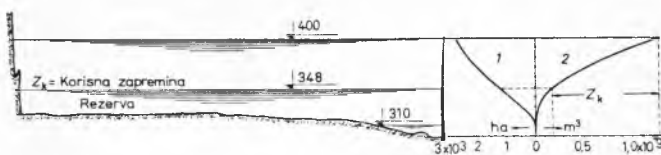


potrebnih tehničkih mjera osiguranja. Ta istraživanja moraju biti naročito obimna u kraskim terenima, gdje treba primijeniti odgovarajuće geofizičke metode, da bi se sa što manjim sred-



Sl. 36. Uzdužni presjek po uzdužnoj osi akumulacionog bazena na Trebišnjici. 1 linija potopljenih površina, 2 linija zapremine akumulacije. Korisni prostor između kota 348 i 400 iznosi 1100 miliona m³. Moguće je pražnjenje bazena do kote 310 kroz desni temeljni ispušt. Rezerva koja se može iskoristiti u nizvodnoj stepenici «Dubrovnik» u vrlo sušnoj godini iznosi 160 miliona m³

stvima mogla obuhvatiti što šira prostranstva. Studije treba također da obuhvate svu ekonomsku problematiku u vezi sa potapanjem područja i preseljenjem stanovništva, kulturnih spomenika itd.

Rušenje brana

U proteklih 150 godina srušilo se u Americi oko 110 brana, od čega je 65% bilo nasutih. U Evropi i Sjevernoj Africi ovaj je broj manji i iznosi 12. Sva rušenja obično prate veće ili manje katastrofe. Zemljane brane mogu se srušiti uslijed prelijevanja vode preko brane, zbog filtracije, deformacije tla ili grešaka pri građenju, a gravitacione brane uticajem uzgona, erozijom temelja uslijed filtracije, zbog ponicanja tla, loma u tlu ili uslijed grešaka pri građenju. Neke brane rušile su se uslijed prelijevanja ili grešaka u fundiranju. U našoj blizini poznata su rušenja brane Gleno u Italiji (višelučna brana), 1923, zatim 1935 brane Molare, također u Italiji, 1959 brane Vega de Tera u Španiji (višelučna i olakšana) i brane Malpasset u Francuskoj krajem iste godine. Prema jednoj statistici (Gruner) uzrok rušenja je u 40% slučajeva lom u temelju, u 23% slučajeva nedovoljan kapacitet preljevnih organa, u 12% slučajeva nedovoljne dimenzije brane, a u 10% slučajeva neravnomjerno slijevanje. Drugi uzroci doveli su do rušenja brana u 15% slučajeva.

Rušenje brane se može spriječiti ako se pravovremeno osmatranjem (auskultacijom) utvrde poremećaji. Naime, ako se pravovremeno uoči opasnost, može se prisilno isprazniti jezero, kroz temeljni ispušt ili na drugi način, i time ublažiti katastrofa, a eventualno i sačuvati objekt, s time da se kasnije otklone uzroci. O osmatranju brana v. *Brane, osmatranje*.

Katastrofe mogu izazvati i velika klizišta u jezeru, kao što se to dogodilo na brani Vaiont 1963. g. Uslijed urušenja goleme mase brda, val istisnute vode prešao je preko brane i potpuno je uništio gradić Longarone. Brana je ostala čitava.

LIT.: W. P. Creager, J. D. Justin i J. Hinds, Engineering for dams, 3 vol. New York 1945. — C. V. Davis, Handbook of applied hydraulics, New York 1952. — F. Contessini, Dighe e traverse, Milano 1953. — P. Tölke, Talsperren, Berlin, 1953. — M. M. Грышун, Гидротехнические сооружения, ч. I, Москва 1954.

S. Mikulec

BRANE, OSMATRANJE. Pod nazivom »osmatranje (auskultacija) branâ« razumijeva se skup svih mjerenja i opažanja koja služe za utvrđivanje ponašanja brana i stijena na koje se brane oslanjaju, tj. pomaka, deformacija i napona koji u njima nastaju za vrijeme gradnje i eksploatacije brana.

Nagli razvoj izgradnje brana početkom XX stoljeća pratili su manje ili veće katastrofe zbog nedostatka realnih teorijskih postavki pri proučavanju tih objekata. Za graditelje brana ranijih generacija brane su bile objekti bez života, nepomični. Napredak u primjeni materijala u građevinarstvu i težnja za sve smjelijim konstrukcijama pokazali su, međutim, da brane žive životom koji treba da bude osmatran i izučavan. Tako je osmatranje brana počelo redom u zemljama gdje su se brane najviše gradile: u Njemačkoj (1914), Švajcarskoj (1916), USA (1916), Italiji (1927), SSSR (1930) itd.

Svrha je osmatranju brana osiguranje od iznenadnih opasnih pojava na objektu i zaštita nizvodnog područja od katastrofe. Dobijanje potrebnih podataka omogućuje racionalno održavanje brana u toku eksploatacije i pridonosi prikupljanju iskustva u cilju unapređenja izgradnje brana. Sistematska kontrola ponašanja brana omogućuje da se pravovremeno preduzmu mjere radi izbjegavanja eventualnih neugodnosti i da se izbjegne mogućnost većih oštećenja.

Ponašanje brana posljedica je djelovanja mnogostrukih uzroka, koji mogu biti nezavisni ili jedni od drugih zavisni. Njihovo

istovremeno djelovanje otežava utvrđivanje izravnih odnosa između uzroka i posljedica.

Da bi se riješili zadaci koji se postavljaju, osmatranje brane mora biti sistematsko i opširno. Ukoliko se promjene zbivaju unutar projektom predviđenih granica, može se osmatranje s vremenom sve više sužavati.

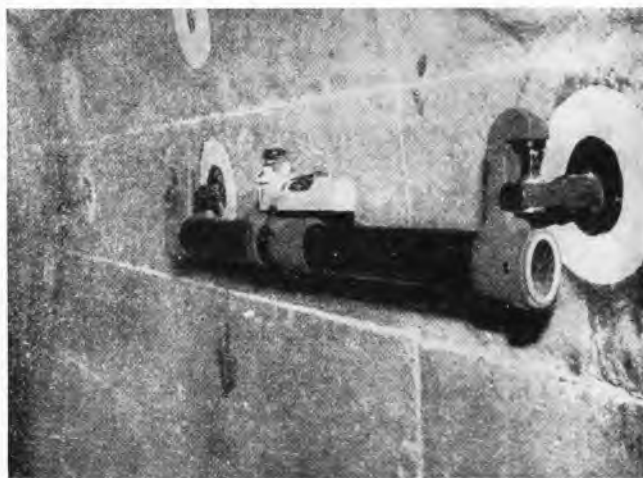
Potrebni elementi za utvrđivanje realnog ponašanja brana i stijena na koju se oslanjaju mogu se obuhvatiti trima grupama mjerenja. Prvu grupu čine mjerenja i opažanja veličina koje predstavljaju uzroke: meteorološke prilike, hidrostatsko opterećenje, uzgon, vodne toplotne struje, temperatura vezanja betona, seizmološka djelovanja (makro- i mikro-potresi), geološke i geotehničke karakteristike terena. Drugu grupu čine mjerenja veličina koje predstavljaju posljedice (učinke): pomaci, deformacije i naponi. Treću grupu čini kontinuirana kontrola fizičkih i kemijskih osobina materijala od kojih je izrađena konstrukcija i teren u temeljima. Ta klasifikacija je uslovna jer, npr., neka mjerenja prve grupe mogla bi se razvrstati i u drugu grupu, kao ponašanje terena, ili u treću grupu, kao temperatura vezanja betona.

Metode osmatranja mogu se podijeliti u pet velikih grupa: 1. mehaničke i optičke, 2. električke i elektroakustičke, 3. geofizičke, 4. specijalne fizičke i 5. geodetske metode osmatranja.

MEHANIČKE I OPTIČKE METODE OSMATRANJA

Mehaničke i optičke metode osmatranja obuhvaćaju mjerenja sa direktnim očitanjem vrijednosti pomaka, deformacija i uzgona na pristupačnim tačkama. Gradilišne prilike nameću potrebu stalnog usavršavanja i razvoja instrumenata kojima se ta mjerenja obavljaju; ovdje se prikazuju samo oni koji danas imaju najširu upotrebu.

Klinometar je instrument koji služi za precizno mjerenje kutnih promjena nagiba, a osniva se na jako osjetljivoj libeli čijim se pomjeranjima upravlja s pomoću mikrometrijskog vijka. Postavlja se na čvrsto uzidane fiksne baze, pojedinačne ili u obliku lanaca (sl. 1). Mjerenja se izvode na pristupačnim tačkama brane,

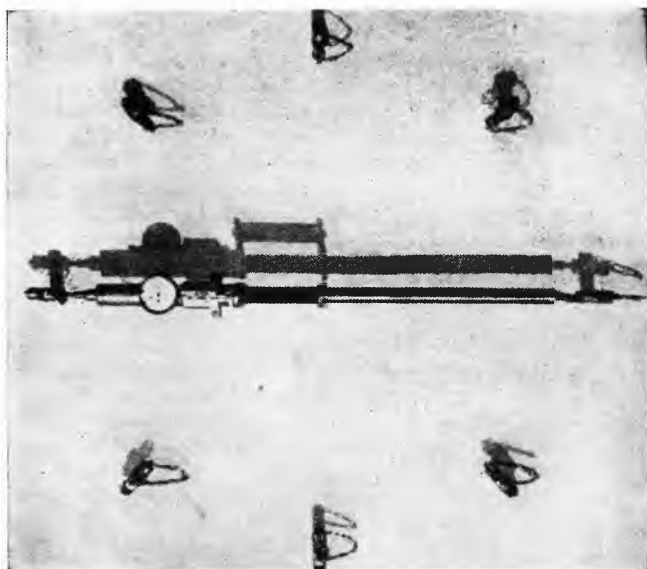


Sl. 1. Klinometar

a upotpunjuju se mjerenjima alineatorom i koordinatnim viskom. Ukupni pomak u kruni brane dobija se kao suma pomaka mjerenih na različitim kotama.

Deformetar. Za mjerenje deformacija i relativnih pomaka izrađuje se specijalni prenosni deformetar, koji mjeri promjenu udaljenosti između dva odvojena metalna trajno ugrađena ležaja. Tim instrumentom mogu se mjeriti pojedinačne — lokalne ili grupne — i ukupne deformacije duž određenog pravca na brani (sl. 2). Posredstvom modula elastičnosti betona brane mogu se izračunati vrijednosti površinskih napona. Uslijed uticaja dnevnih temperaturnih promjena, površinski naponi mogu biti osjetno različiti od napona u masi. Mjerenja se obavljaju u posebnim kontrolnim hodnicima i na pristupačnim tačkama na tijelu brane.

Deformetrom se može mjeriti naponsko stanje u stijeni i određivati Poissonov koeficijent, a on služi i za kontrolu otvaranja spojnica (fuga).



Sl. 2. Prenosni deformetar

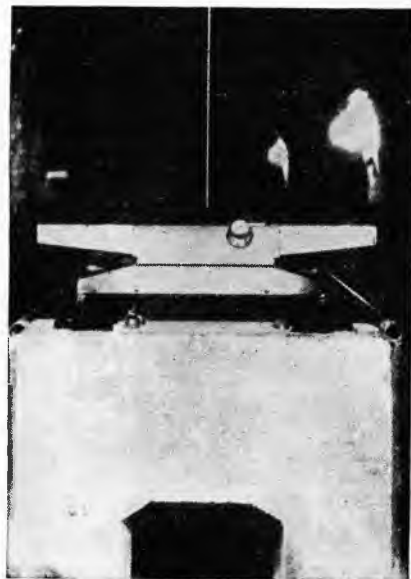
Koordinatni visak. Mjerenje koordinatnim viskom spada u grupu jednostavnih ali vrlo sigurnih metoda za kontrolu pomaka tačaka na tijelu i kruni brane u odnosu na temelje. Ovom metodom mjere se relativni pomaci izabranih tačaka u horizontalnoj ravnini brane, poredanih duž vertikalnog pravca koji je određen vertikalnom niti obješenom u tački na kruni brane i zategnutoj prema temeljima pomoću utega. Posebnim instrumentom — *koordinimetrom* — mjere se relativni pomaci vertikalne invarske niti promjera 1 mm u odnosu na stajališnu tačku instrumenta (sl. 3).

