

# NEKE SPECIFIČNOSTI I METODE MJERENJA VISINSKIH KOMPONENTI DEFORMACIJA KOD OSMATRANJA HIDROTEHNIČKIH OBJEKATA

*Mirko PANDŽA — Mostar\**

Mjerenje visinskih deformacija kao oblast tehničkog osmatranja hidrograđevinskih (i drugih) objekata zasniva se na mjerenju visina, ili tačnije, na mjerenju razlika visina pojedinih, u tu svrhu posebno odabranih, kontrolnih tačaka.

Kao takva, ta se oblast u najširem broju slučajeva osniva na, nama geodeta, dobro poznatoj metodi — nivelmanu.

S obzirom na tu okolnost, u članku će se uglavnom tretirati drugi načini visinskih osmatranja (u geodetskoj praksi manje poznati), a za nivelman kao metodu, biće navedene samo neke specifičnosti vezane za ovu specijalnu namjenu.

## A) NIVELMAN U TEHNIČKOM OSMATRANJU

Između »geodetskog« nivelmana (uvjetan naziv) i nivelmana u tehničkom osmatranju postoje dvije, može se reći, bitne razlike:

- u broju mjerenja i
- u polaznoj pretpostavci o tačnosti mjerenja.

U »geodetskom« nivelmanu izvrši se jedno mjerenje (sa ili bez ponavljanja) i takvi rezultati izjednačenjem »uklapaju« u postojeće — dato stanje.

U tehničkom osmatranju vrši se ciklički, u vremenskom nizu, čitava serija pojedinačnih mjerenja jedne te iste veličine, pri čemu se ta mjerenja ne uklapaju ni u kakvo unaprijed dato stanje, jer takvog stanja nema. Izuzev izjednačenja dvostrukih (ili višestrukih) mjerenja, ili izjednačenja u zatvorenom poligonu, drugih izjednačenja u principu i nema.

U geodetskom nivelmanu data stanja se tretiraju bezpogrešnim, a naša mjerenja kao opterećena pogreškama i ta koje treba korigirati. U tehničkom osmatranju praktično je suprotno: Datih stanja nema, naša mjerenja se tretiraju kao bespogrešna, nema izjednačenja (uklapanja u dato stanje), a sva razlika između starog i novog stanja je »pomak«.

Iz istog razloga svaki podatak mjerenja važi kao neprikosnoven i smatra se tačnim sve dotle dok ga drugi (iz ponovljenog mjerenja) eventualno ne pobije.

Bez ovakvog pristupa, povjerenja u podatke i zahtjeva za tačnost tih podataka tehničko osmatranje kao disciplina ne bi imalo polazne osnove.

\* Adresa autora: Miroslav Pandža, dipl. inž., Hidroelektrane na Neretvi, Jablanica n/N.

Dakako da ovu pretpostavku o bespogrešnosti ne treba bukvalno shvatiti i da će trebati redovito uložiti maximum truda da se ta pretpostavka (u realnim granicama) i ostvari. Da bi se to i postiglo trebaće redovito zadovoljiti niz faktora: precizan instrumentarij, izvježban i pažljiv operator, pogodne vanjske prilike, prikladne metode mjerenja sa kontrolama itd. Uglavnom sve ono što vrijedi za precizna mjerenja visoke tačnosti uz poštovanje određenih specifičnosti koje mogu biti različite od objekta do objekta pa i unutar pojedinih objekata.

Znamo da je cilj tehničkih osmatranja višestruk:

- da prati razvoj pojava i stanja objekta kako bi se u svakom momentu imalo uvida u to stanje,
- da na taj način pruži garanciju o bezbjednosti objekta i nizvodnih područja od eventualnih katastrofa,
- da obezbijedi pogonsku sigurnost postrojenja,
- da posluži korisniku kao iskustvo u održavanju, projektantu i nauci kod projektiranja novih objekata, u provjeri ispravnosti raznih računa i ulaznih pretpostavki,
- da otkrije negativne pojave dok su još u začetku i na taj način najlakše i najjeftinije »zaliječive«.

