u slučaju, ako u temelju brane nije došlo ni do kakvih pomjeranja. Radi toga se danas smatra, da ova mjerenja imaju puni svoj značaj samo onda, kada su povezana sa geodetskim mjerenjima. Fizikalna mjerenja u unutrašnjosti brane obuhvaćaju:

1. Mjerenje temperature betona na raznim tačkama tijela brane, pomoću termometara raznih konstrukcija, pretežno sa automatskom prenosnom registracijom. Pored toga mjeri se i temperatura vode i vazduha u bližoj okolini brane.

2. Mjerenje visine vodostaja, sa vodomjernim letvama i limnigrafima sa automatskim registriranjem.

3. Mjerenje potiska, tj. pritiska procurene i podzemne vode, pomoću manometara raznih konstrukcija i načina registracije. Paralelno se vrši i mjerenje količine procurene vode odgovarajućim napravama.

4. Mjerenje međusobnog razmicanja pojedinih blokova, kao i mjerenje razmicanja naprslih dijelova unutar jednog bloka, pomoću aparata, koji se nazivaju deformetri i tenzometri. Deformetri i tenzometri predstavljaju kratke osnovice — baze sa mikrometarskim uređajima za očitavanje produživanja ili skraćivanja fiksnih dužina tih osnovica. Baze

defrometera mogu da predstavljaju štapovi ili žice od invara ili drugih metalnih legura spojenih na bimetalnom principu. Mikrometri za očitavanje promjene osnovice mogu biti mehaničke ili električne konstrukcije, a principu mjerenja otpora i sl.

5. Mjerenje rotacije pojedinih blokova odnosno njihovih graničnih profilnih ploha, u jednoj (XZ) ili u dvije (XZ i YZ) ravnine, pomoću aparata, koji se nazivaju klinometri. Klinometri predstavljaju dovoljno osjetljive libele cjevastog oblika, sa posebnim mehanizmom za očitavanje nagiba do na 2". Relativno kratke libele ugrađene su na ploči ili na dužem krutom štapu do 1 m dužine. Oslonišne tačke štapa postavljaju se na specijalne kuglaste ležaje, koji su inače zaštićeni poklopcima. Obično se štap sa klinometrom, koji se naziva i produžni klinometar, postavlja na nekoliko oslonišnih tačaka postavljenih na jednakim razmacima u jednom pravom redu. Takav niz naziva se most klinometra.

6. Mjerenje translatornih komponenata pomaka nekoliko fiksiranih tačaka u kruni brane, ili neposredno ispod krune, pomoću dugačkih preciznih viskova i njima odgovarajućih uređaja za očitavanje iznosa linearnih pomaka u dva okomita pravca. Ovi uređaji za očitavanje nazivaju se koordimetri. Oni omogućavaju očitavanja do na 0,1 mm pa i manje od toga. Na branama srednje visine obično se postavljaju tri viska. Viskovi su najčešće materijalizovani mehanički tankom žicom i teškim utegom, sa tečnim prigušivačem (posuda sa uljem), a u novije dajem za očitavanje. Skale za očitavanje na koordimetru postavljaju se pod uglom od 45° prema koordinatnim ravninama XZ i YZ. Po visini jednog viska očitavanje koordimetrom vrši se obično na nekoliko tačaka fiksiranih na raznim visinama. To pruža mogućnost, da se iz linearnih pomaka u dva smjera tačaka duž jednog viska, konstruiše elastična linija dotičnog vertikalnog presjeka.

Iz izloženog se vidi, da geodetski stručnjak bez prethodne solidne pripreme praktične i teorijske, nije u mogućnosti da uspješno organizira i izvrši mjerenje fizikalnim metodama. Mi međutim smatramo, da je on tome poslu ipak znatno bliži od građevinskog stručnjaka, naročito sa gledišta stečenog smisla, pedantnosti i umješnosti u rukovanju preciznim geodetskim instrumentima i preciznom radu uopšte.

#### IV. GEODETSKE METODE MJERENJA DEFORMACIJA

Geodetskom metodom određuju se položaj i visine na brani, i u njenoj bližoj okolini, markiranog niza tačaka, pomoću geodetskih instrumenata, preciznog triangulacionog teodolita i preciznog nivelira sa invarskim letvama i drugim neophodnim priborom za signalizaciju. U izvjesnim slučajevima dolazi do upotrebe specijalnih geodetskih instrumenata, tzv. kolimatora ili alineatora, a zatim i preciznih invarskih pantljika za mjerenje udaljenosti. U izvjesnim slučajevima dolaze u obzir

i instrumenti za terestričko fotogrametrijsko snimanje i odgovarajuću restituciju.

Obzirom na visoke zahtjeve u pogledu geodetske specijalizirane stručnosti osoblja, koje treba da izvodi ove radove, kao i obzirom na opremu, koja je za ove radove neophodna, ove radove u današnjim našim uslovima, građevinska poduzeća koja izvode građenje, nisu u stanju da u svom djelokrugu organiziraju ovakvu službu, osobito ako se radi o većim objektima. To mogu da vrše ili naučne ustanove i instituti geodetskog karaktera, ili geodetske državne službe, ili pak specijalni mješoviti naučno istraživački instituti pri fakultetima ili samostalni.

Geodetska metoda pruža mogućnost određivanja prostornog položaja markiranih tačaka na vidljivom dijelu brane (nizvodna ploha i kruna odnosno dograđeni dijelovi iznad krune), u hodnicima u unutrašnjosti brane, kao i tačkama izvan brane, u njenoj bližoj a i daljoj okolini, najčešće oko temelja i bokova. Prostorne položaje pomenutih tačaka moguće je određivati u gotovo svakom momentu, momentu opažanja. Time su određeni apsolutni iznosi pomjeranja i deformacija. Ta okolnost daje geodetskoj metodi osnovu prednost u odnosu na fizikalne metode, koje daju relativne iznose deformacija i pomjeranja, iako u pravilu sa većom tačnošću i sa manjim materijalnim sredstvima. Iz toga razloga ne mogu se uspješna mjerenja uopšte ni izvoditi samo fizikalnim metodama.

Prostorne koordinate  $x$ ,  $y$  i  $z$  neke tačke, obzirom na metodu geodetskog određivanja, obično dijelimo u dvije grupe: položajne ravne kokordinate  $x$  i  $y$ , te visinu  $z$ . U skladu sa ovim odvajanjem određivanja ravnih položajnih koordinata te određivanja visina, geodetska metoda određivanja deformacija i pomjeranja brana obuhvata:

1. Određivanje položaja tačaka (u ravnini  $XY$ ),
2. određivanje visinskih razlika.

Određivanje položajnih koordinata, ili kraće rečeno položaja, može da se vrši:

- a) trigonometrijskim presjecanjem naprijed,
- b) preciznim poligonometrijskim mjerenjem,
- c) mjerenjem otklona jedne ili više tačaka od pravca

Ovaj način omogućava mjerenje samo jedne komponente pomjeranja u horizontalnoj ravnini. Naziva se aliniranje.

Određivanje vinskih razlika može da se vrši:

- a) trigonometrijskim niveliranjem,
- b) preciznim geometrijskim niveliranjem,
- c) hidrostatičkim niveliranjem.

Terestrička fotogrametrija pretstavlja kombinovanu metodu za istovremeno određivanje i položaja i visine.

Osvrnućemo se redom na svaku navedenu metodu.

## 1. ODREĐIVANJE POLOŽAJNIH KOORDINATA

### a) Trigonometrijsko presijecanje naprijed

Metoda trigonometrijskog presijecanja primijenjena je kao prva geodetska metoda za određivanje položajnih komponenata pomjeranja, koliko nam je poznato prvi puta je upotrebljena 1921 godine, na brani »Montsalvens« u Švicarskoj. Prije toga primjenjivalo se samo aliniranje.

Postupak se sastoji u određivanju položaja tačaka pomoću opažanih a zatim orijentisanih pravaca, sa dviju stabilno fundiranih tačaka u terenu nizvodno izvan tijela brane.

Na nizvodnoj vidljivoj vertikalnoj plohi brane markiraju se izvjesnim redom niz tačaka, koje obrazuju nekoliko horizontalnih i vertikalnih redova. Pored temelja i bokova brane markiraju se na sličan način nekoliko tačaka.

Stajališne tačke instrumenta, sa kojih se vrši presijecanje, fundiraju se izvan brane, u zoni za koju se pretpostavlja, da nije izložena pritisku brane tako, da tačke ostanu nepomične u toku čitavog života brane, ili bar za duži period. Nepomičnost stajališnih tačaka nije moguće sa sigurnošću odrediti, a često to nije moguće uopšte postići, pa se radi toga mora predvidjeti kontrolisanje i tačno mjerenje njihovog eventualnog pomicanja sa drugih kontrolnih tačaka. Tih kontrolnih tačaka imamo dvije vrste:

— kontrolne stajališne tačke, koje se postavljaju u daljoj okolini brane, čime su izolovane od zone koja je pod pritiskom. Ove se tačke stabiliziraju na isti način kao i stajališne tačke za opažanje brane, pošto se sa njih vrše opažanja teodolitom, tj. kontrolisanje se izvodi presijecanjem naprijed;

— bliske kontrolne tačke, koje se markiraju u neposrednoj blizini stajališta za opažanje brane. Kontrolisanje se vrši presijecanjem nazad. Radi toga za svako stajalište treba da ovih tačaka ima najmanje tri, koje treba da su povoljno raspoređene.

Stabilizacija stajališnih tačaka za opažanje brane, kao i tačaka za njihovo kontrolisanje iz dalje okoline brane, vrši se betonskim stubovima dovoljno duboko utemeljenim (ispod zone smrzavanja) radi osiguranja njihove nepomičnosti, te pogodnim za direktno postavljanje teodolita na njih, sa preciznim prisilnim centrisanjem i mogućnošću preciznog postavljanja signala na njihov centar. Najčešće se danas upotrebljavaju betonski stubovi visine 1,0 do 1,2 m iznad nivoa terena, kvadratnog presjeka  $0,5 \times 0,5$  m, ili kružnog presjeka promjera 0,5 m. Smatramo da su stubovi kružnog profila bolji radi pravilnijeg osunčavanja. Isto tako bolje je da imaju oblik prikraćenog stošca ili piramide sa manjim dimenzijama gornje plohe radi bolje vidljivosti niskih signala i uštede u betonu. Broj tačaka za opažanje nemože biti manji od dvije, ali je preporučljivo da se postave barem tri, ne samo radi mogućnosti kontrole i provjeravanja tačnosti, nego i ostvarivanja boljih presjeka, te mogućnosti dogledanja uopšte nekih tačaka pri krajevima brane, koje se često nemogu da vide sa samo dvije tačke.

Udaljenih kontrolnih stajališnih tačaka treba postaviti najmanje dvije.