Postoji više tipova instrumenata; najviše je u upotrebi optički mjerač koordinata u horizontalnoj ravnini. Optička shema takvog koordinimetra stvara pravokutni trokut jednakih stranica čija je osnovica hipotenuza trokuta i poklapa se sa mjernom bazom instrumenta; vrh trokuta upravlja se na osmatranu tačku. Instrument je podešen i za snimanje vertikalnih pomaka osmatrane tačke. Pri tom treba voditi računa o varijaciji dužine invarske niti uslijed temperaturnih promjena.

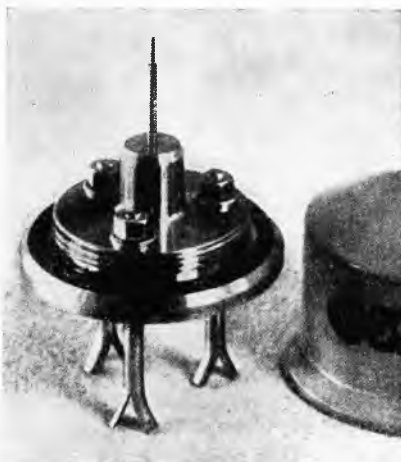
Koordinimetar služi općenito za snimanje koordinata pomaka bilo koje tačke. U tu svrhu izrađuju se posebni nišani (sl. 4).

(Tačke koordinatnog viska na kruni brane normalno se kontroliraju i geodetskim metodama osmatranja.)

U posljednjim godinama sve više nalazi primjenu sa moreregistrirajući koordinimetar sa daljinskim prenosom, kao i koordinimetar sa fotografskom registracijom nastale promjene koordinata.



Sl. 3. Koordinimetar



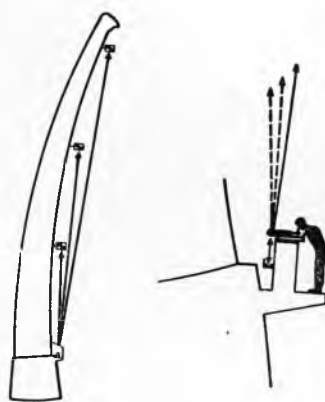
Sl. 4. Nišan koordinimetra

Vertikalni kolimator je instrument koji mjeri pomake duž nekog zamišljenog pravca u vertikalnoj ravnini, a sastoji se od jednog durbina sa osvijetljenim mikrometrom. Pomaci se mogu mjeriti od krune brane prema dnu i obrnuto. Prikladan je za mjerenje na teško pristupačnim tačkama (sl. 5).

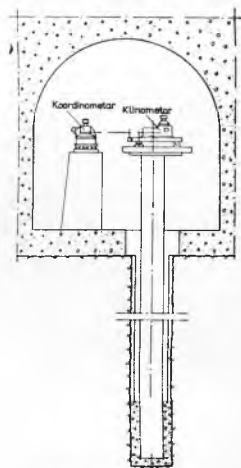
Slitometar. Pomaci stijene u temeljima u odnosu na tijelo brane mjere se posebnim sistemom pomoću koordinimetra i klinometra; ovaj sistem poznat je pod imenom slitometar (sl. 6).

U stijeni ispod temelja izbuši se bušotina odgovarajuće dužine, \varnothing 300 mm, i zaštiti se posebnom cijevi. Na njenom dnu usidri se čelična cijev \varnothing 200 mm na čiji se gornji dio, koji izlazi u kontrolni hodnik brane, postavljaju nišan za koordinimetar i ležaji za klinometar. Cijev služi kao stup koji prenosi pomjeranja sidrišne tačke u stijeni temelja. Koordinimetrom se mjere dvije ortogonalne koordinate relativnog pomjeranja u horizontalnoj ravnini i treća u vertikalnom pravcu. Klinometar daje promjene nagiba, to jest rotaciju tačke sidrišta cijevi. Mjerenja slitometrom od velikog su značaja za ocjenu ponašanja stijene u središnjem dijelu temelja brane. Ona se obično izvode uporedo sa mjerenjima koordinatnim viskom u tjemenoj konzoli (v. sl. 40 i 41).

Temeljne žice i trake. Ovaj sistem za mjerenje sastoji se od jedne invarske žice ili trake zategnute između tačke na dnu bušotine, u stijeni ispod temelja ili izvan temelja brane, i pristupačne tačke u tijelu brane. Tačka sidrenja u stijeni određuje dužinu žice ili trake. Ona mora biti na takvoj udaljenosti od temeljne plohe da se može smatrati praktično nepomičnom. Pri-



Sl. 5. Vertikalni kolimator



Sl. 6. Slitometar

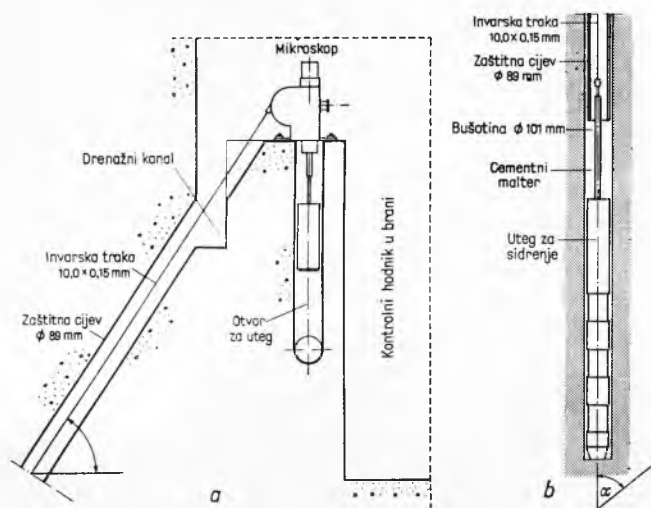
kladni mjerni uređaj, kao što je na primjer mikroskop sa nonijusom, omogućuje očitavanje relativnih pomaka sa tačnošću 0,1...0,2 mm (sl. 7).

Postoji više različitih sistema koji se osnivaju na istom principu. Prve mjerne trake izrađene su za mjerenje vertikalnih pomaka, a

predložio ih je prof. Terzaghi. Danas se temeljnim žicama ili trakama mogu mjeriti horizontalni pomaci i pomaci pod nagibom.

Pogodnim smještajem u izabranim profilima dobijaju se rezultirajući pravci pomaka i njihove veličine (v. sl. 41). Rezultati mjerenja temeljnim žicama i trakama jako su važni za pravilnu ocjenu ponašanja stijene u različitim dijelovima temelja brane. Na osnovu ovih mjerenja mogu se razdvojiti elastične od plastičnih deformacija stijene. Pri obradi rezultata mjerenja treba uzeti u obzir termičke varijacije pomoću koeficijenata termičke dilatacije, koji je za invar $1 \cdot 10^{-6}$ (~ 10 puta manji nego za čelik).

Temeljne poluge imaju sličan osnovni princip kao temeljne žice i trake, samo što se umjesto ovih upotrebljava cijev određenog dijametra. Za mjerenje relativnih pomaka između dvije prikladno odabrane tačke služi komparator čija je tačnost čitanja $\pm 0,1$ mm.

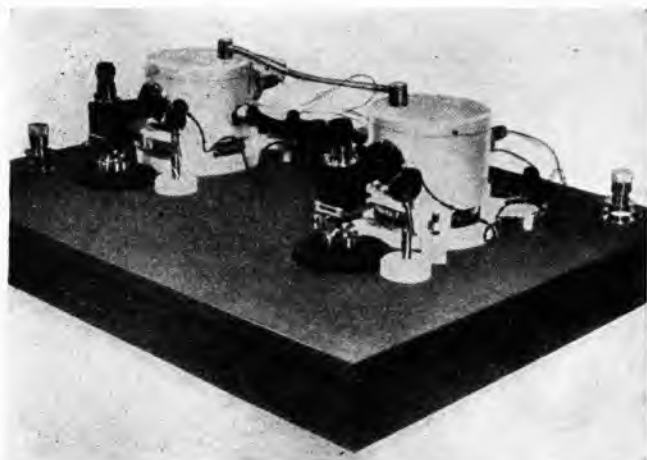


Sl. 7. Temeljna traka na brani Grančarevo

Deformirajuća cijev. Za pronalaženje ravnine klizanja, tj. ravnine duž koje dolazi do pomicanja stijenske mase, upotrebljava se naročita savitljiva čelična cijev, kojom se oblaže bušotina u stijeni ispod ili izvan temelja brane. Specijalnim instrumentom sa foto-grafskom registracijom na principu kompasa i klinometra mjeri se azimut i otklon od vertikale. Tačnost mjerenja kuta nagiba kreće se oko $0,1^\circ$ a azimuta oko $0,5^\circ$. Za mjerenje otklona može se također upotrijebiti elektro-akustični klinometar sa daljinskom registracijom.

Hidro-nivelmanski instrument radi na principu spojenih posuda, a sastoji se od dva suda napunjena destiliranom vodom i spojena posebnom cijevi određene dužine. Pomoću mikrometra i mikroskopa opažaju se promjene nivoa vode uslijed deformacija podloge na kojoj instrument počiva, bilo da se radi o tijelu brane ili o stijeni u temeljima (sl. 8). Tačnost čitanja instrumenta je velika i kreće se oko $\pm 0,004$ sekunde na 25 m vodovodne cijevi. U toku namještanja instrumenta i mjerenja potrebne su posebne mjere opreznosti, jer na promjenu nivoa vode u posudama osim deformacija podloge mogu uticati i promjene temperature i atmosferskog pritiska, a također insolacija, plima i drugi elementi. Postoji više vrsta ovih instrumenata koji rade na istom principu.

Hidrometar služi za mjerenje uzgona u temeljnoj plohi ili u stijeni. Rad mu se osniva na principu pijezometarske cijevi koja povezuje temeljnu plohu ili bušotinu u stijeni sa kontrolnim hodnikom u brani. Na kraju svake cijevi nalazi se precizni manometar za očitavanje pritiska i slavina za ispuštanje vode. U slučaju da je stijena malo vodopropusna i pijezometarski nivo podzemne vode se nalazi ispod hidrometra, mjerenje se izvodi posebnom savitljivom cijevi koja se spušta u pijezometarsku cijev. Pomoću ručne pumpe sa manometrom, koja se priključuje na gornji kraj cijevi,



Sl. 8. Hidro-nivelmanski instrumenti

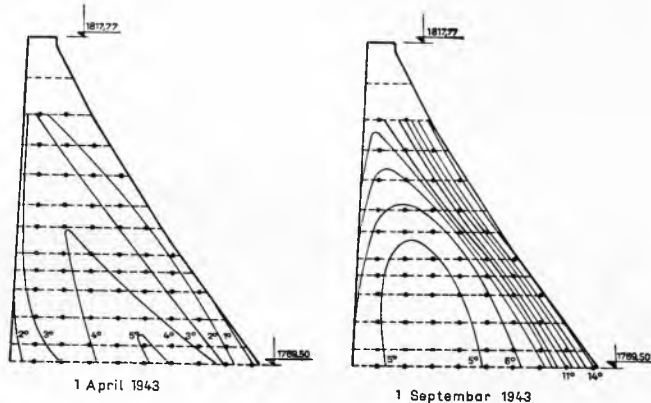
u cijev se utjerava zrak pod pritiskom. U trenutku kad se pritisci vode i zraka izjednače očita se pritisak na manometru.

Uzgon se kontrolira na više tačaka u profilu i na više profila po obodu temelja. Ako su pravilno provedene mjere protiv procjeđivanja vode ispod temelja brane, vrijednosti uzgona su male. Promjene vrijednosti uzgona ukazuju na promjene u temeljima koje mogu loše uticati na stabilnost objekta (brana Boulder-USA) i predstavljaju signal za detaljnija ispitivanja uzroka ovih promjena.