Upravo iz ovog posljednjeg razloga od tehničkog osmatranja se u većini slučajeva traži obezbjeđenje maximalne moguće tačnosti.

U tom pogledu klasičan nivelman ne može uvijek zadovoljiti. Osim toga, zbog svoje specifičnosti da mu je primjena moguća samo na pristupačnim, površinskim dijelovima objekata (ili tla) ovu metodu u kontroli deformacija visinskog smjera sve više nadopunjuju druge, za tu svrhu prikladnije i preciznije metode. Općenito se može reći da je precizni nivelman visoke tačnosti uspješno primjenjiv i da zadovoljava po tačnosti, za osmatranje tla u području brana i, u izvjesnim slučajevima za osmatranje brana (vlakovi na površini — odnosno kruni brane). Na nasutim branama i klizištima, ukoliko osmatranje treba da da samo veličine slijeganja ili klizanja, dovoljan je i običan tehnički nivelman normalne tačnosti. Ako se pak od tog osmatranja traže detaljniji uvidi u stanje stvari kao: prirasti slijeganja za kraće vremenske periode, prirasti slijeganja u vremenu poodnokle konsolidacije, razdvajanje veličina slijeganja u sušnim periodima od istih veličina u kišnim periodima, ispitivanje elastičnog ponašanja nasipa kod opterećenja i rasterećenja, tada će opet biti potrebno primijeniti precizni nivelman. U takvim slučajevima, u stvari, osmatranje poprima karakteristike istraživanja, gdje obična tačnost nije više dovoljna.

Trigonometrijski nivelman se upotrebljava samo u onim slučajevima gdje druge mogućnosti kontrole nema. (Za nepristupačne tačke, za osamljene tačke radi kojih se ne bi isplatilo vući duže vlakove, za zatvaranje visinskih poligona preciznog nivelmana preko rijeka ili akumulacija da bi se dobila bar nekakva kontrola mjerenja.) Kao metoda osmatranja je nepopularan zbog kompliciranog izračunavanja veličine pomjeranja. Radi se, naime o tome da je visinski pomak redovito praćen i horizontalnim pomakom čiju veličinu treba također znati da bi se sračunala vertikalna komponenta ovom metodom.

Po tačnosti je ispod tačnosti preciznog nivelmana. Sa Wild T-3 instrumentom u prosječno povoljnim okolnostima u serijskom mjerenju postižemo tačnost do 1 mm/100 m. Uz posebne uslove postižemo i nešto bolje rezultate.



## B) OSTALE METODE

### 1. Hidrostatski nivelman

Metoda mjerenja na principu spojenih posuda. Izgled instrumenta, sastavni dijelovi i način rada poznati su iz školske literature.

S obzirom na veoma veliku tačnost (podatak očitavanja je 0,01 mm i svoje specifičnosti, nalazi sve veću primjenu u tehničkom osmatranju. Kao metoda posebno je pogodna u podzemlju ili unutar objekata) u horizontalnim galerijama ili prostorijama pri kontroli ponašanja temeljnih stijena ili samih objekata.

Povoljna okolnost za ovu metodu u takvim prostorijama je veoma konstantna temperatura, a ne smetaju joj, za razliku od geomet. nivelmana, uzak prostor, slaba vidljivost, kratki i izlomljeni pravci itd. U krajnjem slučaju, ako se cijevi ugrade u beton, mogu se mjeriti i potpuno odvojena i međusobno nepristupačna mjesta. Jedina osobina koja ovu metodu donekle ograničava je mala veličina visinske razlike koju može u jednom mjerenju savladati — samo 0,1 m.