Udaljenost dviju glavnih stajališnih tačaka za opažanje, tzv. bazu, treba odrediti mjerenjem sa tačnošću 1:5 000 do 1:10 000, eventualno još tačnije. U kasnijim računanjima obično se ova baza uzima kao jedna os pomoćnog koordinatnog sistema, a jedna od tih tačaka kao ishodište. U tom sistemu treba da se računaju koordinate svih ostalih tačaka.

Tačnost određivanja položaja tj. koordinata  $x$  i  $y$  tačaka markiranih na brani i u njenoj okolini, zavisi od tačnosti opažanih odnosno orjentisanih pravaca, te od udaljenosti svake tačke od stajališta instrumenta. Uglovi se mjere obično u 2 do 4 girusa, preciznim triangulacionim teodolitima tipa T3 ili T2. Sa teodolitom tipa T3 može se postići srednja greška ispod jedne sekunde, pod nekim optimalnim uslovima i do 0,5". Ova srednja greška ne zavisi samo od kvaliteta instrumenta i broja ponavljanja (girusa), nego u velikoj mjeri o preciznosti prisilnog centrisanja i načina signalizacije i stajališnih i opažanih tačaka, kao i o ličnim osobinama opservatora te opštim uslovima vidljivosti. Ovome treba nadodati i meteorološke uslove u momentu opažanja itd. Ovakva tačnost mjerenja uglova omogućava vrlo tačno određivanje položajnih pomaka, u zavisnosti od dužina vizura. Za dužine vizura do 100 m moguće je da se ova tačnost svede u granice, koje ne prelaze 1 mm. Ovdje je ipak potrebno staviti neke ograde u pogledu tačnosti. Tako na primjer kod strmih vizura, na tačnost opažanih pravaca vrlo mnogo utiče nevertikalnost alhidadine osi. Radi toga kod postavljanja stajališnih tačaka treba nastojati, da se izbjegnju strme vizure. Ako to nije moguće, onda je radi postizanja odgovarajuće tačnosti opažanih pravaca potrebno, na alhidadinoj libeli očitavati stanje mjehura i sračunavati popravke pravaca radi nevertikalnosti alhidadine osi, pošto se ove pogreške ne kompenziraju opažanjem u dva položaja durbina. U svakom slučaju, kod opažanja treba obraćati izuzetnu pažnju dovođenju alhidadine osi u vertikalni položaj.

Radi orijentacije opažanih pravaca potrebno je na terenu stabilizirati nekoliko što udaljenijih (od 300 do 1000 m i više) orjentacionih tačaka, i na podesan način signalisati ih. Vrlo je podesno, ako se ove tačke stabiliziraju u kakve vertikalne ili strme kamene litice, teško pristupačne nepozvanima. Ako takvih nema, onda je potrebno postavljanje betonskih stubova sličnog oblika i dimenzija kao za stajališne tačke. Kao signali za viziranje podesne su kružne metalne ploče sa koncentričnim crno bijelim ili crveno bijelim intenzivno obojenim krugovima, koji se mogu po potrebi da skidaju radi sprečavanja uništenja. Sa svake stajališne tačke treba da postoje barem tri vizure prema orjentacionim tačkama. Presijecanjem se može određivati i položaj objesišne tačke viskova.

### **b) Precizno poligonometrijsko mjerenje**

U hodnicima, galerijama u nutrašnjosti brane, moguće je određivanje položaja, a time i pomicanja pojedinih markiranih tačaka, postav-

ljanjem preciznih poligonih vlakova. Poligone tačke ovakvog vlaka treba stabilizirati odnosno markirati na odgovarajući način, tako da bude omogućeno centriranje teodolita sa prisilnim centrisanjem sa visokom tačnošću, precizno signalisanje, te precizno mjerenje poligonih stranica sa specijalnim priborom, koji sadrži lagane invarske pantljike i uređaj za zatezanje, očitavanje i dr.

Ova metoda se uvodi u najnovije vrijeme, i nema do danas podataka o tome, kakva se tačnost može postići. Može se sa sigurnošću reći, da će ova metoda, uz zadovoljenje odgovarajućih zahtjeva, dati dobre rezultate, te da njena primjena svakako dolazi u obzir, naročito kod nekih vrsta brana i drugih objekata, kod kojih je ova metoda i do sada primjenjivana.

### c) Aliniranje — mjerenje otklona od pravca

Određivanje samo jedne komponente položajnih pomjeranja tačaka markiranih na kruni brane, naziva se aliniranje. Aliniranje pretstavlja mjerenje otklona tačke od fiksiranog pravca, dakle veličine za koju tačka, koja je prvobitno postavljena i stabilizirana na kruni brane, uslijed pomjeranja same brane izađe iz pravca, u kojem se nalazila. Fiksni pravac stabiliziran je pomoću dviju tačaka, koje se nalaze izvan tijela brane i izvan zone pomjeranja uže okoline brane. Jedna od krajnjih tačaka fiksnog pravca stabilizira se kao stajališna tačka za postavljanje instrumenta sa prisilnim centrisanjem, dok je druga samo vizirna tačka, koja može biti stabilizirana već prema terenskim okolnostima, u kamenoj strmoj litici ili na betonskom stubu manjih dimenzija, sa podesnom kružnom metalnom pločom, na kojoj su nacrtani i obojeni koncentrični crno bijeli ili crveno bijeli krugovi.

Broj tačaka na brani, za koje se mjeri otklon od pravca, zavisi od oblika brane. Na branama kod kojih je kruna u pravcu, ovakvih tačaka postavlja se nekoliko, već prema potrebi, dok se kod brana sa kružnom krunom, obično postavlja samo jedna tačka u sredini kružnog luka, i to na uzvodnoj ivici krune.

Mjerenje otklona od pravca može da se vrši na dva načina: pomoću teodolita — trigonometrijsko aliniranje, i pomoću specijalnog instrumenta, koji se naziva alineator ili kolimator — pravo aliniranje (ili geometrijsko). Fiksirani pravac treba da je približno paralelan sa uzdužnom osi brane u pravcu, a kod brana kružnog oblika treba da pretstavlja približno tangentu na luk u srednjoj, tjemennoj tački.

## 2. ODREĐIVANJE VISINSKIH RAZLIKA

### a) Trigonometrijsko niveliranje

Za tačke markirane na nizvodnoj plohi brane, čije se pomjeranje određuje trigonometrijskim presjecanjem, visine odnosno vertikalna pomjeranja određuju se trigonometrijskim niveliranjem, odnosno mjerenjem vertikalnih uglova i odgovarajućim sračunavanjem. Te su tačke

nepristupačne za obično ili geometrijsko niveliranje. Kod preciznih poligonih vlakova u hodnicima brane, u koliko nije moguće primijeniti geometrijsko niveliranje, primjenjuje se trigonometrijsko. Isto tako trigonometrijsko niveliranje upotrebljava se i za određivanje visina tačaka izvan brane, pa čak i samih stajališnih tačaka za opažanje kao i kontrolnih tačaka, kada se obično niveliranje nemože da primijeni zbog terenskih uslova.

Vertikalne uglove treba mjeriti sa maksimalnom mogućom tačnošću, istim teodolitom sa kojim se vrši i mjerenje horizontalnih pravaca. Opažanje treba vršiti u svakom slučaju u oba položaja durbina i vizirati sa sva tri konca, ukoliko ih dotični teodolit ima (teodolit T3 nema 3 konca, dok teodolit T2 ima). Ako teodolit nema 3 konca, onda opažanje treba vršiti u dva ponavljanja.

Na tačnost visina određenih trigonometrijski znatno utiče tačnost određivanja visine instrumenta. Radi toga teodolit mora da ima odgovarajući uređaj, koji omogućava postavljanje teodolita uvijek na istu visinu iznad centra stajališne tačke, sa tačnošću do 0,2 mm. Tačke na brani i njenoj užoj okolini tako se signališu, da ne postoji visina signala. Signali koji se postavljaju na stajališne i kontrolne tačke, moraju imati tačno određenu visinu vizirne tačke do na 0,1 mm, i za sve signale jednaku.

Uz zadovoljenje uslova u pogledu signalizacije i ostalog što je gore pomenuto, moguće je postići srednju grešku mjerenja vertikalnih uglava okolo 1 sekunde, najviše 2 sekunde. Tačnost visina za dužine vizura do 100 m, može se postići u granicama 1—2 mm, pa i manje. Na ovu tačnost međutim mogu imati velikog utjecaja promjene refrakcije, pošto brana često pretstavlja granicu dvaju područja sa znatno različitim faktorima, koji utiču na refrakciju. Ako se želi da se dobiju dobri rezultati mjerenja, onda je nužno ovo pitanje temeljito ispitati za svaku branu posebno.

### **b) Precizno (geometrijsko) niveliranje**

Visine i njihove promjene na svim tačkama na brani i u njenoj okolini, kao i visine stajališnih i kontrolnih tačaka, najtačnije i najbrže određuju se niveliranjem. Dolazi u obzir precizno niveliranje sa odgovarajućim nivelmanskim instrumentima i invarskim letvama, kao i ostalim manjim priborom. Samo kod nekih tipova brana, na primjer kod zemljom ili kamenom nasutih brana, može da dođe u obzir i tehnički nivelman.

Za dobro izvršenje određivanja visina uopšte, potrebno je razviti podesnu nivelmansku mrežu, koja dopire izvan i uže i šire zone uticaja brane, i koja se po mogućnosti naslanja na državnu nivelmansku mrežu. Tu mrežu treba da sačinjava dovoljan broj relativno gusto postavljenih i solidno stabiliziranih te dobro zaštićenih repera. Na nivelmansku mrežu treba priključiti stajališne tačke za trigonometrijsko presijecanje kao i kontrolne tačke. Na teškom i strmom terenu vezne tačke treba po mogućnosti trajno stabilizirati vertikalno ubetoniranim zakivkama ili na

neki sličan način. Radi postizanja visoke tačnosti niveliranja, vizure moraju biti što kraće, u svakom slučaju da ne prelaze 30 m.

Na samoj brani treba postaviti potreban broj tačaka-repera na kruni brane, u skladu sa rasporedom ostalih tačaka čiji se pomaci treba da određuju. Pri dnu brane kod temelja, treba postaviti nekoliko repera na tijelu brane kao i bližoj okolini, na dostupnim mjestima za niveliranje. Isto tako u hodnicima-galerijama u unutrašnjosti brane, prema potrebi i mogućnostima, treba postaviti reperi i nivelirati ih. Međutim male visine hodnika, kao i njihov nagib, često onemogućavaju izvođenje preciznog niveliranja. U svakom slučaju treba prethodno riješiti pitanje letava, jer su visine letava od 3 m u većini slučajeva zapreka, koja iskrsava kao prva. Često puta veliku zapreku pretstavlja i veza nivelmana u unutrašnjosti brane sa vanjskim nivelmanom.