ELEKTRIČKE I ELEKTROAKUSTIČKE METODE OSMATRANJA

Električni termometar. Termički učinci imaju velik uticaj na ponašanje konstrukcije i zato je neophodno da se promatra njihov razvoj i tok u konstrukciji. Statičko ponašanje betonske brane određeno je naponima od hidrostatičkog opterećenja i naponima koji se javljaju uslijed termičkih promjena. Režim napona uvjetovan hidrostatičkim opterećenjem dovoljno je jasan, ali se to ne može reći i za režim napona uvjetovan termičkim silama. Za proračun učinaka izazvanih djelovanjem termičkih sila predloženo je više metoda, te se može reći da je problem sa teorijskog stanovišta iscrpno proučavan. Opažanja na izvedenim branama, međutim, pokazuju da je unutrašnja raspodjela temperature kompleksna. Konstrukcija je izložena nejednolikom opterećenju od toplotnih uticaja, što je u suprotnosti sa postupkom statičkog proračuna, gdje se pretpostavlja izvjesna simetrija.

Termičke napone u betonskoj brani izaziva nejednolika raspodjela vanjske temperature po tijelu brane i hidratacijska top-



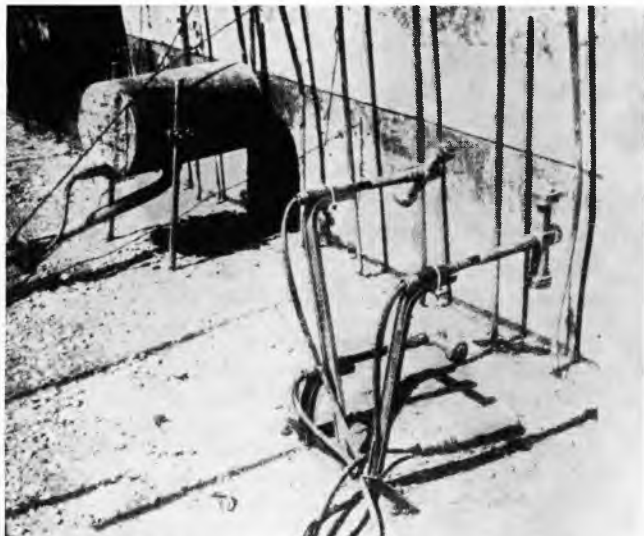
Sl. 9. Izoterme na brani Morasco (Italija)

lota koja se oslobađa pri vezivanju cementa i stvrdnjavanju betona. Na branu djeluju različiti toplotni vanjski režimi. Toplotni talasi koji dolaze sa nizvodne strane imaju dovoljno pravilan i periodičan tok. Tok toplotnih talasa sa uzvodne strane nije pravilan jer prati punjenje i pražnjenje akumulacije. Veliki uticaj na razvoj vanjskih toplotnih talasa imaju temperatura stijene, insolacija i djelovanje vjetrova (sl. 9). Proces oslobađanja hidratacijske topline, koja se gubi disipacijom, dugotrajan je. Za praćenje toga procesa termometri moraju biti smješteni u zonama koje neće biti pod uticajem vanjskih temperaturnih prilika i to bar 4-5 m duboko.

Za daljinsko mjerenje temperature zraka, vode i betona postoje električni termometri koji rade na principu mjerenja omskog otpora. Osnovne su karakteristike tih instrumenata mala termička inercija, osjetljivost i jednostavnost mjerenja. Za mjerenje promjene otpora upotrebljava se termometarska centrala na principu Wheatstoneova mosta, baždarena u stupnjevima Celzija.

Postoje također elektroakustički termometri, a kao termometri mogu se upotrijebiti i elektroakustički instrumenti za mjerenje deformacija, napona itd.

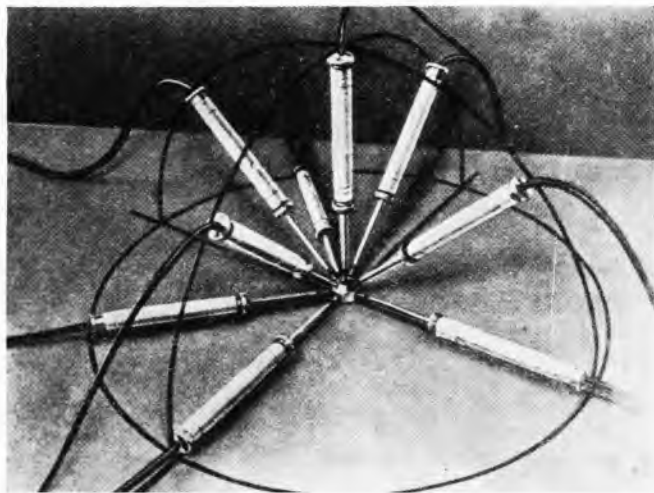
Električni ekstenzometri su instrumenti koji ugrađeni na različnim tačkama brane mjere lokalne deformacije u smjeru u kojem su postavljeni i prenose ih u posebnu mjernu centralu. Prednost im je u tome što se daljinskim prenosom mogu mjeriti deformacije na nepristupačnim tačkama, a mjerenja se izvode velikom preciznošću i mogu biti centralizirana. Postavlja se jedan ekstenzometar ili grupe od dva, tri, četiri i više njih. Sl. 10 prikazuje



Sl. 10. Elektroakustički ekstenzometri na brani Pieve di Cadore (Italija)

grupu od tri elektroakustična ekstenzometra sa izoliranim ekstenzometrom i higrometrom na brani Pieve di Cadore, Italija. Njihov broj u grupi zavisi od toka trajektorija glavnih napona, koje su utvrđene statičkim proračunom ili ispitivanjima na modelu, i od broja komponentata koje se žele snimati.

Ekstenzometri se postavljaju u ravninama paralelnim sa uzvodnim i nizvodnim licem brane, jer se pretpostavlja da se glavne deformacije razvijaju u tim ravninama. Trebalo bi, sa teorijske



Sl. 11. Prostorna grupa ekstenzometara

tačke gledišta, da udaljenosti spomenutih ravnina od uzvodnog i nizvodnog lica budu minimalne, kako bi se registrirale maksimalne deformacije. No ekstenzometri bi se onda našli u površinskom sloju koji je izložen uticaju dnevnih temperaturnih oscilacija i površinskih parazitskih manifestacija kao što su mikrofesuracije, pa registrirani podaci ne bi pokazivali stvarno ponašanje konstrukcije. Težnja da se poveća udaljenost instrumenata od vanjskih površina udaljuje nas od pretpostavke da se glavne deformacije javljaju u ravninama paralelnim sa vanjskim površinama brane. Zbog toga se moraju upotrijebiti prostorne grupe od devet ili više ekstenzometara (sl. 11), što znatno otežava obradu i interpretaciju rezultata. U većini slučajeva udaljenost ekstenzometara od vanjskih površina brane ne prelazi 1,0 m.

Da bi se olakšala analiza naponskog stanja, ugrađuje se u blizini grupa ekstenzometara tzv. izolirani — neopterećeni — ekstenzometar koji pokazuje deformacije uzrokovane skupljanjem betona, vlažnošću i termičkim procesima, tj. deformacije neza-

visne od opterećenja. Vrijednosti dobijene izoliranim ekstenzometrima služe za korekciju deformacija koje su izmjerene ostalim ekstenzometrima. Na taj način dobiva se jasnija slika naponskog stanja od opterećenja, do kojeg se dolazi posredstvom modula elastičnosti betona.

Električki ekstenzometri mogu biti izrađeni na različitim principima. Poznati su ekstenzometri na bazi promjene frekvencije, otpora, indukcije i kapaciteta. Najraširenija je upotreba ekstenzometara koji rade na principu promjene dužine, odnosno frekvencije jedne vibrirajuće žice određenih karakteristika. Na izmjerene vrijednosti ne utječe dužina kabela te se deformacije na posebnoj mjernej centrali mogu mjeriti i na udaljenostima ~ 500 m od mjernog mjesta. Ovaj instrument jako je robustan i ima visoku osjetljivost mjerenja. U specijalnoj elektroakustičnoj ekstenzometarskoj centrali usporuje se frekvencija vibracija mjerne žice u ekstenzometru sa frekvencijom druge žice koja služi kao uzorak i kojoj se može po želji varirati dužina. Izravnjanje frekvencije uzorne žice sa frekvencijom mjerne žice registrira se na posebnoj skali. Postoji velik broj instrumenata sa različitom dužinom mjerne žice, od 80 do 300 mm, i sa različitim konstantom koja označava produljenje ili skraćanje žice u mikronima (mikrometrima) za jedinicu podjele skale.

Električke tenzometarske kapsule su instrumenti kojima se izravno mjeri, daljinskim prenosom, svaka promjena naponskog stanja u konstrukciji. Na betonskim branama pretežno se namještaju u blizini temeljne plohe, radi proučavanja opterećenja u zoni temelja i ponašanja stijene u temeljima (v. sl. 40 i 41). Znatno veću primjenu nalaze na nasutim branama (v. sl. 14), jer je njihova upotreba na betonskim branama opterećena mnogim činiocima koji utječu na izmjerene rezultate.

Tenzometarske kapsule za beton moraju biti izrađene za neku srednju vrijednost modula elastičnosti betona, koji je promjenljiv sa vremenom jer je zavisian od elasto-plasto-viskozni procesa u konstrukciji. To utječe na linije toka napona tako da kapsula može pokazivati iskrivljene rezultate. Ako je modul elastičnosti za koji je izrađena kapsula veći od modula elastičnosti betona, linije toka napona skreću prema kapsuli, i obratno, ako je modul elastičnosti za koji je izrađena kapsula manji od modula elastičnosti betona, linije toka napona skreću prema betonskoj masi.

Da bi se smanjio učinak skretanja toka napona, kapsule se moraju izolirati od okolnog betona specijalnim kartonskim omotačem, koji strši iznad gornje ravnine kapsule bar 15 cm. Time se linije toka napona usmjeravaju i sprečava se njihovo bočno skretanje. Na taj se način ostvaruje skoro idealan slučaj kao da je kapsula postavljena u betonski stup jednakog presjeka. Mjerenjem je ustanovljeno da se učinak devijacije toka napona smanjuje na 10%.

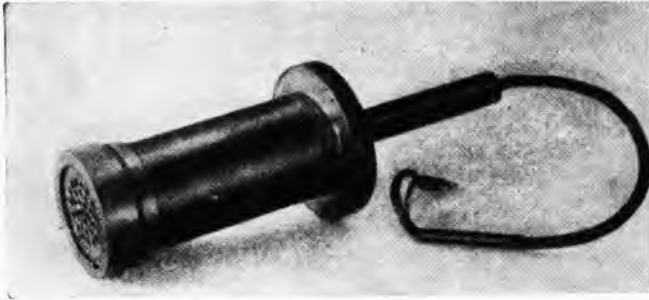
Vrlo je raširena upotreba elektroakustičkih tenzometarskih kapsula, koje se osnivaju na principu promjene frekvencije vibrirajuće žice uslijed opterećenja dviju ploča, od kojih je jedna deformabilna a druga kruta (sl. 12). Za mjerenje se upotrebljava ranije spomenuta elektroakustička centrala.

Kapsule se izrađuju i na principu promjene otpora, zatim na principu direktnog očitavanja pomoću električkog kontakta i komprimiranog zraka i na principu pijezelektričkog otpora na bazi kvarcnog kristala.

Kapsule se izrađuju za različite vrijednosti opterećenja do 100 kp/cm².

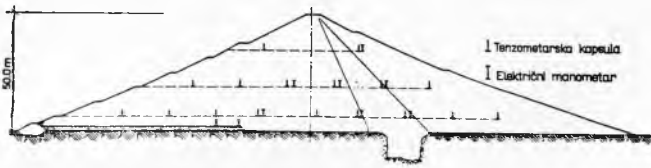


Sl. 12. Elektroakustička tenzometarska kapsula



Sl. 13. Električni manometar

Električni manometri služe za mjerenje pornog pritiska i uzgona na nepristupačnim mjestima u konstrukciji (sl. 13). Instrumenti mogu biti postavljeni u ma koji pravac. Radi kontrole stepena zbivanja u nasutim branama ugrađuju se zajedno s tenzometarskim kapsulama (sl. 14).



Sl. 14. Raspored tenzometarskih kapsula i električnih manometara u zemljanoj brani

Električni manometri mogu raditi na principu promjene frekvencije ili promjene otpora.

Električni higrometar služi za mjerenje varijacija vlažnosti betona na principu električne vodljivosti putem mjerenja električkog otpora (v. sl. 16). Instrument je jako osjetljiv; njegova primjena još se nalazi u eksperimentalnoj fazi.