Iz relativno kratkog iskustva kojeg imamo sa ovom metodom mjerenja (primijenjena u galeriji na lijevoj obali pregradnog mjesta HE Salakovac za osmatranje temeljne stijene — kasnije će kroz branu biti povezana sa desnom obalom), možemo reći slijedeće:

- uz primjenu obostranih mjerenja (zamjena vaga na reperima) i odzračnog crijeva moguće je postići veoma visoku tačnost mjerenja — svakako unutar 0,05 mm po jednoj visinskoj razlici,
- ako se vaga prenosi pažljivo i sa zatvorenim slavinama, dovoljno je 3 — 5 minuta za umirenje nivoa vode nakon namještanja vage i otvaranja slavina i to pri upotrebi crijeva za raspon do 30 m,
- pri mjerenju posebno treba paziti da ni slučajno koja kapljica vode ne dođe u odzračno crijevo i ispuni mu cijeli profil, jer u tom slučaju, zbog otpora koje ta voda u malom profilu odzračnog crijeva pruža, vrlo teško, skoro nikako ne može doći do izjednačenja nivoa u obje vage što čini mjerenja pogrešnim. Ako se tako nešto dogodi, potrebno je tu vodu sa jakim pritiskom zraka istjerati,
- isto tako treba paziti da se u crijevu za vodu ne nađe ni jedan mjehur ili zračni čep ma kolike veličine,
- instrument zbog kojekakvih »skokova« u čitanju — za sad nepoznata porijekla (vjerovatno od potresa u transportu) daje dobre rezultate tek u obostranim mjerenjima (zamjena mjesta vaga),
- električni uređaj za identifikaciju momenta kontakta nije neophodan i nema nikakva utjecaja na tačnost čitanja podataka. Na našem instrumentu firme Freiberg iz Nj.D.R. neispravan je skoro od samog početka.

### 2. Sistem teleskopskih cijevi

Ovaj je sistem u praksi poznatiji po imenu Crossarm (iz engleskog jezičnog područja). Na njemačkom se zove: mechanische setz messanlage, a na talijanskom: assestimetri a braccia. To je sistem (uređaj) koji omogućuje mjerenje

slijeganja unutar nasutih brana uzduž vertikalnog (inače nepristupačnog) pravca po cijeloj visini nasipa. Princip uređaja sastoji se u slijedećem: Za vrijeme izgradnje nasipa, uporedo sa napredovanjem nasipanja, ugrađuju se naizmjenice nastavno jedna na drugu — jedna uža cijev ( $\varnothing 2''$ ) i jedna šira ( $\varnothing 2,5''$ ) kod čega je svaka druga (svaka uža) opremljena jednim križnim komadom (rukom), koji ima svrhu da tu cijev što intimnije poveže sa nasipom. Vidi detalj sa slika 1b i 2a.

Veličina ovih cijevi zavisi od željene gustine tačaka čije slijeganje hoćemo pratiti — obično ovisno o debljini slojeva nasipanja. Princip mjerenja sastoji se u tome da se kroz ovako nastavljene cijevi, sa vrha, kojem se kota unaprijed odredi, uvlači specijalno torpedo obješeno na mjernoj traci — vidi sliku 2b. Torpedo (slika 2c) je građeno tako da ima mala krilca sa bokova koja zapinju od donju ivicu svake uže cijevi kada se ono povlači prema gore. Postupak mjerenja je slijedeći: Torpedu se prije početka uvlačenja oslobode krilca i polako se uvlači — spušta (pomoću koloture ili iz ruke) u cijev dok se ne čuje »klik«.

Kad se taj zvuk čuje, znak je da je torpedo prošlo kroz užu cijev u širu. Tad se pantljika polako povlači nazad dok krilca ne zapnu o donju ivicu te uže cijevi. U tom momentu se na indeksu koloture ili vrhu cijevi (ako se mjeri iz ruke) očitava pantljika i ponovo spušta do prolaza kroz narednu užu cijev kada se postupak ponavlja.

Kad torpedo dođe do dna cijelog sistema, pusti se da jače udari o dno da bi mu se zatvorila krilca i moglo se nesmetano izvući van.