Tačnost određivanja visina preciznim nivelmanom vrlo je visoka, i pod optimalnim uslovima može da se svede ispod 0,3 mm. Međutim ovo se može postići pored ostalog pod uslovom, da je stabilizacija i konstrukcija repera takva, da obezbjeđuje ovakvu tačnost. Pored toga tačnost znatno umanjuje relativno jaka vazдушna strujanja, koja utiču na pravac vizure. Na svakoj brani u tom pogledu postoje drugi uslovi, koje je potrebno ispitati. Standardne instrukcije za nivelman nemogu se uspješno primijeniti na branama.

### c) Hidrostatičko niveliranje

Hidrostatičko niveliranje u nekim slučajevima smatramo da se može vrlo uspješno primijeniti, za određivanje promjena visina pojedinih tačaka u hodnicima i oknima brane, sa relativno visokom tačnošću do ispod 0,5 mm. Metod se zasniva na principu spojenih posuda. Ako se na dvije ili više tačaka u hodniku brane, na zidovima betona čvrsto ugrade staklene ili druge providne cijevi sa milimetarskom podjelom, i spoje se gumenim ili od plastične mase izrađenim crijevom ili cijevi napunjenom vodom ili drugom tečnošću, onda očitavanja visine stupca vode pružaju mogućnost, da se određuju promjene visinskih razlika. U približno horizontalnim hodnicima ovo niveliranje se vrlo lako izvodi. Kod strmih hodnika mora da se postavlja čitav niz odvojenih uređaja, što često puta potpuno onemogućava primjenu ove metode.

## 3. TERESTRIČKA FOTOGRAMetriJA

Terestrička fotogrametrija u suštini pretstavlja prostorno presijećanje naprijed dva snopa svjetlosnih zraka, koje prilikom fotografisanja na snimku registruje objektiv fototeodolita u momentu snimanja, a takav se isti snop obratnim postupkom rekonstruiše u projektoru instrumenta za kartiranje ili restituciju. Ovakav princip odnosi se naravno na restituciju sa instrumentima, koji su konstruisani na principu optičke rekonstrukcije snopa zraka. Pored ovakvih postoje i instrumenti za restituciju na principu mehaničke i optičko-mehaničke restitucije Isto tako postoji



mogućnost i numeričke restitucije, koja se zasniva na očitavanju koordinata pojedinih tačaka na snimku i sračunavanju njima odgovarajućih koordinata pripadajućih tačaka na terenu, u našem slučaju na tijelu brane i u njenoj bližoj okolini.

Tačnost pomjeranja pojedinih tačaka, kako u položajnom, tako i u visinskom smislu, koji se mogu dobiti ovom metodom, znatno je manja nego kod primjene ranije opisanih metoda. Radi toga se ova metoda barem danas nemože da primjenjuje na stabilnijim branama od betona, kod kojih u pravilu ne postoje veliki pomaci, nego se primjenjuje kod zemljom ili kamenom nasutih brana, koje imaju znatnija pomjeranja.

Snimanje se vrši sa stabilnih stajališnih tačaka, slično kao kod trigonometrijskog presijecanja. Markiranje tačaka za koje je potrebno da se odrede pomjeranja mora biti takvo, da te tačke budu oštro vidljive na snimcima. Tačnost koja se može postići zavisi u prvom redu od tačnosti koju pruža fototeodolit sa svojim objektivom i fotoemulzijom ploče, te od tačnosti restitucije. Nadalje tačnost znatno ovisi o udaljenosti tačaka od stajališta za snimanje, kao i od povoljnosti presjeka. Sigurno je da se pri optimalnim uslovima, za udaljenosti do 100 m može postići položajna tačnost do 1 cm, a visinska tačnost i ispod 1 cm.

#### 4. OSTALE METODE

Pored opisanih metoda ispitivanja brana, postoje i svakodnevno se pojavljuju neke druge metode i postupci. Pomenućemo neke od njih, koje se danas u praksi koriste.

**Vertikalna žica.** U vertikalnim oknima napne se i pričvrsti čelična žica u temelju i u kruni. Udaljenost između žice i markiranih tačaka na zidovima okna mjeri se odgovarajućim priborima. Iz razlika koje tokom vremena nastaju u tim udaljenostima, dobiva se uvid u deformisanje okna u relativnom smislu. Pomoću mjerenja nagiba žice, koje se vrši odmjeravanjem od viska, utvrđuje se rotacija okna itd.

**Sondažni torpedo.** U branama nasutim zemljom ili drugim materijalom, često se postavljaju vertikalne cijevi od plastičnih masa, čelika ili laganog betona. U šupljine cijevi povremeno se spuštaju utezi slični torpedu na žici, čija se dužina može mjeriti. Na taj način se mjere dubine nekih obilježenih tačaka u tijelu brane ugrađenih repera, do kojih dopre torpedo, odnosno dobiju se razlike u dubinama, nastale uslijed slijeganja brane. Postoje konstrukcije raznih tipova ovakvih uređaja. Vrh cijevi se iznivela i na taj način se dobije promjena u visini duboko u brani ugrađenog repera. Prema tome žica sa torpedom pretstavlja neku vrstu produžene nivelmanske letve.

#### Napomena

1. Na branama treba predvidjeti i osmatranje uzvodne plohe, i to obavezno za osmatranja u toku građenja, dok za kasnija osmatranja ovo dolazi u obzir samo kod brana, kod kojih se misli bazen povremeno

ispražnjavati. Isto tako potrebno je osmatranje deformacija bliže uzvodne okoline brane, u prvom redu samoga dna bazena, pošto je u mnogim slučajevima ustanovljeno deformisanje dna jezera, i to ne samo u bližoj okolini brane, nego i duž čitavog jezera. Naravno da je markiranje tačaka, koje će duže vremena ležati pod vodom, kao i njihovo zaštićavanje jedan novi problem, o kojemu treba voditi računa.

2. Geodetske metode osmatranja primjenjuju se na sve vrste brana. Kod brana koje trpe veće pomake, nije potrebno primjenjivati suviše precizne i skupe, a time i sporije metode. Precizne metode dolaze u obzir samo kod svih vrsta betonskih brana. Isto tako samo kod ovih brana primjenjuju se fizikalna mjerenja viskom sa koordimetrom, klinometrima, deformetrima i tenzometrima, termometrima, aneroidima, temeljnim viskom.

### III. MJERENJE DEFORMACIJA NA BRANI JABLANICA

#### 1. Oblik i dimenzije brane

Brana hidrocentrale u Jablanici na Neretvi spada u grupu lučno-gravitacionih betonskih brana. Njen oblik i dimenzije vide se iz slika 3, 4 i 5. Kruna brane ima dužinu oko 20 metara, visina brane od temelja do krune iznosi 85 m, a visina od dna Neretve do preliva 67 m. Debljina brane u temelju iznosi oko 26, a u kruni 6 m (ne uzimajući u obzir proširenja radi ispravnog preliva vode. Kubatura brane iznosi oko 126 000 m<sup>3</sup>. Brana zagrađuje akumulaciono jezero, čija je zapremina vode 318 000 000 m<sup>3</sup>.

Brana je fundirana na vrlo povoljnoj, geološki stabilnoj podlozi eruptivnog masiva gabra, čija je čvrstoća na pritisak između 1800 i 2800 kg/cm<sup>2</sup>.

U horizontalnoj projekciji brana se sastoji iz niza horizontalnih lučnih slojeva visine 3 m kružnih oblika. Najgornji lučni sloj, kruna brane, ima kao osovinu kružni luk radiusa 89 m, sa centralnim uglom 135°11'. Debljina toga luka iznosi 6 m. Donji lukovi postepeno imaju manje radiuse a veće debljine. U temelju, na koti 200, radius osovine iznosi oko 35 m, a debljina 25 m. Brana je gotovo potpuno simetričnog oblika.

U vertikalnom smislu, brana je izgrađena od 14 blokova ili lamela, širine 14 m sem srednjeg bloka, čija je širina 10 m. Između pojedinih blokova, prilikom betoniranja ostavljane su praznine tzv. razdjelnice ili fuge, širine 1 m, radi hlađenja betona. Kasnije su ove razdjelnice popunjene tako, da tijelo brane predstavlja kompaktnu betonsku cjelinu. Na slici 3 pojedini blokovi-lamele označeni su rimskim brojevima od I do XIV.

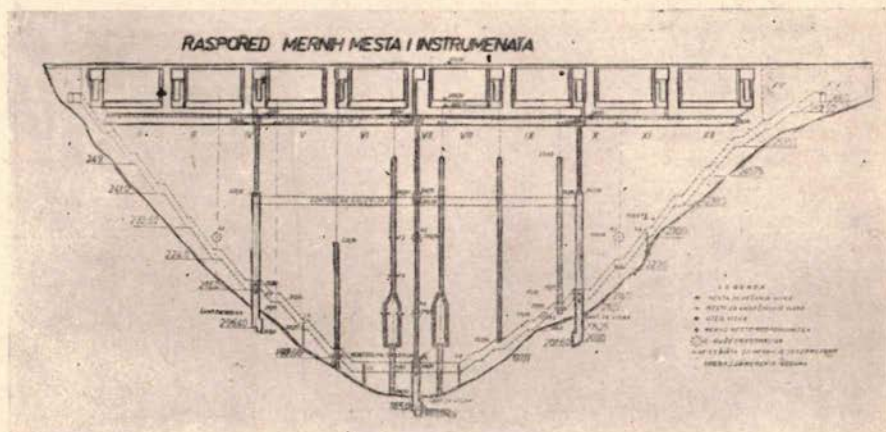
Betoniranje blokova vršeno je u dnevnim slojevima po 0,5 m. Svaka 3 dnevna sloja sačinjavaju po jedan sloj visine 1,5 m, koji je nakon betoniranja ostavljan po 3 do 4 dana da se beton veže.

U vertikalnim presjecima brana ima nepravilan oblik sa zakrivljenim ivičnim linijama. Slika 4 prikazuje tri vertikalna profila.

Na kruni brane postavljeno je 9 vertikalnih betonskih stubova, koji služe kao nosači mosta, čija je širina 10 m. Između stubova slobodni otvori širine po 15,7 m služe kao prelivna polja, kroz koja se u slučaju potrebe može da vrši evakuacija vode u količini 1850 m<sup>3</sup>/sec.

U statičkom smislu brana se sastoji od niza vertikalnih konzola, koje su učvršćene u fundamente, i niza horizontalnih lukova, oslonjenih u bokove fundamenta. Prema statističkom proračunu, pritisak na dnu srednje konzole iznosi oko 38 kg/cm<sup>2</sup>, vlak u srednjoj tački nizvodne strane luka, na koti 210 m iznosi oko 27 kg/cm<sup>2</sup>, dok smicanje u uporišnoj tački istoga luka iznosi oko 8 kg/cm<sup>2</sup>.