Fenomen vlažnosti betona brana još nije objašnjen, jer promjene koje nastaju u kvalitetu slobodne i poluslobodne vode čine problem vrlo složenim. Interpretacija dobijenih rezultata teorijskom analizom čini znatne poteškoće, jer se radi o kompleksnom fenomenu sličnom difuziji toplote. Koeficijent transmisije vlažnosti zavisi od većeg broja faktora (mikrofesuracije itd.) koje je teško obuhvatiti matematičkim obrascima.

Električni dilatometar. Kako se masivne brane izgrađuju u blokovima (konzolama) koji su odvojeni vertikalnim ili radikalnim spojnica (fugama), radi kontrole ponašanja i rada vertikalnih elemenata i cjelokupne konstrukcije vrlo je važno mjeriti otvaranje spojnica. Injekciona smjesa se dovodi u spojnice pod pritiskom koji se mora kontrolirati i eventualno korigirati, te se stoga mjeri otvaranje injektirane i zatvaranje neinjektirane spojnice. Deformacije ne smiju biti takve da se izazove zatvaranje susjednih neinjektiranih spojnica i smicanje blokova duž horizontalnih radnih spojnica (nastavaka betoniranja).

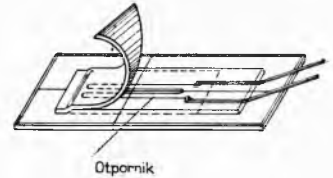
Za kontrolu rada spojnica na nepristupačnim tačkama upotrebljavaju se električni dilatometri na principu promjene frekvencije i promjene otpora.

Električni klinometar je instrument predviđen za daljinsku kontrolu nagiba tačke na kojoj je ugrađen. Može biti postavljen na vanjskim površinama brane, u temeljima, u specijalnim bušotinama itd. Poznat je električni klinometar »Telemac«, koji mjeri

Sl. 15. Električni klinometar »Telemac«

vrijednost nagiba u dva pravougaona pravca (sl. 15). Vrijednost nagiba očitava se u posebnoj centrali. Postoje i drugi tipovi klinometra.

Električne mjerne trake (strain gauge). Trake koje služe za mjerenje deformacija na površinama brane ili stijene izrađuju se u dužinama i do 18 cm. Na te površine lijepe se specijalnim namazima. Osnivaju se na principu promjene električkog otpora. Kao otpornik služi tanka žica, obično od konstantana, čiji dijametar zavisi od veličine omskog otpora. Danas se izrađuju mjerne trake za otpore od 100 do 600 Ω . Žica se postavlja između dvije savitljive trake koje su spojene specijalnim ljepljivom (sl. 16). Vrijednosti izmjerene tim instrumentom, kao i svim instrumentima koji rade na istom principu, obuhvaćaju i otpore u kabelima, pa kabeli treba da su što kraći. Stoga se rezultati očitavaju na posebnoj mjernej centrali što bliže mjernom mjestu. Mjerne trake imaju znatno veću primjenu u laboratorijskim ispitivanjima konstrukcija.



Sl. 16. Električna mjerna traka

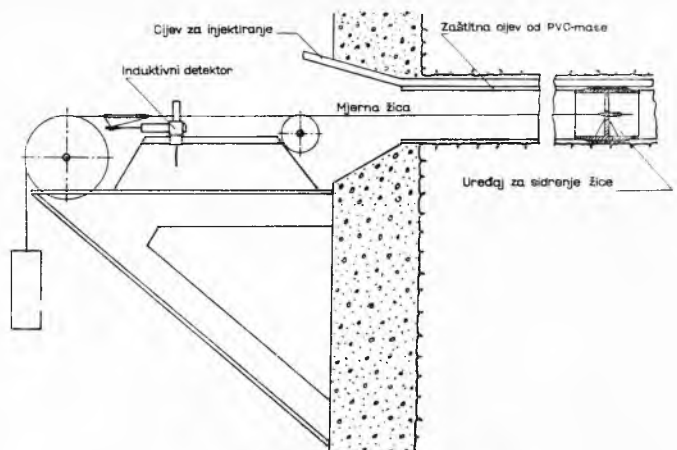
Električni instrumenti za mjerenje deformacija stijene.

Poslijeratni nagli razvoj izgradnje visokih lučnih brana i njihova izgradnja na manje povoljnim pregradnim mjestima izazvali su potrebu proučavanja uticaja stijenske mase na ponašanje brana i na njihovu sigurnost. Međutim, najveći je problem: kako izvesti mjerenja koja će pokazati realno stanje u stjenovitom masivu i uticaj toga stanja na ponašanje fundamenata brana? Stijena u prirodi, suprotno ranijim pretpostavkama pri fundiranju, rijetko je homogena i bez mehaničkih diskontinuiteta. U većini slučajeva osmatranje stijene jeste u stvari studija jedne diskontinuirane i anizotropne sredine.

Istraživanje osobina takve sredine i određivanje uticaja tih osobina na ponašanje i sigurnost temelja brane nalazi se u početnoj fazi svoga razvoja. Najveći napredak u tom pravcu načinjen je inicijativom Internacionalnog društva za ispitivanje stijene — INTERFELS (Salzburg), po čijem su predlogu konstruirani niže navedeni instrumenti za mjerenje podužnih i poprečnih deformacija u stijeni.

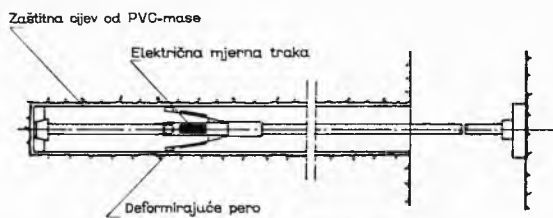
Višestruki dugački ekstenzometar je u stvari višestruka temeljna žica sa većim brojem mjernih mjesta duž bušotine \varnothing 100 mm. Deformacije u pravcu žice mjere se na principu promjene indukcije, jer one izazivaju promjenu magnetskog polja, odnosno induktivnog otpora ključućeg feromagnetskog jezgra. Preko posebnog mjernog instrumenta daljinski se očitaju linearne deformacije. Prvi ovakvi instrumenti ugrađeni su na brani Vaiont (sl. 17).

Deformirajuće pero služi za mjerenje poprečnih pomaka u odnosu na os bušotine odgovarajućeg dijametra. Čelična cijev fiksirana u osi bušotine nosi četiri savitljiva pera sa ticalima koji dodiruju zidove bušotine. Na perima su zalijepljene mjerne trake. Svaka deformacija poprečno na os bušotine izaziva savijanje



Sl. 17. Višestruki dugački ekstenzometar

nekoj pera, što opet izaziva deformaciju mjerne trake. Poprečni pomak se očitava daljinski na posebno konstruiranom instrumentu. Uređaj je prvi put ispitan na brani Kurobe u Japanu (sl. 18).



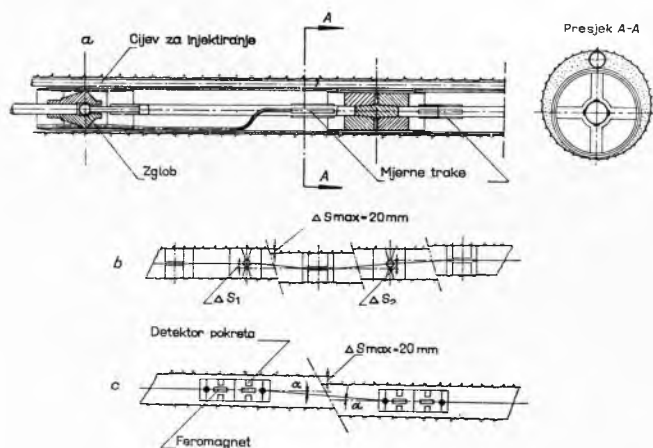
Sl. 18. Deformirajuće pero

Integrator deformacija je posebno konstruiran uređaj za mjerenje poprečnih deformacija na većem broju mjernih mjesta u bušotini i sa daljinskim prenosom mjernih podataka. Postoje tri tipa ovog instrumenta:

a) Integrator deformacija sa savitljivim čeličnim štapovima i mjernim trakama: čelični štap određene dužine na jednoj mjernoj tački čvrsto je upet, a na susjednim zglobno. Savijanje štapa izaziva deformacije mjernih traka, koje se registriraju na mjernom instrumentu. Tri ovakva uređaja bila su prvi put ugrađena na brani Vaiont (sl. 19 a, b).

b) Integrator deformacija na bazi induktivnog bezdodirnog detektora pokreta: između dvije fiksne tačke u jednoj čeličnoj cijevi nalazi se upet prednapregnut čelični štap. U sredini cijevi nalazi se specijalan prsten sa induktivnim detektorom pokreta, koji svako poprečno pomjeranje prenosi na mjerni instrument putem promjene induktiviteta.

c) Integrator deformacija na bazi mjerenja promjene kuta: dva štapa kuglasto su spojena na specijalan umetak u kojem se



Sl. 19. Integrator deformacija. a integrator na bazi promjene dužine, b shema istog integratora; c shema integratora na bazi promjene kuta

nalaze dva feromagneta između dva bezdodirna detektora pokreta. Promjena razmaka između detektora i feromagneta izaziva promjenu induktiviteta, koja uzrokuje otklon na skali specijalnog mjernog instrumenta (sl. 19c). Postoji varijanta ovog instrumenta u kojoj jedna pokretna kugla djeluje neposredno na detektor pokreta.

Spojni vodovi, priključne i selekcijske kutije. Električni instrumenti spajaju se sa različitim priključnim ili selekcijskim kutijama specijalnim spojnim kabelima, koji se mogu direktno polagati u betonsku masu. Električni instrumenti na principu promjene otpora zahtijevaju tropske spojne kabele. Elektroakustički instrumenti, ukoliko se ne upotrebljavaju i za mjerenje temperature, priključuju se dvopolnim spojnim kabelima.

Mjerna centrala električnih instrumenata na bazi promjene frekvencije i indukcije može biti znatno udaljena od instrumenata, ali mjerna centrala električnih instrumenata na bazi promjene otpora preporučljivo je da bude što bliže instrumentu.

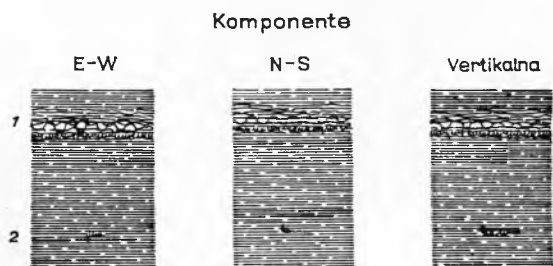
Priključne kutije opremljene su stezaljkama i služe za koncentraciju određenog broja spojnih kabela. Na kutiji se nalazi više otvora za ulaz spojnih kabela i jedan otvor za izlaz zbirnog množilnog kabela.

Selekcijske kutije imaju željeni broj utičnica i služe za priključak mjerne centrale na pojedine instrumente. Postoje specijalne selekcijske ploče sa shemom brane, rasporedom instrumenata i svjetlosnim signalnim uređajima.

GEOFIZIČKE METODE OSMATRANJA

Pomaci terena u pregradnoj zoni mogu osjetno da izmijene početne uslove fundiranja brane. Ovi pomaci tla uslovljeni su seizmičkim pokretima lokalnog i općeg karaktera, konsolidacijom i prilagođavanjem tla novim uslovima, kao i deformacijama različitog porijekla.

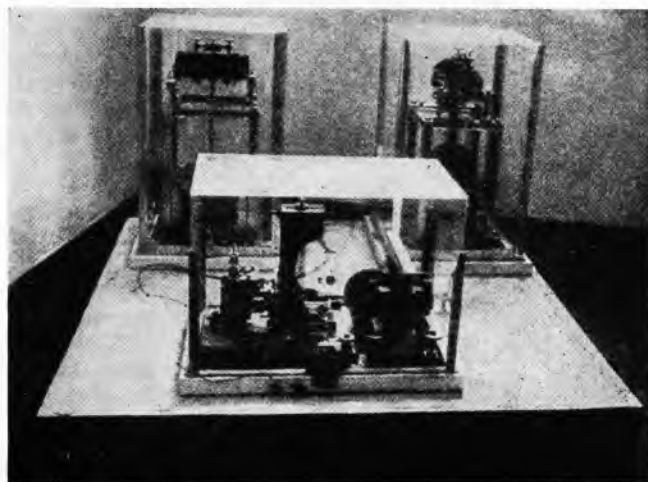
Praksa je pokazala da nije lako razlučiti direktna seizmička djelovanja od djelovanja konstrukcije i akumulacije na dno i bokove pregradnog mjesta.