Princip mjerenja, kako se vidi, jako je jednostavan, a daje mogućnost uvida u ponašanje inače sasvim nepristupačnih tačaka. Kod mjerenja je posebno važno paziti da gornja površina krilaca torpeda bude »nula« pantljike. Ako nije, to se vrlo lako podešava ili uzima korekcija u račun.

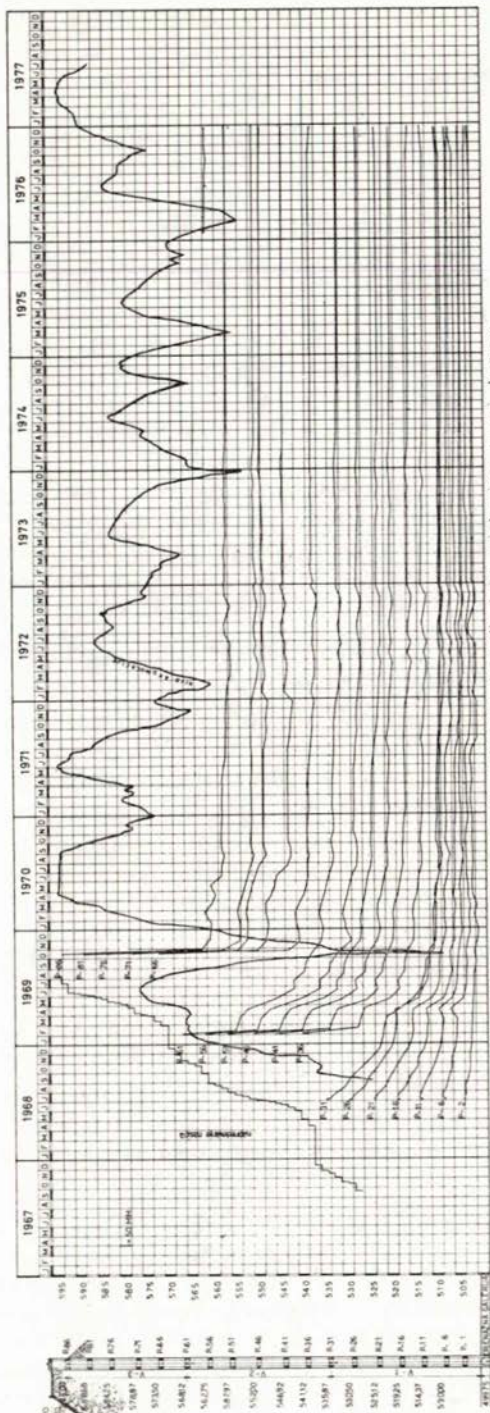
Tačnost ovih mjerenja zavisi od kvaliteta torpeda, obrade donjih površina užih cijevi i pantljike. Ako je to troje zadovoljeno, s obzirom na vrlo konstantnu temperaturu unutar nasipa, dobiće se veoma precizni rezultati — unutar 2 — 3 mm.

Na slici 1b prikazani su rezultati slijeganja na dvije teleskopske cijevi (Cros-sarma) TC 1 i TC 2, na brani HE Rama. Crtkano su predstavljeni rezultati na TC 2. Prekid mjerenja u 1974. godini nastao je zbog zaglavljenja cijevi od strane nepoznatog počinioaca. Na slici su, iz praktičnih razloga, prikazane linije slijeganja samo za svaku drugu cijev u nizu.