U unutrašnjosti tijela brane izgrađena su 3 hodnika-kontrolne galerije A, B i C i 3 vertikalna okna-šahta u blokovima IV, VII i X. Glavna kontrolna galerija A prolazi duž bokova i temelja mijenjajući pad, dok su galerije B i C horizontalne. Kontrolne galerije služe za sva osmatranja unutar brane kao što su: osmatranje betona, njegovog deformisanja, pucanja i starenja, mjerenje potiska ili uzgona, mjerenje temperature. Nadalje se u galerijama smještaju razni instrumenti za fizikalnu oskultaciju i dr. U vertikalnim hodnicima smještaju se viskovi V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> i V<sub>3</sub> njima pripadajući uređaji za prikopčavanje i očitavanje. Galerije imaju eliptičan a okna kružni profil.

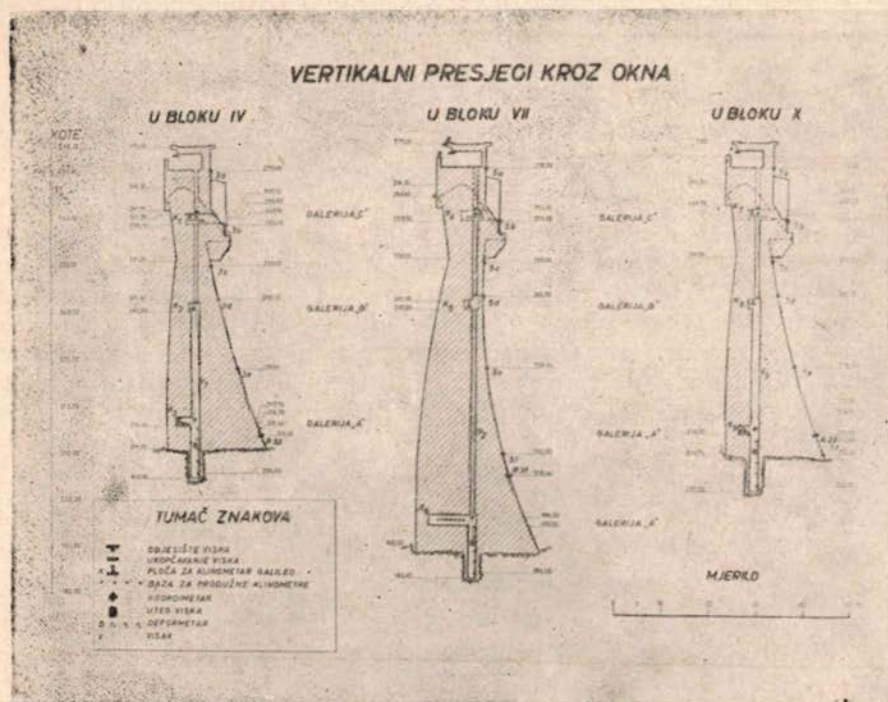


Sl. 3

Slika 3 pretstavlja uzdužni presjek kroz branu i vertikalna okna. Na njoj su označena mjesta na kojima su instalirani instrumenti za fizikalno osmatranje.

Slika 4 pretstavlja 3 poprečna presjeka brane kroz okna. Na njoj su označena mjesta na kojima su smješteni instrumenti za fizikalno osmatranje, kao i mjesta, na kojima su ugrađene tačke, čije se pomjeranje određuje geodetskim metodama.

Oblik i dimenzije ove brane, ka oi njen tip obzirom na konstruktivnu stranu i materijal iz kojega je izgrađena, usloveli su izbor metoda za osmatranje.



Sl. 4

## 2. PROJEKAT ZA OSMATRANJE BRANE

### a) Izrada projekta

Projekat za osmatranja izrađen je od strane tadašnjeg preduzeća »Elektroprojekt« iz Sarajeva, koje je izradilo i projekat za hidrocentralu i sve njene organe, među koje spada i brana. Taj projekat sadržavao je građevinski dio detaljno razrađen za hodnike, okna i sl., dok je pitanje opreme i detalja, koji se odnose na mjerenje i opremu, razrađivan kasnije parcijalno. Uglavnom može se reći, da je projekat prvobitno obuhvatio fizikalnu, a nije geodetsku stranu osmatranja. Geodetski dio je u toku 1950 godine, kad je izgradnja brane bila u toku, izrađen idejno prema prijedlogu ing. Mate Jankovića i usvojen na sastanku 9. IX 1950 u Jablanici, i naručena je potrebna oprema.

U izradi projekta za mehaničku oskultaciju učestvovalo je na određen način i preduzeće »Jaroslav Černi« iz Beograda, ali nam detalji nisu poznati.

Detaljni projekat za geodetsko osmatranje izrađen je u Elektroprojektu (danas Energoinvest) u Sarajevu, od strane ing. Aganović Ismeta, kao saradnika, u toku 1954. godine, koji je ujedno vršio nadzor nad realizacijom izvođenja. Izvođenje (stabilizacija i signalizacija) tačaka izvršena je od strane geometra Nazifa Redžića, službenika preduzeća Elektroprojekt. Taj projekt razmatran je i usvojen od grupe građevinskih, geodetskih i drugih stručnjaka »Elektroprojekta« iz Sarajeva, »Jaroslava Černia« iz Beograda i »Hidrocentrale na Neretvi« iz Jablanice, na zajedničkom sastanku, koji je održan u Sarajevu, 11. III 1954 godine.

Projekat je izrađen prema uzoru, koji se danas za ovakve i slične brane primjenjuje u zemljama sa već stečenim iskustvima, kao što su Švicarska, Italija, Francuska, Austrija, Portugalija, SAD i dr., uz manja prilagođavanja obzirom na lokalne topografske, geološke i druge uslove kao i naše prilike uopšte. Ovaj projekat predviđao je slijedeća geodetska mjerenja:

Trigonometrijsko presijecanje naprijed  
Geometrijsko i trigonometrijsko aliniranje  
Precizno niveliranje  
Trigonometrijsko niveliranje.

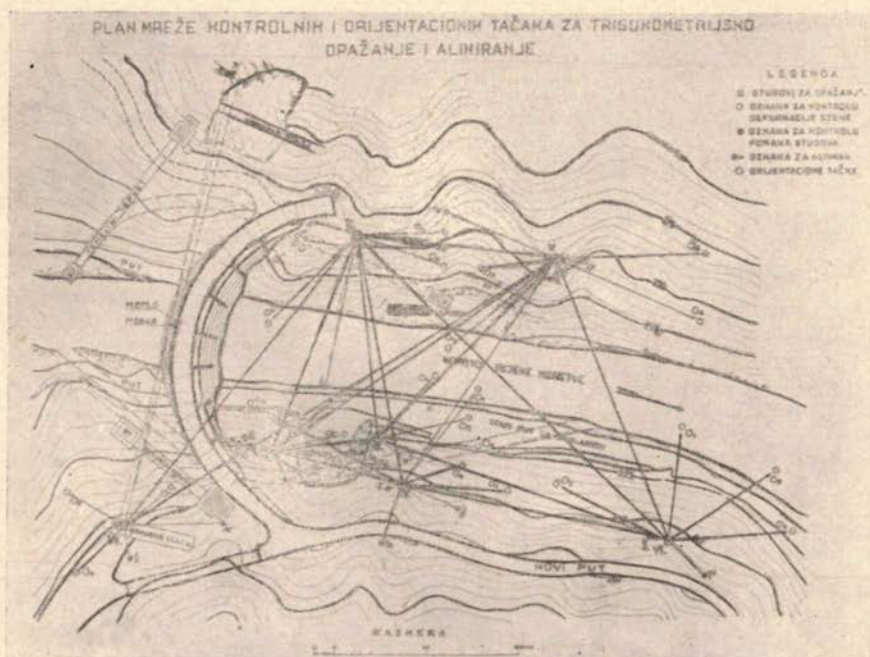
Geometrijsko ili pravo aliniranje uključeno je u projekat samo radi toga, što je to bilo predviđeno u prvobitnom idejnom projektu, i što je već bila nabavljena odgovarajuća oprema.

### **b) Trigonometrijsko presijecanje naprijed**

Projekat sadrži mrežu stajališnih tačaka za opažanje brane (tačke I, II i III), kao i kootrolnih stajališnih tačaka (IV, V, VI), koja je prikazana na sl. 5 onako, kako je realizirana. Tačka VIII predviđena je kao rezervna tačka, koja u slučaju potrebe može da zamijeni tačku III, pošto je ova posljednja stabilizirana na ivici starog kamenoloma pa se pretpostavljalo da kasnije može doći do njenog pomjeranja radi drugih sila, koje nisu vezane za branu. Ta se pretpostavka kasnije stvarno i potvrdila.

Stajališne tačke stabilizirane su betonskim stubovima kvadratnog presjeka 0,5 m, visine 1,2 m iznad nivoa terena odnosno betonske ploče za stajanje opservatora, dubina stuba ispod nivoa ploče okolo 1 m. Svi su stubovi fundirani u čvrstim stijenama, ispod zone smrzanja, i dobro su zaliveni i učvršćeni betonom. Kasnije su u vrijeme opažanja iznad stubova postavljeni drveni krovovi radi zaštite od jakog izlaganja suncu (vidi sl. 6). Ti su drveni krovovi brzo uništavani, pa smatramo da bi trebalo predviđati stabilni i trajne betonske ili druge kućice, slično kao što je to izgrađeno za stub VII, koji služi za aliniranje (vidi istu sl. 6). Centar svakog stuba pretstavlja os cilindričnog grla od mesinga, koje omogućava prisilno centrisanje teodolita sa tačnošću 0,1 do 0,2 mm (sl. 7), kao i za postavljenje i prisilno centrisanje signalne mesingane marke za viziranje. Vizirna tačka sa markicom na visini od 5,5 cm ozna-

čena je malom crnom tačkicom i crno bijelim kružićima, pokazala se kao idealna za viziranje, ali bi bilo mnogo bolje da je visina veća, tj. da iznosi 29 cm, koliko je visina teodolita T3 Wild, sa kojim su vršena opažanja (radi trigonometrijskog niveliranja), te da joj je donji dio koji ulazi u grlo duži, radi stabilnijeg postavljanja. Bolje bi odgovarao i prizmatičan ili stožast oblik stubova, sa gornjim promjerom oko 30 cm radi