Sl. 20. Seizmogram stanice Vaiont. 1 dijagram udaljenog zemljotresa, 2 udar u terenu s epicentrom 2,5 km od brane u smjeru E 10° S (u području katastrofalnog klizišta)

Seizmička pomjeranja općeg karaktera — makroseizmički potresi — vrlo su važan faktor koji se uzima u obzir u statičkom proračunu konstrukcije, ali se pri projektovanju, građenju i osmatranju brana često zanemaruje mikroseizmička aktivnost u području pregradnog profila i akumulacije. Ta aktivnost može biti uzrokovana i grubim narušavanjem ravnoteže uslijed punjenja i pražnjenja akumulacije, tj. zbog prilagođavanja stjenovitog masiva novim uslovima ravnoteže. Tako, na primjer, na brani Vaiont uočena je 22. maja 1960 mikroseizmička aktivnost u području katastrofalnog klizišta od 240 miliona m³ (sl. 20).

Osmatranja su ukazala da ovi mali potresi imaju različito djelovanje, zavisno od njihova epicentra. Ako se epicentar nalazi u akumulaciji, oni se brzo prigušuju i ograničavaju na mali broj oscilacija brane. Naprotiv, ako se epicentar ovih potresa nalazi u blizini pregradnog profila, javlja se duga serija brzih oscilacija koje preuzimaju, i eventualno pojačavaju, vertikalni elementi betonskih brana. Ove oscilacije mogu izazvati u tijelu brane i u



Sl. 21. Seizmografi za osmatranje mikroseizmičke aktivnosti

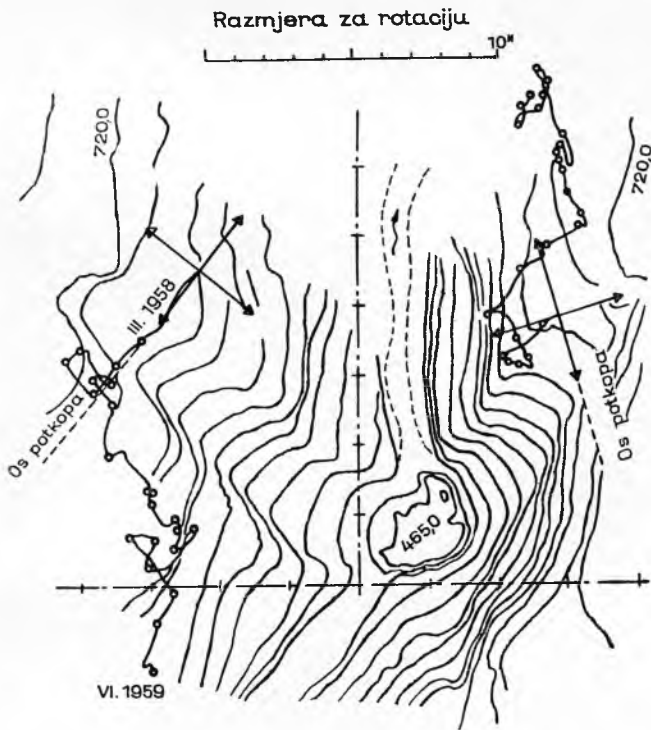
temeljima male pukotine koje dajući povoda daljnim degradacijama utiču na sigurnost konstrukcije i akumulacionog prostora.

Za osmatranje mikro seizmičke aktivnosti instaliraju se specijalni seizmografi velike osjetljivosti, koji registriraju tri komponente translacijskog pomjeranja: jednu vertikalnu i dvije horizontalne — paralelno i okomito na podužnu os brane (sl. 21).

Prvi takvi seizmografi instalirani su u našoj zemlji na brani Grančarevo, a nabavljeni su u Japanu.

Geofizičkim osmatranjima utvrđeno je također da translacijska gibanja izazvana mikro seizmičkom aktivnošću redovito prate undulatorna gibanja i inklinacije. Ovi pokreti registriraju se specijalnim instrumentima — fotoklinografima.

Fotoklinografske stanice koje su bile smještene na brani Vaiont ustanovile su značajne pokrete rotacije bokova u toku iskopa temelja. Lijevi oslonac kretao se je pretežno uzvodno a desni nizvodno. Periodi znatnog uzbuđenja smjenjivali su se sa periodima relativnog zatišja. Ti fenomeni poremećaja stabilni su postepeno kako se brana izgrađivala (sl. 22).



Sl. 22. Kutni pomaci bokova brane Vaiont za vrijeme iskopa

Foto-klinografi tipa Caloi bit će također instalirani, prvi put u našoj zemlji, na brani Grančarevo na rijeci Trebišnjici.

SPECIJALNE FIZIČKE METODE OSMATRANJA

Ispitivanje elastičnih osobina brdske mase. Ispitivanja na izgrađenim branama ukazala su na degradaciju elastičnih karakteristika stijene tokom vremena. Objašnjenje toj pojavi nalazi se u pretpostavci da je ona uvjetovana povećanom poroznošću stijene. Naime, paralelno sa prvim punjenjem akumulacije javlja se rad na prilagodavanju stjenovitog masiva novim uslovima ravnoteže, jer su nove sile koje djeluju narušile prethodno stanje. Narušavanje ravnoteže očituje se brojnim mikro seizmičkim akcijama u stijeni oko brane. Te akcije, uslovljene opterećenjem, izazivaju u stjenovitoj sredini male lomove sa bezbroj sitnih pukotina, koje povećavaju poroznost stijene. To se naročito očituje na profilu gdje je brana fundirana. Tako je na brani Pieve di Cadore u Italiji dinamički modul elastičnosti stijene prije akumulacije imao srednju vrijednost 480 000 kp/cm², a nakon prvog punjenja 330 000 kp/cm².

Prema nekim stručnjacima vjerovatno je da promjena napona u stijeni uzrokuje promjenu i slabljenje molekularne veze u samoj stijeni.

Proučavanje ovog fenomena nalazi se u početku svog razvoja, ali je nesumnjivo da brzina kojom se ovaj proces razvija utiče na sigurnost i stabilnost konstrukcije. Praćenje razvoja ovog procesa može da ukaže na eventualne anomalije koje se u podzemlju razvijaju. Za ispitivanje elastičnih osobina brdskog masiva primjenjuju se dinamičke i statičke metode. Od dinamičkih metoda naročito je pogodna refrakcijska seizmička metoda, kojom se mogu kontrolirati elastične osobine stijene u širem području pregradnog profila prije građenja, u toku građenja i u toku eksploatacije brane. Znatnije pogoršanje kvaliteta upozorava na promjene čije uzroke treba ispitati drugim raspoloživim metodama.

Ispitivanje sposobnosti betona da se deformira. Ta sposobnost, karakterizirana modulom elastičnosti, ima veliku važnost jer od nje zavisi kompaktnost betona, njegova otpornost prema degradaciji i prema prodiranju vode, njegova sposobnost da podnosi uticaj leda, temperaturne promjene, opterećenje itd. Modul elastičnosti služi također za proračun i kontrolu napona posredstvom izmjerenih deformacija u brani.

Proračun napona u brani predstavlja vrlo težak i kompleksan problem, jer lokalno mjerenje pojedinačnih ili ukupnih deformacija (varijacija dužine) predstavlja jedno od najosjetljivijih mjerenja, kako zbog reda veličine deformacija tako i zbog osjetljivosti instrumenata koji se upotrebljavaju i parazitskih uticaja na njih; osim toga, proračun napona nalazi se pod uticajem mnogih nepoznatih faktora koji se kriju u određivanju vrijednosti modula elastičnosti.

Ispitivanja betona na izgrađenim branama pokazala su da sa starošću betona opada vrijednost modula elastičnosti. Stabilizacija tih vrijednosti nastaje nakon prilično dugog perioda od nekoliko godina. Opadanje modula elastičnosti objašnjava se teorijom deformacija betona pod trajnim naprezanjem i označava starenje brane.

Dinamičke impulsne metode za određivanje modula elastičnosti betona služe u stvari za kontrolu brane »in situ«. Ova mjerenja imaju izuzetnu važnost jer nam daju relativne i korelativne vrijednosti modula elastičnosti u vremenu i prostoru. Da bismo se mogli koristiti rezultatima dinamičkih metoda, potrebna su laboratorijska ispitivanja probnih tijela. Destruktivne — statičke metode ispitivanja upotrebljavaju se prilikom ispitivanja probnih tijela, bilo da su ona pripremljena u toku građenja bilo da su naknadno izvađena iz konstrukcije.

Modul elastičnosti betona u samoj konstrukciji može se ispitati i posebno ugrađenom hidrauličkom presom; njome se izazivaju pritisci, a deformacije se mjere električkim ekstenzometrom.

Vrijednosti modula elastičnosti određene na jedan od gore navedenih načina mogu dati iskrivljene vrijednosti napona u konstrukciji, vrijednosti koje daleko premašuju proračunate ili na modelu utvrđene.

U realnosti deformacije betonskih brana pod uticajem su, prvo, nekih unutarnjih pojava u materijalu (skupljanja, bujanja i termičkih dilatacija) i, drugo, opterećenja spolja. Ugradnjom izoliranih ekstenzometara i deformetara mogu se odvojeno utvrditi deformacije od prvih i deformacije od drugih utjecaja. U praksi se, međutim, nailazi na teškoće pri određivanju stvarnog modula elastičnosti betona ugrađenog u konstrukciju brane.

Graditelji betonskih brana suočili su se s tom činjenicom već pri prvim pokušajima da interpretiraju rezultate izmjerenih deformacija. S istih razloga na gradnji brane Osiglietta u Italiji (1937—1939) primijenjena je prvi put metoda prof. Obertija. Ona je kasnije našla široku primjenu na mnogim talijanskim branama. Po toj metodi paralelno sa gradnjom brane izrađuju se specijalne probne prizmatične gređice na kojima se mjeri vremenski tok deformacija uslijed permanentnog opterećenja. Posebnom obradom dobijaju se vrijednosti modula elastičnosti - deformacija. Jedini je nedostatak ove metode što se ona može primijeniti samo za ograničena opterećenja.

Za kontrolu kvaliteta betona u konstrukciji (gustoće i količine vlage) upotrebljavaju se i radiometrijske metode mjerenja sa izotopima.

Meteorološka mjerenja obuhvaćaju registraciju svih podataka koji su neophodni za interpretaciju rezultata osmatranja kao što su: temperatura, padavine, vlažnost, atmosferski pritisak, isparavanje, insolacija i vjetrovi.

P. Stojić

GEODETSKE METODE OSMATRANJA

Geodetske metode određivanja deformacija brana osnivaju se na primeni preciznih geodetskih instrumenata (teodolita, niveliara, alineatora i linearnih merila) za utvrđivanje pomeranja pojedinih kontrolnih tačaka, raspoređenih na pogodan način po telu brane i po terenu na koji se ona oslanja, odnosno, za utvrđivanje relativnih promena položaja tih tačaka u prostornom koordinatnom sistemu. Te metode oslanjaju se na sistem orijentacijskih tačaka raspoređenih izvan zainteresovane (tlačne) zone brane, na tlu u kome vladaju prirodni, netaknuti uslovi. Pretpostavlja se da će te tačke ostati tokom vremena apsolutno nepomične. Međusobni fiksni odnos između tih tačaka uzima se kao oslonac za iznalaženje pomeranja tačaka u zainteresovanoj zoni brane i na samom telu brane. S obzirom na to da ne postoji verovatnoća paralelnog pomeranja (jednakog po smeru i veličini) niza tačaka raspoređenih s različnih strana brane i dovoljno udaljenih od nje, takva je pretpostavka realna.