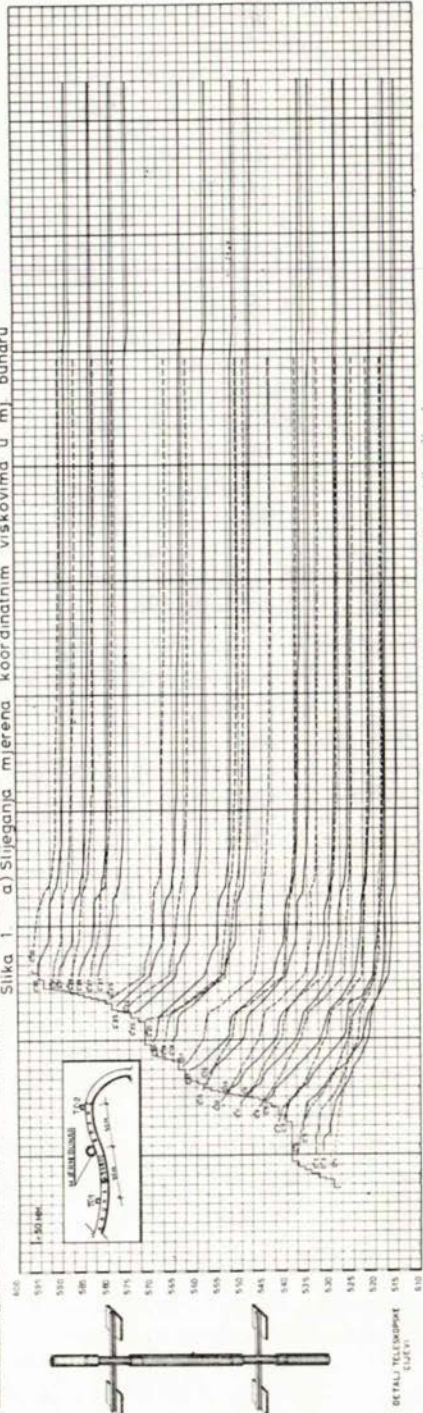
Cijeli uređaj je, izuzev pantljike, moguće napraviti u svakoj iole bolje opremljenoj radionici. Inače, u zemlji ga proizvodi Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi« iz Beograda.

Sličan ovom mehaničkom uređaju postoji i električni. Kod ovog, električna sonda u prolazu kroz plastičnu cijev reagira prilikom prolaza kroz metalne ploče ugrađene u nasip oko plastičnih cijevi na određenim razmacima. Ovaj se uređaj ne može nabaviti u zemlji, ali ga proizvode svi poznatiji proizvođači oskultacione opreme iz inozemstva. Prema prospektima tačnost mu je oko 1 cm, a ima ih, prema reklamama pojedinih proizvođača i tačnosti od  $\pm 1$  mm. Način čitanja podataka u ovom slučaju može biti dvojak: preko pantljike (uređaj firme Huggenberger) (sl. 3a) ili potpuno elektronski — digitalno.

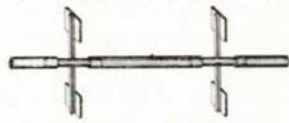




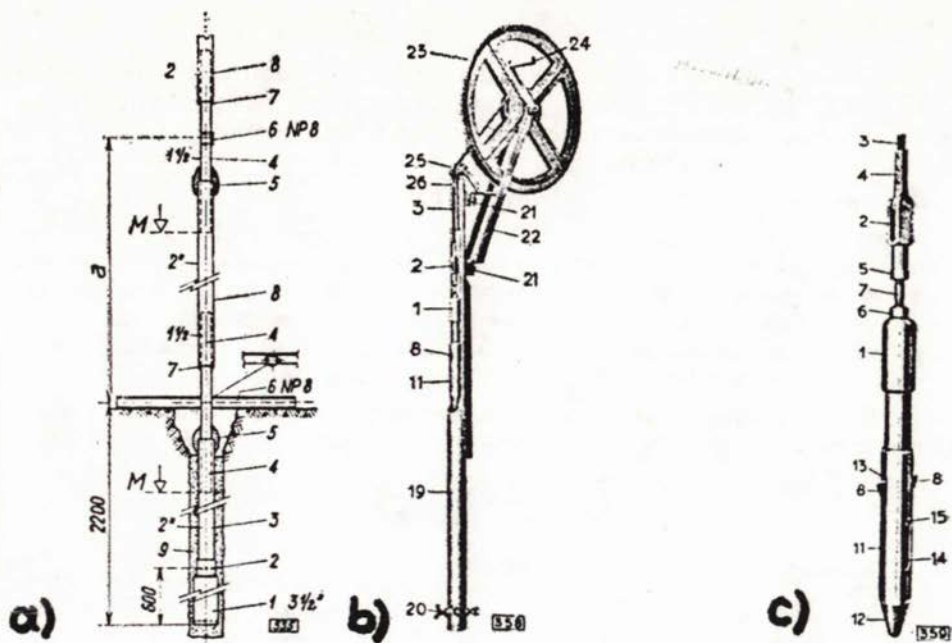
Slika 1 a) Slijeganja mjerena koordinatnim viskovima u m; bunaru