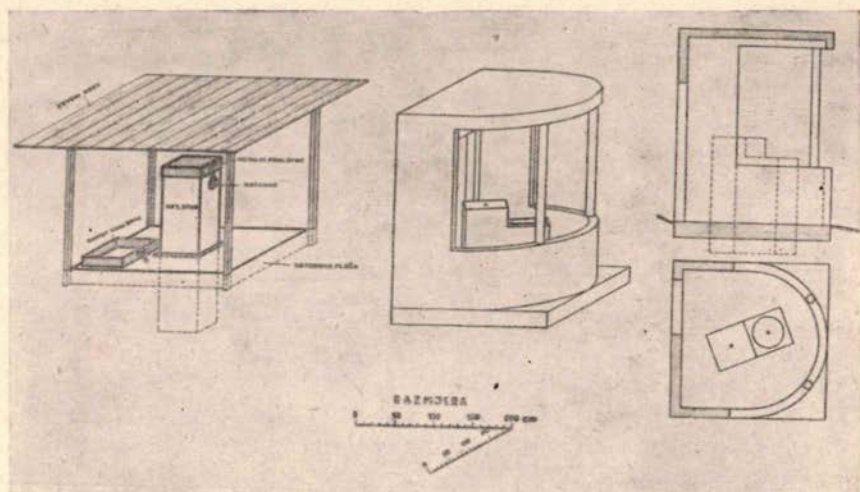


Sl. 5

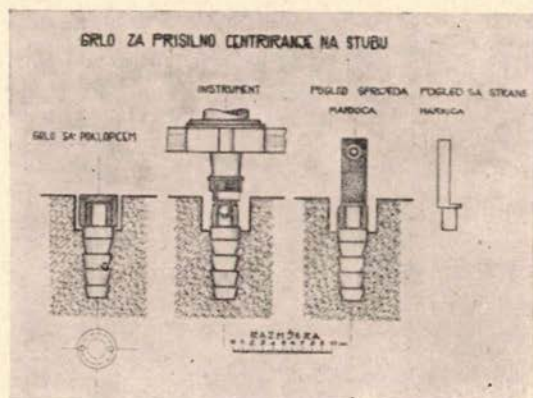
strmih vizura, kao i manjeg utroška betona, a vjerojatno i zakonmjernijeg osunčavanja, koje u izvjesnim slučajevima može da ima uticaja na malo kretanje stuba. Vjerovatno bi bolje odgovarao i drugi način obilježavanja centra tačke, sa kuglicom gore, na koju bi se šuplji cilindar-grlo na donjem dijelu markice za viziranje odnosno vrata instrumenta navlačio. Za niveliranje centra stuba to bi u svakom slučaju imalo veliku prednost.

Teodolit je postavljan na stubove tako, da su prethodno na plohu stuba polagane podnožne pločice za svaki položajni zavrtnanj a potom gipsom pričvršćivane. Vjerovatno da bi bilo bolje, da su na glavi stuba ubetonirane metalne trokrake podloge ili ploča sa jednom rupicom i 2 žljeba. Grla stuba zaštićavaju se odgovarajućim mesinganim poklopčićem na navoj. Pokazalo se da takva zaštita nije dovoljna, pa su kasnije izrađeni jaki blehani poklopci za glavu stuba, koji su se zatvarali i zaključavali katancem. Pokazalo se da ni takva zaštita nije dovoljno sigurna.

Glavni stubovi za opažanje I i II postavljeni su tako, da daju mogućnost dobrih presjeka, ali se sa njih oba nisu mogle da opažaju sve na brani i oko nje markirane tačke, radi zaklonjenosti stijenama, a dobrim dijelom i građevinama, koje su se nalazile ispred brane (betonara, barake, dizalice, skele i dr.). Radi toga je stub III bio neophodan. Jedan dio tačaka opažan je sa sva tri stuba, radi kontrole i ocjene tačnosti.



Sl. 6



Sl. 7

Međutim stubovi I i II nisu najbolje postavljeni po visini, radi čega su vizure prema pojedinim opažanim tačkama dosta različito nagnute, a za nekoliko najdonjih tačaka, na brani sa stuba II vizure su suviše strme. Međutim zbog terenskih uslova, nije se moglo naći bolje rješenje bez

velikog skidanja površinskih stijena. Pristup nekim stajališnim tačkama vrlo je težak radi toga, što nisu izgrađene solidnije i trajnije staze. Naročito je bilo teško za vrijeme prvih opažanja. Kasnije se je to stanje nešto popravilo, ali ni do danas nije riješeno na zadovoljavajući način, uglavnom radi nedovoljnog razumijevanja nadležnih. Mislimo da se danas može reći, da je mreža stajališnih tačaka solidno projektovana i postavljena. Iako su kasnije neke od ovih tačaka, uglavnom sve tačke a desnoj obali Neretve, posebno tačka VI, bile izlagane mnogim udarima i eksplozijama u njihovoj blizini, uslijed gradnje puta Jablanica—Prozor, ipak su ostle potpuno nepomične, izuzev tačku III, o čijem uzroku pomjeranja je bilo ranije riječi. Neznamo tačno kako je danas stanje sa stubom I, koji je prethodne godine bio izložen suviše jakom mlazu vode sa preljeva, do kojeg je došlo prilikom velikih kiša u jesen 1959 god. Uzgred napominjemo da preljev, po našem mišljenju jako ugrožava lijevi bok brane, kao i temelje u koritu Neretve.

Kao baza ili osnovica ove mreže izmjerena je paralaktičkim načinom strana I—II, a za kontrolu istim načinom izmjerene su još dvije strane i to I—III i I—IV. Kod računanja mreže sve tri ove strane uzete su u obzir kod izravnavanja.

Mjerenje horizontalnih uglova u ovoj trigonometrijskoj mreži izvršeno je u početku u 8 girusa, teodolitom Wild T3. Opaženi su svi pravci koji su se mogli opažati, a koji se vide na sl. 5. Neslaganja u trouglima bila su od 0,3 do 1,2 sekunde za 10 trouglova, dok su u preostala 2 trougla iznosila 2 sekunde (zbog strmih vizura).

Mreža je izravnata i sračunate koordinate tačaka do na 0,1 mm, u lokalnom koordinatnom sistemu, čije ishodište pretstavlja tačka I, a os Y prolazi kroz tačku II. Poslije toga izvršeno je sračunavanje koordinata

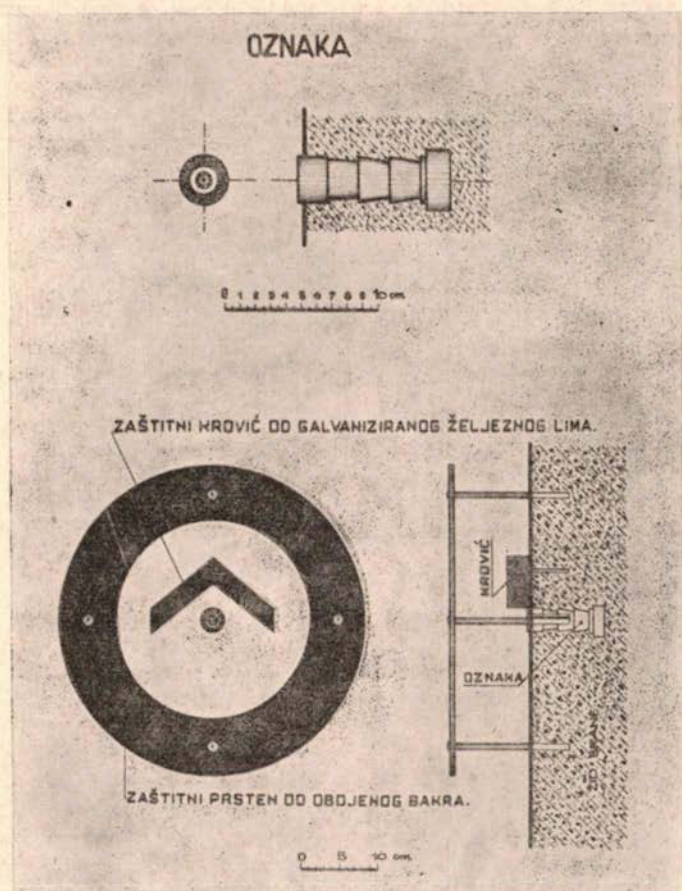


Sl. 8

i u državnom koordinatnom sistemu, pošto je mreža od samog početka bila priključena na državne trigonometrijske tačke, kao i druge tačke, koje su služile za iskolčavanje objekta.



Za orijentaciju pravaca stabilizirano je 5 dalekih orijentacionih tačaka, na raznim udaljenostima od 300 preko 1 km. Tačke su označene na  $\odot_1 \dots \odot_5$ . Na slici 5 sa pojedinih stajališnih tačaka povučeni su samo pravci prema orijentacionim tačkama. Sa svakog stajališta vide se najmanje 3 orijentacione tačke. Orijentacione tačke  $\odot_1$ ,  $\odot_2$  i  $\odot_3$  stabilizirane su u strmi stijenama, dok su  $\odot_4$  i  $\odot_5$  ugrađene u betonskim stubovima istih dimenzija kao i stajališne tačke (vidi sl. 8). Signale predstavljaju kružne mesingane ploče promjera 15 cm, obojene u vidu koncentričnih crno bijelih krugova, pričvršćene na mesinganom bolcnu dužine 13 cm, koji se čvrsto usađuje i ubetonira u stijenu odnosno u bočnu plohu betonskog stuba.

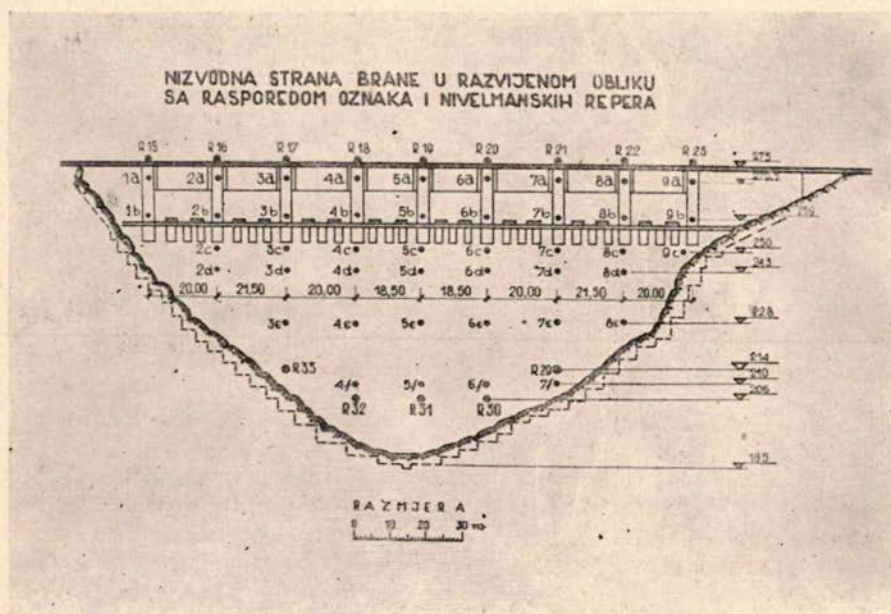


Sl. 9

U blizini svakog stajališnog stuba stabilizirane su po 3 do 4 bliske kontrolne tačke, na udaljenostima ispod 15 m, za kontrolisanje eventualnog pomjeranja. Ove su tačke stabilizirane na isti način, kao i tačke

na samoj vanjskoj plohi brane, pomoću mesinganih repere sa ravnom kružnom signalnom oznakom (vidi sl. 9). Ove su marke ubetonirane u strme stijene. Radi boljeg uočavanja, oko tačaka obojeni su veći crveni krugovi na stijenama. Tačke su označene malim slovima °a, °b... °t (vidi sl. 5). Jedan dio ovih tačaka nažalost kasnije je uništen, a neke su postale zaklonjene raznim dograđenim objektima.