Opažanja uz primenu geodetskih metoda izvode se pre, za vreme i nakon izgradnje brane, tj. i u toku eksploatacije objekta. Tako se određuju prostorne promene temelja u toku iskopa, betoniranja i prvog punjenja akumulacije i kad nastaju promene opterećenja brane usled osciliranja nivoa u jezeru za vreme korišćenja akumulacije. Samo tako organizirana merenja pružaju pouzdan uvid u ponašanje objekta i njegove okoline u različnim fazama njegove realizacije i u uslovima pogona, jer se dobivaju podaci za određivanje prostornih promena koje nastaju u toku vremenskog razvoja trajnih deformacija brane i podloge na koju se ona oslanja. Merenja se provode periodski bilo u određenim vremenskim intervalima ili, što je u pogonu pravilnije, u određenim fazama opterećenja brane.

Geodetskim metodama merenja deformacija određuju se prostorne pozicije kontrolnih tačaka, koje su svrsishodno raspoređene na samoj brani i u njenoj bližjoj i daljoj okolini.

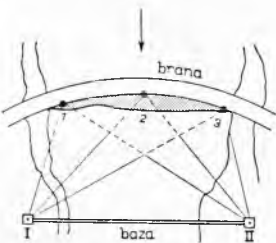
Za svaku kontrolnu tačku mogu se odrediti prostorne koordinate y , x i z , odnosno horizontalna pozicija ravnim koordinatama y i x , a položaj po visini koordinatom z . Horizontalna pozicija kontrolne tačke određuje se bilo trigonometrijskim presecanjem napred ili metodom aliniranja, tj. merenjem otklona jedne ili više kontrolnih tačaka na kruni brane od određenog pravca. Visinske razlike određuju se preciznim geometrijskim nivelmanom ili trigonometrijskim nivelmanom. Trigonometrijski nivelman, odnosno merenje visinskih (vertikalnih) uglova, vrši se kad su kontrolne tačke nepristupačne za geometrijsko niveliranje, kao što su to redovito tačke na nizvodnoj strani brane.

Predradnje. Već od samog početka gradnje mora postojati uska saradnja između projektanta brane, rukovodioca gradnje i geodetskog stručnjaka koji projektuje osnovu za izvršenje geodetskih merenja u vezi s ispitivanjem prostornih promena brane i stene u osloncima. Saradnja je potrebna zbog pravilnog razmeštaja tačaka mikrotrigonometrijske mreže (stubova za opažanje, kontrolnih tačaka na brani itd.), da bi to, s jedne strane, odgovaralo potrebama za izvođenje merenja i postizanja tražene tačnosti, a s druge strane, da se već unapred reducira na minimum mogućnost oštećenja tačaka geodetske osnove za vreme građenja brane.

Nakon proveravanja i eventualno potrebnog dopunjavanja projekata mogu se izvršiti predradnje: građenje stubova za opažanje, osiguranje prilaza do njih, otklanjanje prepreka koje mogu sprečavati ispravno viziranje, uzidiavanje nivelmanskih repera, uzidiavanje čepova kontrolnih tačaka na brani (uporedo sa građenjem brane) itd.

Osnova za mikrotrigonometrijska opažanja. Kao polazna tačka za mikrotrigonometrijska opažanja uzima se fiksna baza, odakle se opažaju kontrolne tačke (čepovi) brane i okoline sa po mogućstvu najpovoljnijim preseccima i određuje njihova horizontalna pozicija preseccima napred (sl. 23).

Dužinu baze dovoljno je odrediti sa tačnošću 1/1000 jer pri određivanju deformacija putem razlike pravaca to potpuno zadovoljava. U novije vreme upotrebljavaju se za određivanje promena dužine baze (pomoću koje



Sl. 23. Fiksna baza za mikrotrigonometrijska opažanja

se računaju ostale strane mikromreže) ugrađeni fiksni bazimetri koji omogućavaju određivanje tih promena dužine sa tačnošću $\pm 0,05$ mm.

Praktična iskustva su pokazala da može doći i do pomeranja stubova za opažanje koji su fundirani na steni. Zato se ti stubovi u novije vreme osiguravaju dodatnim, tzv. »osiguravajućim« stubovima, koji se nalaze van zainteresovane zone brane (IV i V na slici 35) u osloncima pri prenošenju opterećenja branom na tlo.

Dužine vizura prema kontrolnim tačkama neka po mogućnosti ne prelaze 100 m; s druge strane treba izbegavati i vizure pod naklonom većim od $\pm 30^\circ$.

Ako postoji mogućnost i potreba, postaviti će se treći stub za opažanje (III na slici 35), da se dobiju što povoljniji preseccima pravaca, a svakako treba izbegavati presece pod uglom manjim od 60° ili većim od 120° .

Prema tome, mesto stubova za opažanje mora biti izabrano tako da je omogućeno opažanje odgovarajućih preseca pravaca i da se sa zadovoljavajućom sigurnošću mogu određivati pomaci brane i stene u temeljima.

Komponente pomeranja (deformacija) kontrolnih čepova na brani određuju se pomoću razlike pravaca između prethodne (»nulte«) i sledeće serije opažanja na istim stubovima (sl. 24).

Osobito je važno da su ovi pravci pouzdano orijentisani.

Zbog toga je potrebno izabrati orijentacijske tačke (O_1, O_2, \dots , sl. 35) van zainteresovane zone brane, a odstojanja između stubova za opažanje i orijentacijskih tačaka treba da budu tolika da je greška u orijentaciji — koja nastaje zbog eventualnog pomeranja stuba — neznatna u odnosu na grešku opažanja.

Za mikrotrigonometrijska merenja dolaze u obzir jedino precizni teodoliti, a tačnost takvih teodolita treba u punoj meri iskoristiti njihovim besprekornim centriranjem i najpodesnijim signaliziranjem orijentacijskih i kontrolnih tačaka.

Značke (marke) na tim tačkama moraju biti takvog oblika da su podesne za horizontalne vizure, a na kontrolnim tačkama i za vertikalne vizure.

Trigonometrijska opažanja dopunjuju merenja tzv. uglovnim aliniranjem. Opažanja treba vršiti sa stuba koji je postavljen približno u pravcu tangente na sredinu krivine brane (sl. 25).

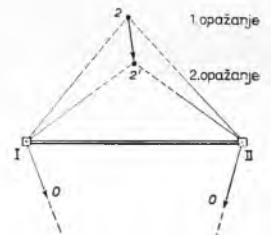
Stub Al mora biti na koti višoj od kote krune brane. Opažanja se vrše sa priključkom na 2 ili 3 orijentacijske tačke (O_4, O_5, \dots). Pri tom se mere uglovna odstupanja jedne ili više kontrolnih tačaka na brani od čvrstih pravaca koje predstavljaju pravci prema orijentacijskim tačkama. Promene pozicije tačke M određuju se prema tome na osnovu promena paralaktičnih uglova.

Metoda aliniranja je veoma efikasna kod brana u pravcu jer se tu može koristiti po čitavoj dužini krune; kod lučnih brana, međutim, može se kontrolisati svega jedna, dve ili najviše tri tačke brane. Kontrolna tačka signalizira se tzv. »mirom« (v. sl. 33).

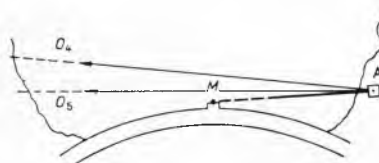
Prednost je metode aliniranja što se njome brzo određuje pomak kontrolnih tačaka, a nedostatak joj je što se dobiju samo komponente pomaka okomito na čvrst pravac. Nedostatak je te metode i što se stajališne tačke nalaze u zainteresovanoj zoni.

Napomenuti treba da se prilikom svake serije trigonometrijskih opažanja meri i visina vodostaja u akumulacijskom bazenu, temperatura vode i zraka. U opštem grafičkom pregledu deformacija registruju se ti podaci radi nazornog prikaza zavisnosti prostornih promena brane od tih faktora.

Raspored kontrolnih tačaka na brani. Kontrolne tačke (čepovi) raspoređuju se na nizvodnoj strani i na kruni brane. Njihov raspored zavisi od širine i visine brane, a svakako treba uzeti



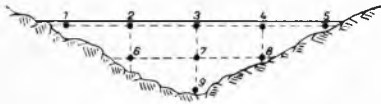
Sl. 24. Razlika pravaca dviju serija opažanja



Sl. 25. Uglovno aliniranje

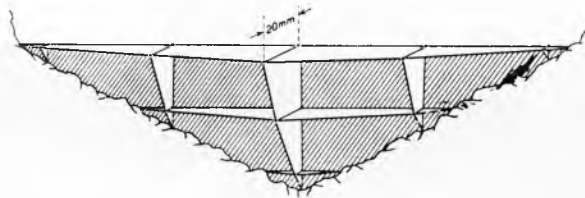
u obzir želje ili zahteve projektanta brane u pogledu mesta koja treba da se kontrolišu.

Broj tih tačaka ne sme biti prevelik, jer bi to išlo na uštrb brzine rada a time i tačnosti merenja. Naime, opažanja se izvode girusnom metodom i veći broj pravaca produžuje merenje, čime opada i tačnost ove metode.



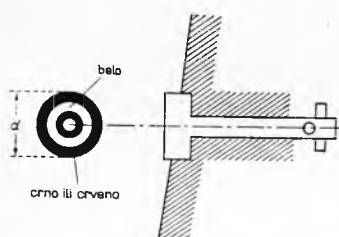
Sl. 26. Raspored kontrolnih tačaka na brani

Tačke raspoređujemo u horizontalnim i vertikalnim linijama (sl. 26). Njihovo međusobno odstojanje treba da bude takvo da se može dobiti kontinuirana slika promena koje nastaju u brani. Tako se dobiju deformacije u horizontalnim i vertikalnim presecima (sl. 27).



Sl. 27. Deformacije brane u horizontalnim i vertikalnim presecima

Preporučuje se trigonometrijskim putem kontrolisati i one tačke na kojima su pričvršćena klatna koordinatara, jer se onda mogu koordinirati i upoređivati obe metode opažanja.



Sl. 28. Oblik vizurne marke



Sl. 29. Ugrađene vizurne marke

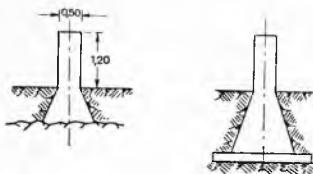
Da se prilikom opažanja ne bi gubilo mnogo vremena oko traženja kontrolnih tačaka na brani, one su zaokružene krugom masne crvene boje dijametra ~250...300 mm.

Pored kontrolnih tačaka na brani raspoređuju se i kontrolne tačke u steni levo i desno od brane i za njih se također izvode trigonometrijska opažanja.

Vizurne marke za orijentacijske tačke uzidaju se u čvrstu stenu ili u solidno fundirane betonske stubove (sl. 29).

Stabilizacija stubova za opažanje. S obzirom na veliku preciznost merenja, koja traži sigurnu podlogu za postavljanje teodolita, a i da se postigne u svakoj seriji opažanja isti položaj instrumenta, potrebna su stalna stajališta u obliku dobro fundiranih armiranobetonskih stubova sa naročito podešenom glavom, koja omogućuje prisilno precizno centriranje teodolita.

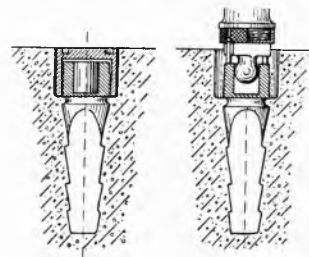
Poželjno je da se stub gradi na zdravoj steni, a u koliko to nije moguće, treba ići ispod nivoa smrzavanja tla i temelj stuba treba osigurati ši-



Sl. 30. Konstrukcija stuba za opažanje

rom betonskom pločom. Dimenzije stuba su obično 0,50 × 0,50 m sa visinom 1,20 m nad zemljom (sl. 30).

U sredini glave stuba je ubetoniran čep za centriranje instrumenta ili signalne značke. Čep treba uzidati vertikalno, što se pri usadivanju kontroliše pomoću posebne dozne libele. Na sl.



Sl. 31. Čep za centriranje instrumenta ili signalne značke

31 prikazan je presek čepa, a na sl. 32 način kako se centririra instrument pomoću dodatnog kuglastog nastavka.

Na sl. 33 prikazana je signalna značka, tzv. »mira«, koja se upotrebljava za signalisanje stubova za opažanja i kod aliniranja.