Slika 1. b) Slijeganja mjerena sistemom teleskopskih cijevi



RETAJI TELESKOPSKI  
SISTEM



Sl. 2. a) Sistem teleskopskih cijevi. b) Kolotura sa torpedom i c) Torpedo

### 3. Sistem jednakih vodnih nivoa

Ako je, slično kao u slučaju teleskopskih cijevi, potrebno pratiti slijeganje niza tačaka poredanih po jednom (približno) horizontalnom pravcu (ili pak usamljenih — pojedinačnih) slučaj se rješava na slijedeći način: U tijelo nasipa (ili beton) brane ugradi se niz uređaja prikazanih na slici 4. Izvodi svih njih vežu se vani (zavisno od potrebne preciznosti) na šlahu vagu ili običnu izbaždarenu staklenu cijev na kojoj se nivo vode može očitati. Postupak mjerenja je slijedeći:

U uređaj se pomoću slavine kroz srednju cijev na slici pušta voda sve dotle dok se ta voda ne pojavi van na odvodnu cijev. Kad se na odvodnoj cijevi pojavi voda, zatvori se dotok iz slavine i sačeka dok se nivo u staklenoj cijevi vani ne umiri. Kad se to postiglo, znak je da je nivo u cijevi jednak nivou vrha unutrašnje posude uređaja (nivou preljevanja), što se onda izmjeri (poveže na nivelman). Treća cijev služi za izjednačenje pritiska zraka (kao kod šlahu-vage).

Postupak je teoretski jednostavan, ali je u praksi spojen sa nizom teškoća. Nije mi poznato da je gdje u zemlji primijenjen. I ovaj način mjerenja može biti automatiziran sa telesistom očitavanja i time sam postupak mjerenja pojednostavljen.