Tačke markirane na brani za osmatranje, stabilizirane su mesinganim oznakama, koje prikazuje slika 9. Radi zaštite od prekrivanja cementnim mlijekom ili prljavom vodom i drugom nečistoćom, iznad svake markice postavljen je krovčić od lima. Radi uočavanja tačaka kod viziranja, okolo svake markice na zidu brane postavljeni su crno obojeni kružni prstenovi, odmaknuti od zida brane 5 cm, kako se nebi prljali i oštećivali (vidi sl. 9). Vjerovatno bi se mogli ovi prstenovi izrađivati i od



Sl. 10

emajliranog lima ili od plastične mase. Jedan broj u početku ugrađenih markica izgubio se u betonu, jer nismo postavljali zaštitne krovčiće. Do toga je došlo, što su markice usadivane u nedovoljno vezan beton, kao i zbog prekrivanja cementnim mlijekom i žitkim betonom, koji je curio iz gornjih slojeva. Važno je ovdje napomenuti, da markice treba ugrađivati paralelno sa betoniranjem, pošto kod ovakvih brana naknadno postavljane markica zahtijeva izgradnju skupih skela.

Pored bokova brane, u stijenama su ugrađene tačke, koje su u sl. 5 označene velikim slovima °A, °B... °E. Stabilizacija je izvršena istim

markicama. Okolo markica na stijenama su crvenom bojom označeni veći krugovi, radi boljeg uočavanja kod viziranja.

Markice ugrađene u brani postavljane su tako, da formiraju horizontalne i vertikalne redove. Razmaci redova odnosno gustina tačaka uopšte određeni su prema intencijama građevinskih stručnjaka projekta, u skladu sa dimenzijama i tipom brane, te statičkim okolnostima. Sa geodetskog stanovišta, naše je mišljenje, da je broj markiranih tačaka nešto prevelik. Tačan raspored ugrađenih markica-oznaka na nizvodnoj plohi brane prikazan je na sl. 4, 10 i 21. Na slikama 5 i 14 šematski su prikazane također sve ove oznake.

### c) Geometrijsko i trigonometrijsko aliniranje

Aliniranje obuhvata mjerenje pomaka samo dviju tačaka, na kruni i na mostu brane u sredini, na uzvodnom rubu, i to samo tangencijalnog pomaka u odnosu na fiksni pravac, što u odnosu na samu branu predstavlja radijalni pomak, odnosno pomak u smjeru osi X ranije pomenutog koordinatnog sistema. Ove su tačke na slici 5 označene sa »M 275« i »M 264«. Brojevi 275 i 264 su njihove nadmorske visine u metrima.

Donja tačka M 264 ugrađena je na pravom tijelu brane, mnogo ranije nego gornja M 275, koja je ugrađena opet dvostruko — jedna na gornjoj plohi srednjeg nosača mosta, — druga na samome mostu sa strane (vidi sl. 11). Donja tačka kod punog jezera nalazi se pod vodom i nemože se uvijek opažati. Pored toga pristup joj je moguć samo iz čamca, i to pri određenom vodostaju. Stoga je ona odigrala svoju ulogu kao privremena tačka, pa danas nije neophodna, ali je vrlo korisna, i treba ju opažati kad god je to moguće, i to ne samo radi upoređivanja pomaka donje i gornje tačke obzirom na provjeravanje tačnosti mjerenja, nego radi boljeg upoznavanja veličine savijanja mosta i njegovog nosača, kao dograđenog dijela konstrukcije na branu u odnosu na savijanje same brane, jer su statički različiti. Donja tačka opažana je samo trigonometrijskim aliniranjem, pa je radi toga stabilizirana istom markicom kao i oznake na nizvodnoj plohi brane, uklještenom u željeznu konzolu tako, da joj je vizirna tačka okrenuta instrumentu tj. prema tački VII.

Gornja dvostruka tačka M 275 stabilizirana je metalnim postoljima konstrukcije Gallileo, koja su pričvršćena na odgovarajući način: — jedno je ubetonirano na gornjoj plohi nosača mosta, drugo je pričvršćeno na željeznu konzolu na samome mostu. U ova postolja stavlja se vizirna ploča Gallileo, koja se može horizontirati libelom, a sa mikrometarskim zavranjem može se precizno pomjerati okomito na vizuru, te se mogu ovi pomaci očitavati na razmjerniku do na 0,1 mm. Na mostu je pored pomenute tačke ugrađena i oznaka na isti način, kao kod tačke M 264, koja služi za trigonometrijsko aliniranje (slika 11).

Trigonometrijsko aliniranje vrši se teodolitom Wild T3, a geometrijsko ili obično aliniranje specijalnim instrumentom-alineatorom Gallileo i pomenutim pokretnim vizirnim značkama.

Jednu krajnju tačku fiksnog pravca za aliniranje predstavlja stajališna tačka za aliniranje ili stub za liniranje VII, a drugu u stijeni ube-

tonirana vizirna tačka A. Stajališna tačka za aliniranje VII izgrađena je kao dvostruka tako, da se sa istog stuba može vršiti i geometrijsko i trigonometrijsko aliniranje (vidi sl. 6). Niža polovina glave stuba služi za postavljanje alineatora, a viša za teodolit. Centar u višem dijelu je iste



Sl. 11

Sl. 12



Sl. 13

zrade kao kod svih ostalih stajališnih tačaka I do VIII, tako da omogućuje precizno prisilno centrisanje. Centar nižeg dijela za alineator, predstavlja centar masivne metalne ploče konstrukcije Gallileo, koja je ubetonirana

u glavu stuba. Ova ploča obezbjeđuje precizno prisilno centrisanje alineatora. Sl. 12 prikazuje alineator i teodolit na stubu VII.

Iznad dvostrukog betonskog stuba VII izgrađena je od betona i željeza osmatračka kućica, sa velikim staklenim prozorima, koji se mogu da skidaju (vidi sl. 6).

Tačka A koja pretstavlja drugu tačku fiksnog pravca za geometrijsko aliniranje, stabilizirana je na isti način, kao orjentacione tačke 0. u vertikalnoj zdravoj stijeni ubetoniranom većom kružnom pločom, sa obojenim crno bijelim koncentričnim krugovima (vidi sl. 5 i 13). Tačka T pretstavlja odgovarajuću tačku za trigonometrijsko aliniranje. Ona je stabilizirana istom oznakom, kao tačke na brani za opažanje, samo su još oko markice obojeni krugovi na stijeni, radi boljeg uočavanja. Za istu svrhu služi i tačka B samo za mjerenje pomaka tačke M 275, dok T služi za tačku M 264.

Za provjeravanje nepomičnosti stajališta za aliniranje VII, služe bliske kontrolne tačke  $^{\circ}t$  i  $^{\circ}u$ , kao i daljnje kontrolne stajališne tačke II i V. Za orijentaciju pravca kod trigonometrijskog aliniranja služe orjentacione tačke  $0_1$ ,  $0_4$  i  $0_5$ . To jedno služi za kontrolisanje fiksnosti pravca za aliniranje.

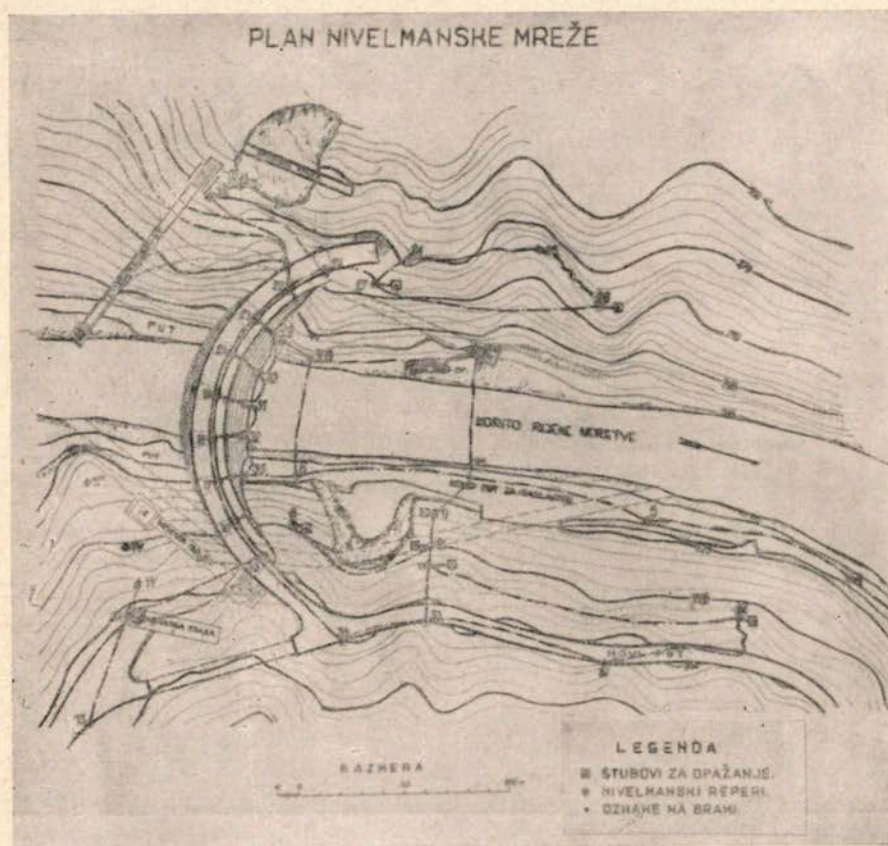
Već je ranije pomenuto, da je aliniranje pomoću alineatora ušlo u projekt samo radi toga, što je oprema već bila nabavljena. Trigonometrijsko aliniranje je mnogo sigurnije i omogućava kontrolisanje fiksnosti pravca i nepomičnosti stajališta. Međutim ono traži veću stručnost opservatora. Aliniranje sa alineatorom može uspješno da vrši i osoba, koja nema geodetsko obrazovanje. Tačnost mjerenja pomaka srednje tačke M geometrijskim i trigonometrijskim aliniranjem podjednaka je u relativnom smislu, i iznosi oko 0,3 do 0,5 mm.

Predviđeno je da se tačka A premjesti nešto bliže, te da se stabilizira na drugi način, pomoću manjeg betonskog stuba, na koji bi se ubetoniralo postolje za nepokretnu vizirnu ploču konstrukcije Gallileo, istu kao i za tačku na brani M 275, samo bez mikrometarskog zavrtnja i razmjernika. Takva ploča je nabavljena u početku zajedno sa alineatorom. Ugradiće se kasnije na putu, pored nadzorne zgrade iznad temeljnog ispusta, kada bude potpuno završen put u blizini brane, na lijevoj obali. Postojeća tačka A neće se uništavati.