Osiguravanje stubova za opažanja. S obzirom na mogućnost pomeranja samih stubova za opažanja, treba preduzeti sve što je potrebno da bi se mogli odrediti i njihovi vlastiti pomaci, kako bi se oni mogli uzeti u obzir pri obradi opažanja kontrolnih tačaka brane i okoline.

Obično se ti stubovi osiguravaju sa najmanje četiri tačke (v. sl. 35) koje su raspoređene tako da omogućuju određivanje promene pozicije stuba presecanjem natrag. Te tačke treba da leže po mogućnosti izvan zainteresovane zone brane a signališu se na isti način kao što je to prikazano na sl. 28 i 29.

Druga je mogućnost da se promene pozicije stuba odrede presecanjem napred polazeći od dve povoljno raspoređene tačke van zainteresovane zone brane.

Osim toga može da se kontroliše pozicija stuba i merenjem paralaktičnih uglova. Suština je te metode da se iz razlike paralaktičnih uglova izmerenih na istom stajalištu određuju pomeranja stuba (sl. 34). Ovom metodom dobit će se pouzdani podaci pomeranja stuba ako je odnos dužina $e_2 : e_1 \approx 1:10$; paralaktični ugao treba da bude što manji, a nikako veći od 10° . I tu moraju biti postavljene bliže i daleke tačke izvan zainteresovane zone brane.

Približno pod uglom 90° na pravac $I-P_1$ primenjuje se isti način kontrolisanja i iz rezultante komponenta dobije se celokupno pomeranje dotičnog stuba. Kad su paralaktični uglovi mali, zadovoljava za računanje pomaka formula

$$\Delta a = \frac{\Delta p''}{\rho''} \frac{e_1 \cdot e_2}{e_1 - e_2} \quad (1)$$

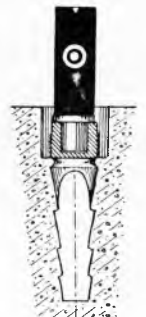
gde je $\Delta p''$ razlika paralaktičnih uglova (prvog i narednog opažanja), inače se upotrebljava formula:

$$\Delta a = \frac{e_1 \cdot e_2}{e_1 - e_2 \cos p_1} \cos a (\sin p_1 - \sin p_2) \quad (2)$$

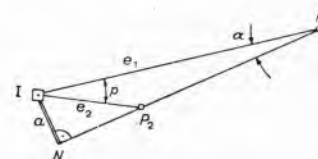
Slika 35 prikazuje u neku ruku »standardni« sistem mikrotrigonometrijske mreže, koji se doduše neće moći svuda ostvariti, jer sama konfiguracija bliže i dalje okoline brane više ili manje usmeruje specifično oblikovanje mreže.



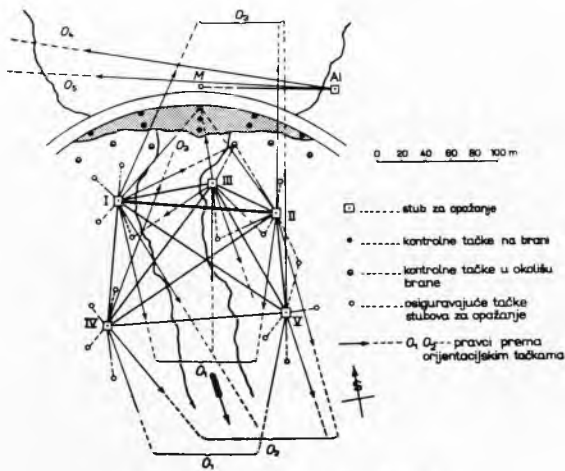
Sl. 32. Centriranje instrumenta pomoću dodatnog kuglastog nastavka



Sl. 33. Signalna značka



Sl. 34. Kontrola pozicije stuba merenjem paralaktičnih uglova

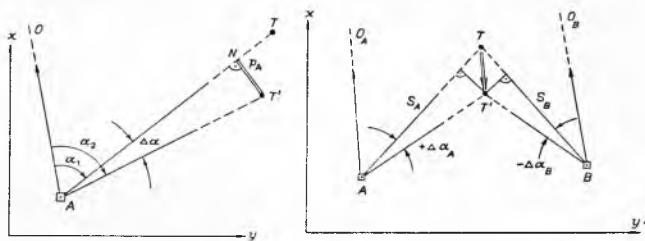


Sl. 35. Mikrotrigonometrijska mreža

Postupak određivanja horizontalnih pomeranja sa presecanjem napred. Budući da su pomeranja relativno mala, može se uzeti da je $S_A' = S_A$. Pomeranje p_A je onda

$$p_A = S_A \cdot \operatorname{tg} \Delta\alpha_A, \quad (3)$$

gde je $\Delta\alpha_A = \alpha_2 - \alpha_1$ razlika između novog i početnog opažanja



Sl. 36. Razlika uglova početnog i novog opažanja

Sl. 37. Deformacija utvrđena razlikama uglova iz dve tačke

sl. 36). Kako je $\Delta\alpha_A$ mala uglovna vrednost, sme se zameniti pređašnji izraz ovim:

$$p_A = S_A \cdot \frac{\Delta\alpha_A''}{\rho''}. \quad (4)$$

Analogno se dobije za opažanja sa stuba B da je:

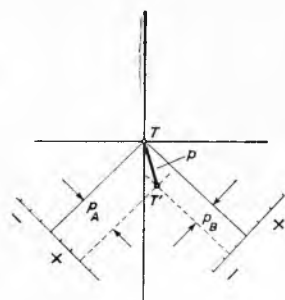
$$p_B = S_B \cdot \frac{\Delta\alpha_B''}{\rho''}. \quad (5)$$

Ukupno pomeranje — deformacija $p = \overline{TT'}$ (sl. 37) dobije se iz tzv. *smernog dijagrama* na kojem se nanose poprečna pomeranja obično u razmeri 10:1 ili 5:1.

Budući da su pomeranja p_A i p_B veoma mala prema dužinama vizura S_A i S_B , može se smatrati da je $\overline{AT'}$ paralelno sa \overline{AT} , odnosno $\overline{BT'}$ paralelno sa \overline{BT} . Ta se okolnost koristi za konstrukciju smernog dijagrama (sl. 38) iz kojeg se može dobiti grafičkim putem rezultanta pomeranja sa tačnošću 1/10 mm.

Formule (4) i (5) vrede za slučaj kad ima sa svakog stuba samo po jedan orijentacijski pravac i kada se suponira da je greška opažanog orijentacijskog pravca kod «nultog» i narednog opažanja jednaka.

U praksi se uzimaju radi sigurnosti bar 2 ili 3 orijentacijske vizure i ako je stub stabilan, trebalo bi — idealno uzevši — uvek dobiti iste uglove između orijentacijskih tačaka, naravno pod pretpostavkom da su i orijentacijske tačke ostale nedeformirane. Međutim, zbog neminovnih grešaka prilikom opažanja treba razliku



Sl. 38. Smerni dijagram za dobivanje deformacije grafičkim putem iz poprečnih pomeranja

opažanja $\Delta\alpha$ popraviti nekim iznosom (popravlkom orijentacije), tj.

$$\Delta\alpha_{A\text{or}} = (\Delta\alpha_A + \Delta\alpha_A), \text{ odnosno}$$

$$\Delta\alpha_{B\text{or}} = (\Delta\alpha_B + \Delta\alpha_B).$$

Poprečna pomeranja računaju se onda po formulama

$$p_A = \frac{S_A}{\rho''} \Delta\alpha_{A\text{or}} \quad \text{i} \quad p_B = \frac{S_B}{\rho''} \Delta\alpha_{B\text{or}}. \quad (6)$$

Greška u određivanju pomeranja dobije se izrazom

$$\Delta p = \pm S \frac{\theta_a''}{\rho''}, \quad (7)$$

pri čemu je θ_a'' veličina greške orijentisane razlike, tj.

$$\theta_a'' = \Delta''(\Delta\alpha_{\text{or}}).$$

Srednja greška poprečnih pomeranja m_p računa se po formuli:

$$m_p = \pm m''(b-a)_{\text{or}} \cdot \frac{S}{\rho''} \quad (8)$$

Pri tom je:

$$m(b-a)_{\text{or}} = \pm \sqrt{m_a^2(b-a) + m_{\text{or}}^2};$$

$$m(b-a) = \pm \sqrt{m_a^2 + m_b^2}; \quad m_{\text{or}} = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{n(n-1)}},$$

gde je n broj opažanih pravaca na orijentacijske tačke, $v = v - \varphi$ (definitivni smerni ugao — definitivno orijentisani pravac), m_a srednja greška aritmetičke sredine opažanog pravca u n girusa u početnoj seriji opažanja, m_b srednja greška aritmetičke sredine opažanog pravca u n girusa u narednoj seriji opažanja.

Na osnovu računatih grešaka m_p možemo kritički ocenjivati kvalitet određivanja poprečnih pomeranja. Ako je $m_p \geq p$, onda se smatra da opažana tačka nije promenila svoju poziciju.

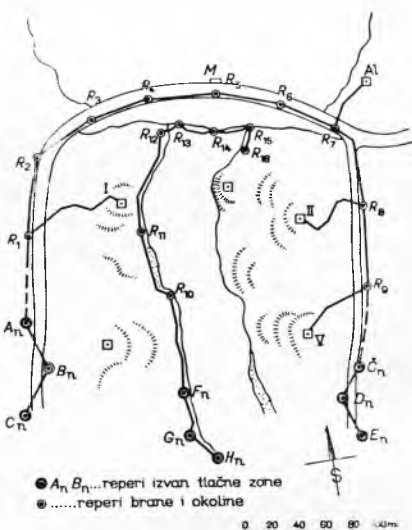
Ako su vrednosti pomeranja p nekoliko puta veće od srednjih grešaka m_p , sme se sa sigurnošću zaključiti da računata (odnosno precizno grafički) određena pomeranja predstavljaju realne veličine.

Za mikrotrigonometrijska merenja se preporučuje upotreba teodolita najveće preciznosti. Standardni tip teodolita koji se koristi za ova merenja je teodolit Wild T₃ sa podatkom 0,2'' (stara podela 360°) odnosno 1° (nova podela 400°). Teodolit Wild T₃ ima okulare koji se mogu zameniti i tako su moguća uvećavanja durbina 24×, 32× i 40×. Za osmatranje brane svakako se preporučuje korišćenje najvećeg uvećavanja.

Opažanjem u dva girusa postiže rutiniran opservator ± 0,5'' pri merenju horizontalnih uglova. To znači da se može postignuti tačnost ± 0,3 mm u određivanju pomaka pri dužini vizure 100 m.

Ipak time još nije rečeno da se deformacije mogu tako tačno odrediti, jer treba imati u vidu da utiču još i drugi faktori, kao što su tačnost centriranja instrumenta, tačnost centriranja signalnih značaka na stubovima, dobra vidljivost orijentacijskih tačaka, dnevni čas opažanja itd. S obzirom na te faktore treba računati sa nešto većom greškom, ± 0,5 mm.

Određivanje visinskih deformacija. Precizni nivelman. Visinske deformacije brane su mahom tako nezatne da se ne mogu odrediti običnim, tehničkim nivelmanom. Već samo nagomilavanje grešaka na dužim odstojanjima govori u prilog upotrebe preciznog nivelmana. Analogno kao pri određivanju horizontalnih



Sl. 39. Smeštaj repere za precizni nivelman

deformacija, treba i pri određivanju visinskih promena tražiti priključke na nepomične tačke — u ovome slučaju visinske tačke odnosno repere — van zainteresovane zone brane (sl. 39).

Na samoj brani bit će najpriступaćniji deo za niveliranje kruna ili vrh brane. Zbog toga se biraju tačke za niveliranje u onim poprečnim preseccima gde se nalaze kontrolne tačke koje se određuju trigonometrijskim putem.

Između polaznih repa (tri »data«) i brane ugrađuju se međureperi radi kontrole promene okoline brane. Razumljivo je da treba nivelirati i sve za nivelman dostupne stubove za opažanje.