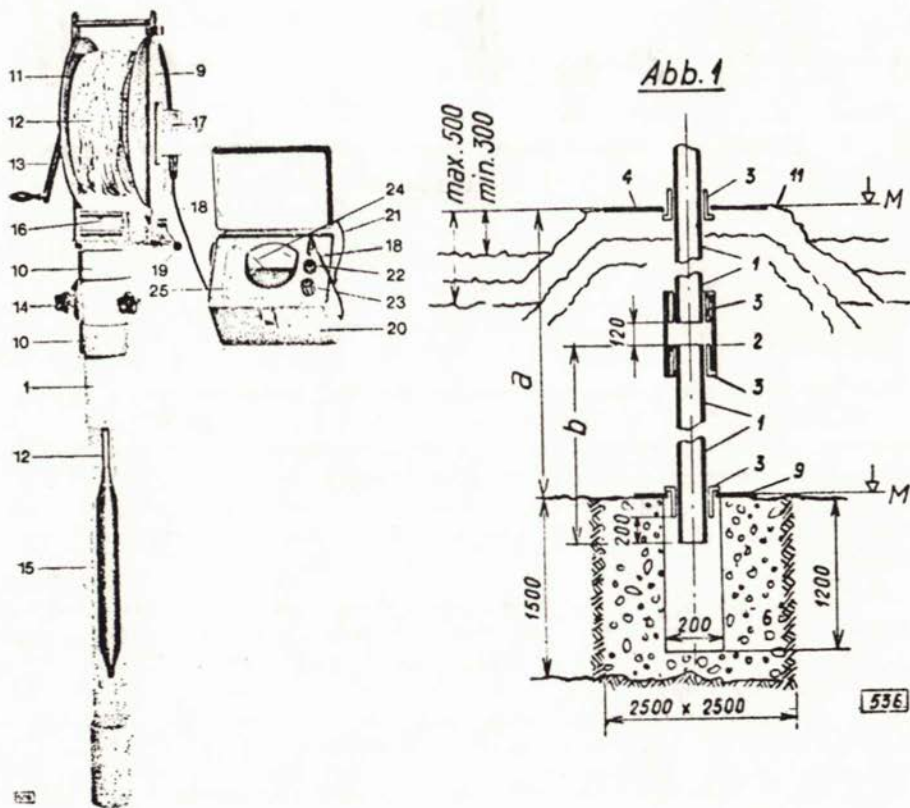
#### 4. Ekstenzometri

Za mjerenje slijeganja ili visinskih deformacija naročito kod velikih hidrograđevinskih objekata sve češća je praksa da se prati ponašanje temelja (brana) i stijene u neposrednom njenom okolišu u odnosu na stijensku masu u dubljim slojevima ispod objekata (brana).

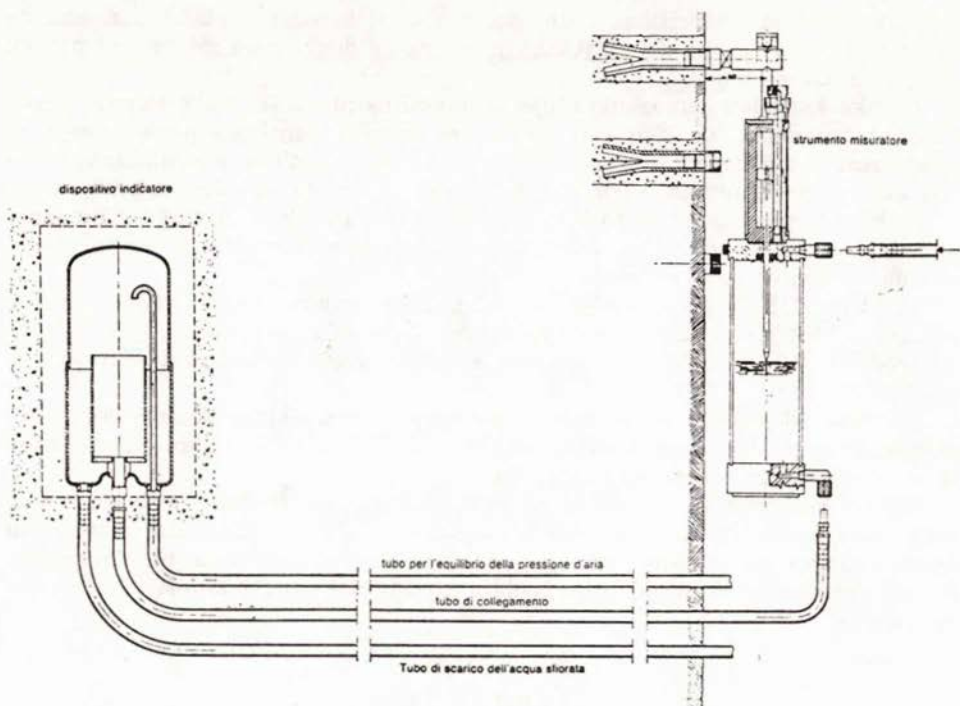
Ova se mjerenja ostvaruju na slijedeći način:

Iz odgovarajuće galerije u brani ili njenoj neposrednoj blizini buši se bušotina u dubinu (može i horizontalno) nekad čak i po nekoliko desetina metara — zavisno od geologije. Na kraju te bušotine ankeriše se mjerna šipka (ili žica) koja se izvodi do mjerne ploče u galeriji. Princip mjerenja sastoji se u tome da se sad mjere rastojanja između vrha šipke (ili oznake na napetoj žici) i indeksa ili plohe na mjernoj ploči učvršćenoj u beton brane.