#### d) Precizno niveliranje

Za precizno niveliranje postavljena je nivelmanska mreža od 37 repera, koja je priključena na državnu nivelmansku mrežu visoke tačnosti kod repera, koji je od brane nizvodno udaljen oko 500 m. Od pomenutog broja repera 14 otpada na branu a 3 na zgrade oko brane, dok su ostali stabilizirani u stijenama. Plan nivelmanske mreže vidi se na sl. 14. Sl. 15 i sl. 16 prikazuju način stabilizacije i zaštite repera. Na zgradama reperi su ugrađeni na uobičajeni način horizontalno, dok su reperi na kruni brane postavljeni vertikalno, i d odanas nisu zaštićeni metalnim poklopcima. Predviđeno je da se na kruni postave novi reperi vertikalno, ali dublje, ispod nivoa trotoara, te da se zaštite na način kako

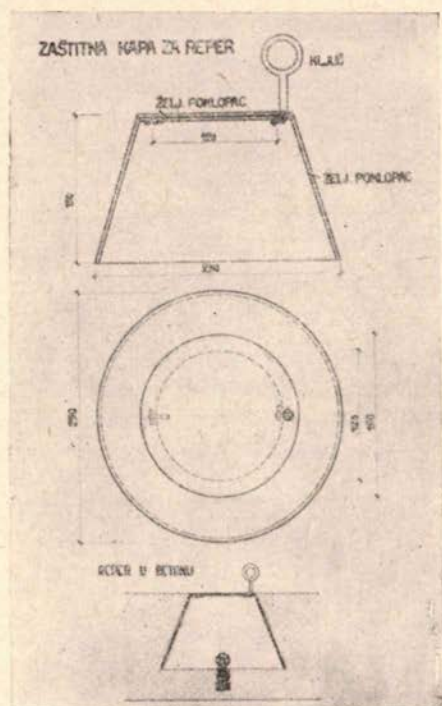
to pokazuje slika 15. Reperi usađeni u donjem dijelu brane postavljeni su horizontalno, kao i oni u zgradama. Svi su reperi sa okruglom glavom, na koju se postavlja letva. Izrađeni su od bronzne ili od mesinga. Kasnije se došlo do zaključka, da bi bolje odgovarali horizontalno postavljeni reperi na kruni brane postavljeni vertikalno, i do danas nisu zaštićeni



Sl. 14

Ovo se naročito ondosi na repere ugrađene u donjem dijelu tijela brane. Niveliranje je vršeno nivelirom Wild N 3 sa invarskim letvama. Maksimalne dužine vizura nisu prelazile 15 m, tako da je postignuta visoka tačnost, iako je teren sasvim nepogodan za niveliranje. Kod strmih nivelmanskih strana, vezne tačke su privremeno stabilizirane ubetoniranim zakivkama željeznih mostova. U neposrednoj blizini svakog stajališnog stuba nalazi se reper, radi kontrolisanja slijeganja stuba. Za svaki stub određena je visina gornje plohe grla za prisilno centrisanje. Cijela nivelmanska mreža nije se mogla postaviti odjedamput, nego etapno, prema napredovanju građenja. Donji reperi, koji su postavljeni u blizini nivoa

korita Neretve, vezani su preko Neretve sa nešto dužim vizurama. Gornji reperi, u visini preljeva brane, na obe obale, vezani su niveliranjem preko preljeva brane, u toku gradnje. Najgornji reperi na obe obale vezani su kasnije preko mosta brane. Može se reći, da je pravac niveliranja stalno mijenjan, već prema mogućnostima i prilikama u momentu niveliranja. U toku rada mnogi su reperi zatrpani, a mnogi potpuno uništavani. pere pri dnu brane ugradili smo nešto previsoko, kako bi ih zaštitili od Samo zahvaljujući vrlo gustoj mreži, to nije imalo težih posljedica. Re-



Sl. 15



Sl. 16

zatrpanja raznim otpadnim materijalom. Stoga im je pristup danas prilično težak.

Tačnost koja je postignuta kod niveliranja visoka je, i kreće se u granicama 0,2—0,4 mm. Kod niveliranja na mostu brane, primijećena su veća odstupanja, nego što bi se to moglo očekivati. Uzrok tih odstupanja leži u prvom redu, u jakim vazдушnim strujanjima iznad brane. Ovu pojavu namjeravamo kasnije detaljnije ispitati. Reperi su se do sada pokazali kao vrlo stabilni, iako su mnogi bili izlagani udarima, opterećenjima i zatrpanjima materijalom. Izravnanje nivelmanske mreže vršeno je samo djelomično, pošto nema mnogo zatvorenih poligona. Nadmorske visine repera i stajališnih tačaka sračunate su do na 0,1 mm.

### e) Trigonometrijsko niveliranje

Na svim stajališnim tačkama od I do VIII vršeno je mjerenje vertikalnih uglova prema drugim stajališnim, kontrolnim, bliskim i orijentacionim tačkama, te prema tačkama markiranim na brani i okolo temelja. Iz prethodno sračunatih udaljenosti pomoću koordinata i mjerenih vertikalnih uglova, sračunate su visinke razlike, i to za udaljene tačke do na 1 mm, a za bliže tačke do na 0,1 mm. Može se reći, da smo dobili rezultate preko očekivanja dobre. Visinske razlike na primjer stajališnih stubova nisu ništa slabije od visina dobivenih niveliranjem. Vertikalni uglovi mjereni su u dva ponavljanja kod svake serije opažanja. Precizne udaljenosti su prvi preduslov za dobre visine, naravno uz precizno izmjerene vertikalne uglove, pogotovo ako se uzme veliki broj prekobrojnih mjerenja i izvrši solidno izravnavanje.

### f) Plan opažanja

Plan geodetskih opažanja predviđao je u prvom redu početna ili nulta opažanja, u toku građenja, zatim opažanja za utvrđivanje pomjeranja u toku građenja, tj. prije punog opterećenja brane, i napokon opažanja pri opterećenju brane.

U prvoj fazi opažanja određivao se početni ili nulti položaj pojedinih tačaka stalne mreže, kao i tačaka na brani i u njenoj okolini. Ta su početna opažanja vršena u mnogo ponavljanja, kako bi se postigla visoka tačnost za tačke mreže, a za eventualno pokretne tačke, veličine njihovih pomaka, čiji je uzrok u procesu vezivanja betona.

U drugoj fazi opažanja su obuhvatala period od prvog zatvaranja brane, njenih probnih djelimičnih i potpunih punjenja i pražnjenja, sve do prvog definitivnog potpunog punjenja i puštanja hidrocentrale u pogon.

U trećoj fazi opažanja se odnose na period poslije puštanja hidrocentrale u pogon. U tom razdoblju vodostaj jezera mijenjao se je u zavisnosti od padavina i godišnjeg doba. Osim toga, vršeno je i jedno potpuno pražnjenje u svrhu remonta i popravki podvodnih postrojenja.

Opazanja u prvoj fazi ostvorena su vrlo dobro u skladu sa predviđenim planom, izuzevši manja zakašnjenja oko ugrađivanja tačaka u donjim dijelovima brane.

Opazanja u drugoj fazi također su ostvorena uglavnom u skladu sa planom, mada je tu bilo nešto manjih propusta u pogledu vremena, u koje je trebalo opažanja vršiti.

Što su opažanja u prve dvije faze ostvorena prema predviđenom planu, treba zahvaliti odgovornim rukovodiocima preduzeća Energoinvest, koje je projektovalo branu, i koje je pokazalo puno razumijevanje za osmatranje brane, sve do njenog puštanja u pogon.

Opazanja u trećoj fazi, po našem mišljenju potpuno su podbacila, mada su i tada vršena povremeno i to većim dijelom od grupe za osmatranje iz Hidroenergetskog Instituta »Jaroslav Černi« iz Beograda. Sa ovom grupom investitor preduzeće »Hidrocentrale na Neretvi« iz Jablanice vršilo je povremena ugovaranja za izvođenje opažanja, dok sa gru-



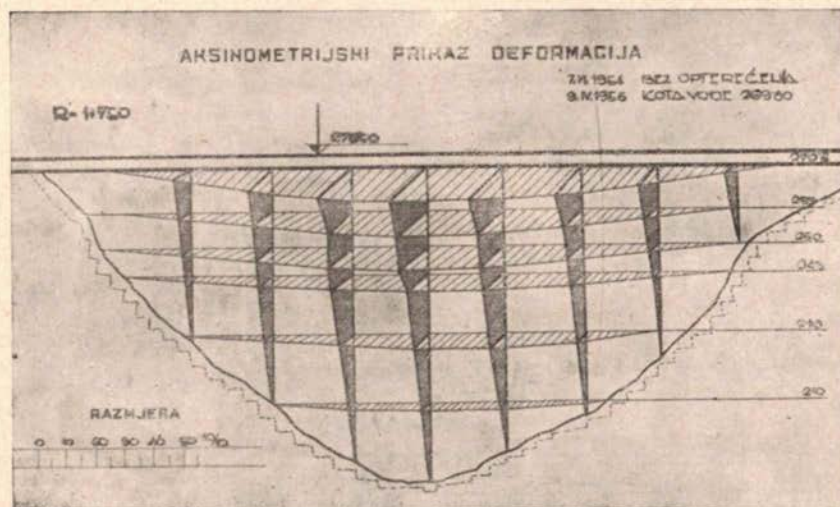
pom iz Sarajeva nije dalje sarađivalo. Osim tog investitor je povjerio očitavanja na instrumentima za fizikalna osmatranja nekim svojim stručnjacima, koji nisu bili dovoljno upućeni u te radove. Koliko nam je poznato, rezultati tih očitavanja nizu obrađeni. Ova očitavanja ponekad su zaboravljena, pa nisu potpuna. Mi smo ih kasnije djelomično obradili i nadamo se da ćemo ih uskoro potpuno završiti. Tada ćemo moći da izvršimo potpuna upoređivanja rezultata postignutih geodetskim metodama, sa rezultatima fizikalnih metoda. Preduzeće Energoinvest zainteresirano je za ove rezultate, pa se nadamo izvjesnoj pomoći.

Kako je već pomenuto, opažanja su vršena od strane dvije grupe stručnjaka, potpuno nezavisno jedan od drugih. Nekakva saradnja u početku je postojala, ali se je ubrzo ugasila. Mi smatramo da je potrebno uspostaviti tu saradnju, pa eventualno objediniti postignute rezultate.

### 3. OBRADA PODATAKA

Obrada podataka opažanja grupe iz Sarajeva, bila je gotovo konstantno u zaostatku. Razlozi leže uglavnom u materijalnim sredstvima, koja joj nisu stavljana na raspolaganje. Obrada koja je izvršena sa velikim zakašnjenjem, ima da se zahvali isključivo samoprijegoru i ličnim zalaganjima autora ovog referata, koji su na dobrovoljnoj i neplaćenj osnovi u slobodnom vremenu, veći dio posla obavili.

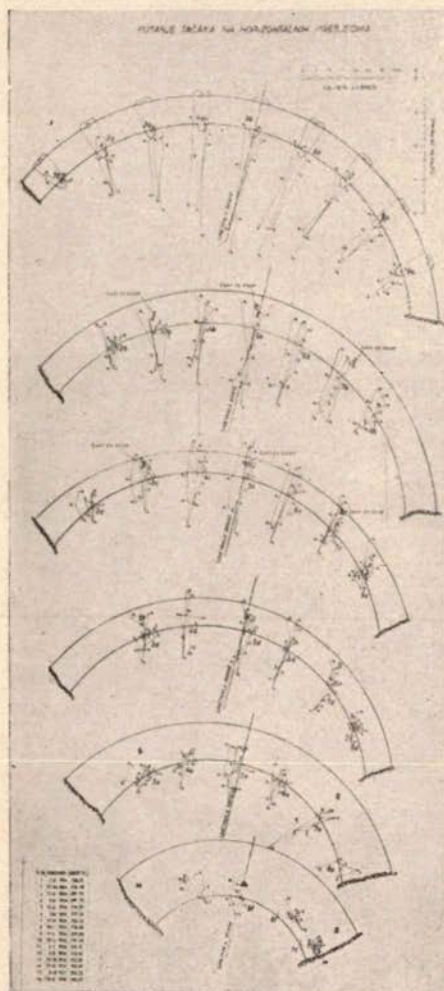
Terenski podaci, koji su upisivani u standardne formulare br. 1 i 1V, te nivelmanske obrasce br. 1 i još neke druge specijalno izrađene, obrađunati su i kontrolisani te registrovani u formulare koji su za to predviđeni kod državnog premjera, kao i neke posebno izrađene.



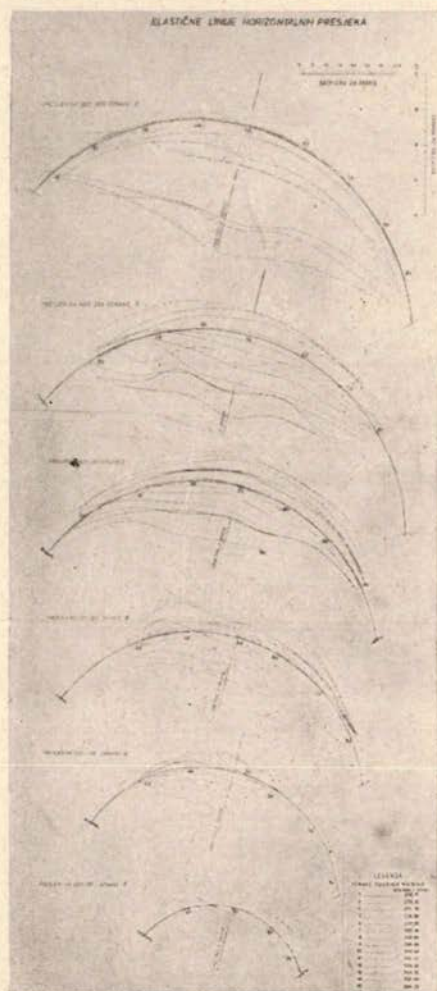
Sl. 17

Izravnavanja mikrotriangulacione i nivelmanske mreže izvršena su po strogim metodama, na posebno izrađenim formularima.

Računanje koordinata i nadmorskih visina svih tačaka mreže, izvršena su do na 0,1 mm, osim za orijentacione tačke, za koje je izvršeno do



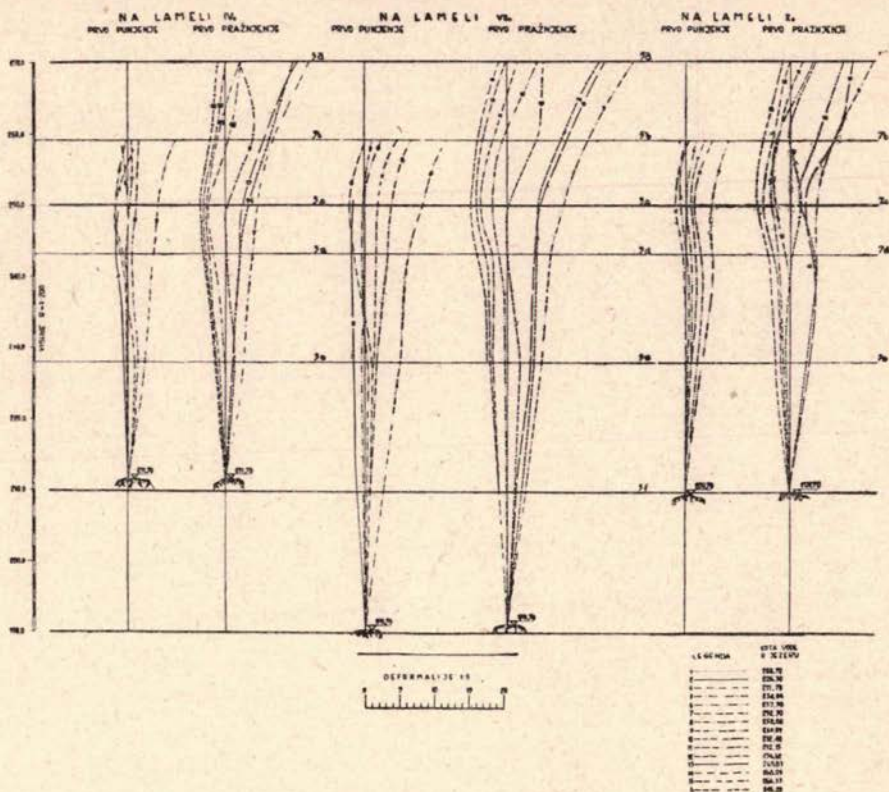
Sl. 18



Sl. 19

na 1 mm. Koordinate su sračunate prvo u lokalnom koordinatnom sistemu, a iza toga i u državnom. Detalji o tim računanjima ovdje su izostavljeni. Za sračunavanja koordinatnih i visinskih promjena izrađeni su posebni formulari, kao i neki konstruisani diagrami i nomogrami, koji se ovdje ne iznose radi obimnosti.

### ELASTIČNE LINIJE VERTIKALNIH PRESJeka



Sl. 20

Rezultati pomjeranja pojedinih tačaka iskazani su u tabelama i u grafičkim prikazima. Ovdje se daju samo neki najglavniji grafički prikazi i to:

Aksometrijski prikaz deformacija za jedan moment punog opterećenja brane (sl. 17)

Trajektorije tačaka po horizontalnim presjecima (sl. 18)

Elastične linije horizontalnih presjeka (sl. 19)

Elastične linije vertikalnih presjeka (sl. 20).

Obrada podataka dobivenih opažanjem fizikalnim metodama ovdje nije prikazana, pošto još nije potpuno završena. Dosadašnji rezultati koje smo dobili pokazuju vrlo dobra podudaranja sa rezultatima geodetskih metoda. Radi potpunog povezivanja i upoređenja ove dvije metode, biće potrebno izvršiti neka manja dopunska mjerenja na terenu.

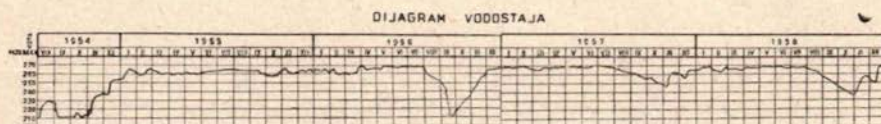
Na kraju prilaže se i diagram vodostaja za godine od 1954 do 1958.

Definitivna interpretacija rezultata još nije izvršena iz navedenih razloga. Za sada se može s naše strane primijetiti, da su dobiveni rezultati u skladu sa onim što se moglo očekivati, izuzev neke manje anomalije na horizontalnom redu na koti 250 m (na brani markirane tačke



Sl. 21

označene slovima c). Nadalje nepravilnost i isprepletenost trajektorija pojedinih tačaka na donja dva horizontalna profila, a djelimično i na trećem -oznake e, f i d, vidi sl. 18), treba dobrim dijelom tumačiti nepouzdanošću odnosno manjom tačnošću rezultata mjerenja, pošto se tu radi o pomacima vrlo malenim, određenim sa strmim vizurama. Namjeravamo kasnije da korigiramo ove rezultate uzimanjem u obzir nevertikalnosti alhidadinih osi u momentu opažanja, pošto smo uzimali potrebne podatke (očitanja stanja mjuhura alhidadine libele). Pomenute nepravilnosti kao i veličine pomaka upućuje i na eventualne minimalne pomake tačaka u lijevom boku brane, što namjeravamo naknadno sa posebnom pažnjom ustanoviti i eventualno upozoriti nadležne organe. Nadalje na-



mjeravamo da ispitamo stanje stajališne tačke I, koja je bila izložena jakom mlazu vode prilikom evakuacije, koja je izvršena 1959 godine, nakon velikih padavina i naglog priliva vode, koju nisu mogli da evakušu organi za normalnu evakuaciju (2 ispusta), nego je ispuštena preko preljeva na brani. Tom prilikom na nekim mjestima odvaljivani su komadi stijena i izdubljeno je korito Neretve.

## V ZAKLJUČAK

Osmatranje brana ima izvanredan značaj za građenje i održavanje kao i za projektovanje budućih objekata. Kao takvo ono mora da postane obavezno, na osnovu zakonskih propisa, koji treba da se donesu što prije.

Metode osmatranja zavise od veličine i tipa brane, kao i od materijala, od kojega se ona gradi. Geodetske metode osmatranja treba primjenjivati na svakoj brani, bez obzira na njen tip i vrstu materijala. Primjena fizikalnih metoda osmatranja zavisi gotovo isključivo od tipa brane, pa ih treba primjenjivati uglavnom na betonskim branama kompletno, a na nasutim branama eventualno samo djelimično.

Osmatranja mogu da vrše samo specijalizirane ekipe dobro uvježbanih geodetskih stručnjaka, kompletirane prema potrebi i drugim stručnjacima. Stručnjaci koji će vršiti osmatranje treba obavezno da učestvuju i pri izradi projekta za osmatranje, eventualno da ga potpuno sami izrađuju. Detaljno izrađeni projekat treba da sačinjava sastavni dio opšteg projekta brane i njenih pomoćnih organa.

Za pravilnu realizaciju projekta osmatranja potrebno je organizovati nadzor u sklopu opšteg građevinskog nadzora, kao i povremeni stručni pregled izvršenih radova.

Za uspješno izvršavanje radova vezanih za osmatranje i obradu podataka, potrebno je donijeti odgovarajuće tehničke propise i tehnička uputstva za rad.