Razlika tih dužina je deformacija stijene na potezu između ankera štapa i mjerne ploče. Ako se u tu istu bušotinu ugradi više takvih ekstenzometara



Sl 3 Električni uređaj za mjerenje slijeganja u crossai sistemu firme Huggenberger



Slika 4. — Sistem jednakih vodnih nivoa

različite dužine, što je moguće, onda se iz razlike pojedinih podataka može izvršiti lokalizacija mjesta deformiranja. Ovaj mehanički način prenošenja deformacija može se očitavati mehanički (određenim tipovima mikrometara) ili električki — digitalno sa tačnošću u oba slučaja do na 0,01 mm, dakle, veoma precizno.

Tri ovakva uređaja, dva trostruka i jedan dvostruki ugrađeni su u galeriju pregradnog mjesta HE Salakovac, sa dubinama bušenja do 80 m. Danas već na ovom principu postoje električni uređaji koji unutar jedne bušotine mogu dati rezultate ponašanja vrlo gustog niza tačaka (na primjer na svaki metar razmaka) što daje svakako daleko kompleksniji uvid u stanje temeljne stijene.

### 5. Koordinatni visak

Koordinatni je visak inače naprava kojom se uglavnom mjere horizontalne komponente pomaka (kod betonskih brana), ali je moguće mjeriti i treću komponentu (relativna) slijeganja — što dolazi u obzir samo kod nasutih brana. U ovom posljednjem slučaju cijeli uređaj se ugrađuje u vertikalni šaht ostavljen u nasipu u svrhu raznih mjerenja — zbog čega se vrlo često i zove mjerni bunar.

Da bi mjerni bunar bio reprezentant brane (riječ je o nasutim branama i mjerenju slijeganja), mora biti izgrađen tako da se ponaša potpuno isto kao i okolni nasip. To se postiže tako da se bunar gradi od betonskih prstenova koji



su takvog oblika i specifične težine da, ugrađeni u nasip, »lebde« u njemu ne oslanjajući se jedan na drugi. (Uzina prostora ne dozvoljava mi da ovu pojavu detaljnije obrazložim).

U tako izgrađen bunar ugrađuje se koordinatni visak. Za mjerenje vertikalne komponente, uz žicu viska vješa se mjerna pantljika pomoću koje se mjere rastojanja između objesišta viska i svakog pojedinog koordinatnog žičanog križa u prstenovima. Koordinatni križevi su obično ugrađeni u svaki drugi ili svaki peti prsten, jer bi ih bilo previše da su u svakom prstenu. Slijeganja se dobiju iz razlika dužina u početnom i nekom ponovljenom mjerenju, vodeći računa o promjeni kote objesišta.

Na brani HE Rama izgrađen je jedan takav mjerni bunar visine cca 100 metara. U njemu su ugrađena (po visini) 3 koordinatna viska — na sl. 1a označeni sa V1, V2 i V3. U osmatranje su uključeni samo svaki peti prsten: P1, P6, P11 itd.

Rezultati slijeganja su prikazani na istoj slici u obliku vremenskih dijagrama. Malo neobičan oblik dijagrama za V2 i V3 u 1969. godini dolazi otuda što su predstavljena sumarna slijeganja.

Što se tiče tačnosti mjerenja na našim uređajima možemo reći da nismo zadovoljni. Oscilacije u dijagramima naročito u 1970. i 1972. godini rezultat su čestih kvarova na uređaju i promjeni opažača. Ova mjerenja su inače skopčana sa vrlo velikim fizičkim naporom prolaza kroz bunar i prilično lošim komforom pri mjerenju.

#### L I T E R A T U R A

1. Glavni projekti osmatranja tla i brana HE Rama i HE Salakovac — Energoinvest, Sarajevo.
2. Prospekti firme »Galileo«, Milano, Italija.
3. Prospekti firme »Huggenberger«, Švicarska.
4. Prospekti firme »Interfels«, Austrija, SRNJ.
5. Prospekti firme »Telemac«, Pariz, Francuska.
6. Prospekti firme »Maihac«, Hamburg, SRNJ.