Za izvođenje preciznog nivelmana upotrebljavaju se prvoklasni niveliri najveće preciznosti, kao npr. Wild N₃, Zeiss »A«, Ni₂ sa planparalelnom pločom itd. Npr. uvećavanje durbina na niveliru Wild N₃ iznosi 42× a osetljivost libele je 6'' na 2 mm. Upotrebljava se invarna letva dužine 3 m sa dvojnomoj centimetarskom ili dvojnomoj centimetarskom podelom. Horizontalna vizura koja se određeni interval na letvi optično se pomakne pomoću mikrometrijskog vijka planparalelne ploče tako da se podudara sa prvom bližom podeonom crtom letve. Pomak se pročita direktno na bubnju mikrometra na $\frac{1}{10}$ mm a može da se oceni i $\frac{1}{100}$ mm. Tačnost takvog čitanja zavisi od koincidiranja krajeva mehurca libele, od viziranja i od optičkog mikrometra. Praksa je pokazala da se preciznim nivelmanom može postignuti tačnost ±0,4 mm na 1 km kod dvostrukog niveliranja. Visinska razlika između dve susedne tačke na kruni brane može se dvostrukim niveliranjem odrediti približno sa tačnošću ±0,05 mm.

Određivanje vertikalnih deformacija merenjem vertikalnih uglova. Mikrotrigonometrijski nivelman primenjuje se kad kontrolne tačke brane za koje se žele odrediti nastale visinske promene nisu pristupačne za precizno niveliranje.

Za računanje visinske promene kontrolne tačke B opažane sa stuba A upotrebljava se formula:

$$p_B = \frac{S}{\rho''} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \Delta \alpha'' + \Delta i \quad (9)$$

u kojoj je S horizontalno odstojanje \overline{AB} , α visinski, tj. vertikalni ugao (+ ili -), $\Delta \alpha''$ razlika visinskog ugla dobivenog kod početnog i narednog opažanja, Δi razlika visine instrumenta izmerene kod početnog i narednog opažanja.

Formula važi za slučaj da se visina stuba A i njegovo odstojanje od tačke B nije promenilo.

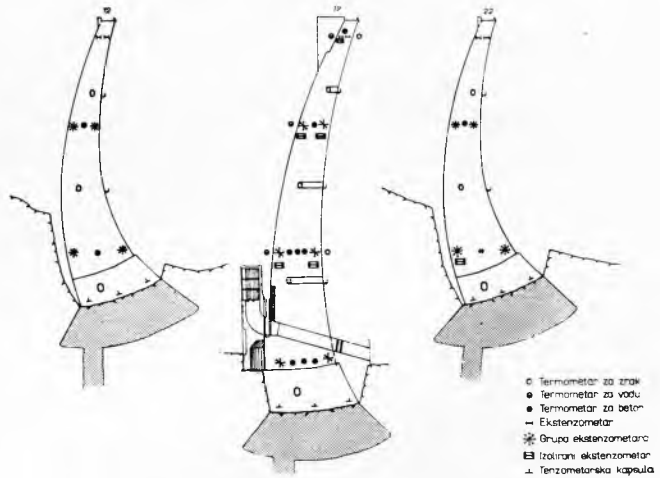
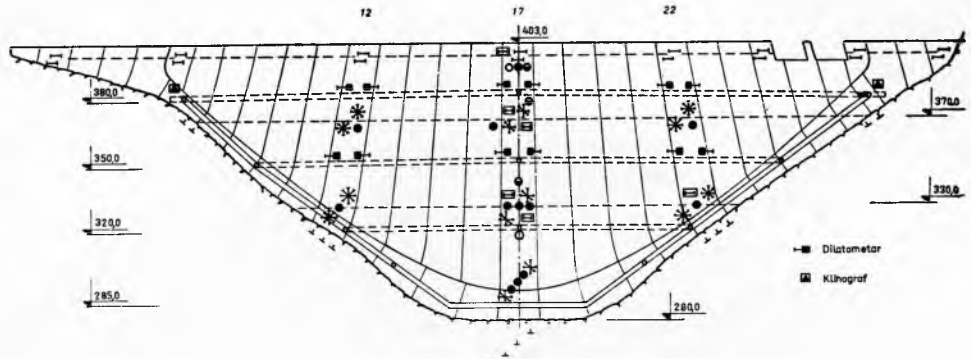
U protivnom slučaju treba računati visinske promene pomoću jednadžbe:

$$p_B = \frac{S}{\rho''} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \cdot \Delta \alpha'' + \operatorname{tg} \alpha \cdot \Delta S + \Delta i + p_A \quad (10)$$

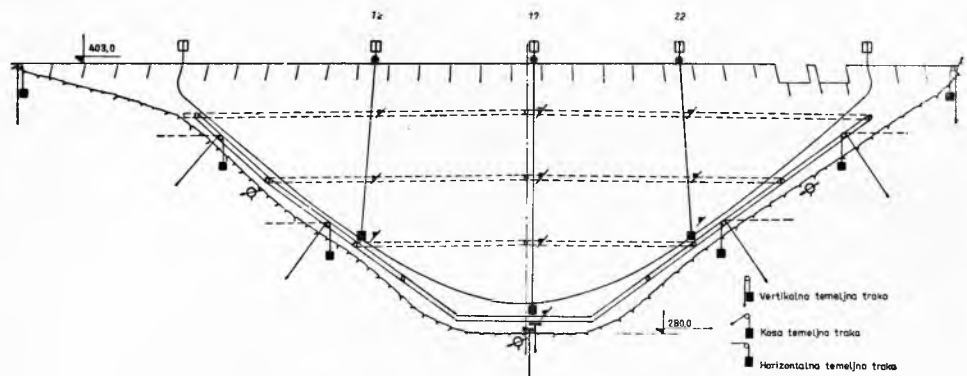
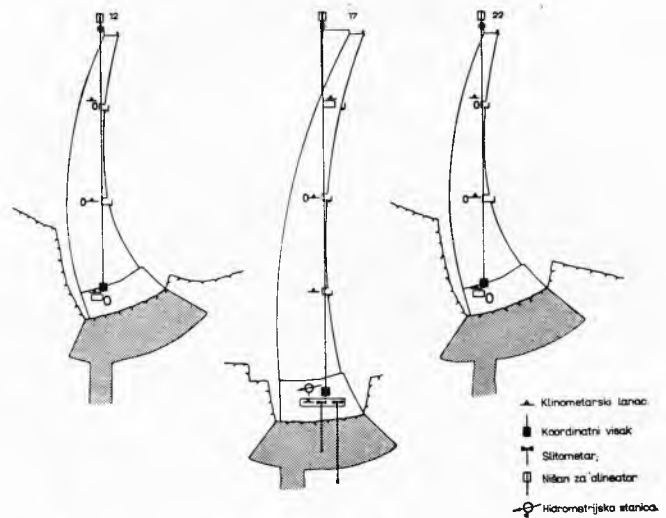
u kojoj je p_A visinska promena stuba A (određena preciznim niveliranjem ili merenjem visinskih uglova na bar dve bliže čvrste tačke), ΔS promena dužine \overline{AB} . Posebnim dodatkom kod naprave za prisilno centriranje teodolita može se podešavati uvek ista visina instrumenta, prema tome će biti $\Delta i = 0$.

Analizom se može dokazati da je tačnost određivanja visinskih promena ovom metodom zavisna od što tačnijeg određivanja nastale promene $\Delta \alpha$ vertikalnog ugla α između prvobitnog i narednog merenja.

Opažanjem u dva girusa sa teodolitom Wild T₃ može rutinirano opservator postići ±0,9'', što znači da se mogu visinski pomaci odrediti sa tačnošću ±0,5 mm pri dužini vizure od 100 m.



Sl. 40. Raspored električnih instrumenata na brani Grančarevo



Sl. 41. Raspored ostalih instrumenata na brani Grančarevo

Zbog greške kod merenja visine i , greške viziranja i atmosferskih uticaja povećava se ova greška na $\pm 0,8$ mm. *F. Rudl*

SLUŽBA OSMATRANJA

Tip brane, dimenzije objekta, geološke i geotehničke prilike, pogonski i ostali uslovi utiču na izbor metoda za osmatranje i na obim upotrijebljenih instrumenata.

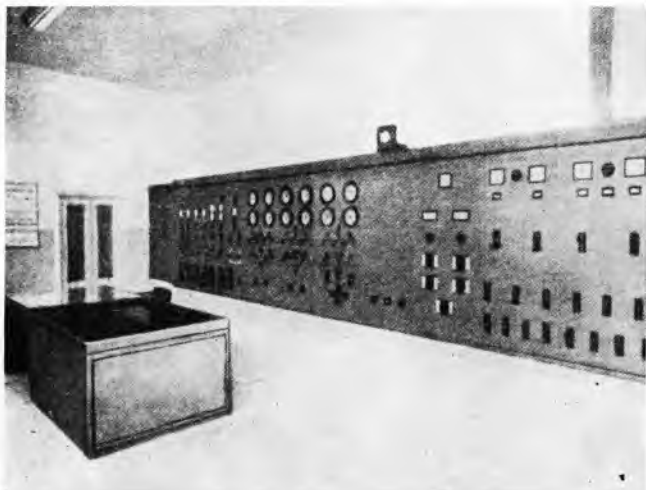
Osmatranje brane osniva se na glavnom projektu koji obuhvaća sva potrebna teorijska razmatranja na osnovu statičkog proračuna konstrukcije, geostatičkih analiza nosivosti oslonaca, modelskih ispitivanja, terenskih ispitivanja itd. Projektom mora biti izvršen izbor instrumenata i određen broj mjernih mjesta. Tako, npr., na brani Grančarevo za permanentnu kontrolu postoji 297 mjernih mjesta sa 15 vrsta instrumenata (sl. 40 i 41). Sredstva koja se u tu svrhu ulažu iznose oko 2% investicija za branu.

Za ocjenu realnog ponašanja objekta osmatranje je kontinuirano u različitim uslovima pogona. Iz tih razloga osniva se služba osmatranja. Rukovodstvo ove službe povjerava se građevinskom inženjeru odgovarajuće specijalizacije. Služba osmatranja odgovorna je za realizaciju glavnog projekta i programa osmatranja. Ona vodi odgovarajuće dnevnike, grafikone i obavlja prvu obradu podataka.

Za potrebe službe osmatranja obično se izgrađuje posebna stanica za osmatranje (sl. 42). U njoj su centralizirana sva daljinska i ostala mjerenja, kao meteorološka, seizmografska itd. (sl. 43). Zahtjevi koji se pred ovu službu postavljaju najbolje ilustrira primjer brane Vaiont. Prilikom katastrofe 9. oktobra 1963, dvadeset stručnjaka ove službe izgubili su živote vršeći svoju dužnost. Stanica za osmatranje odnesena je vodnim valom visine oko 70 m.



Sl. 42. Stanica za osmatranje brane Grančarevo



Sl. 43. Centrala stanice za osmatranje brane Pieve di Cadore

Interpretaciju podataka obavlja projektna organizacija jer je ona najmjerodavnija da ocijeni težinu registriranih podataka. Neke pojave koje za neki tip brana mogu biti beznačajne, za drugi tip mogu biti znak ozbiljnih oštećenja. Također, neke pojave koje su u granicama prihvatljivosti u normalnim uslovima pogona, mogu u posebnim slučajevima ukazati na potrebu poduzimanja naročitih mjera opreza. Interpretacija podataka je dug i složen posao koji zahtijeva stručnjake različitih specijalnosti. Ona se osniva na velikom broju elemenata koji su neophodni za ocjenu realnog ponašanja brane. Zato se za obradu podataka i interpretaciju sve više primjenjuju elektronske računске mašine. *P. Stojić*

LIT: Za fizičke metode osmatranja brana: *A. U. Huggenberger*, Talsperren-Meßtechnik, Berlin 1945. — *F. Zanini*, Apparecchi per il controllo delle dighe, Milano 1954. — *H. Cambefort*, Forages et sondages, Paris 1957. — *C. Я. Ейдельман*, Натурные исследования бетонных гидротехнических сооружений, Москва 1960. — Tecnica delle dighe di ritenuta in Italia, u djelu: *A. N. I. D. E.L.*, Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani, Roma 1961. — *H. Steinbichler*, Instrumentarium für Großversuche in Fels. Geologie und Bauwesen, 27, 20—27 (1961). — Za geodetske metode: *K. Ulbrich*, Geodätische Deformationsmessungen an österreichischen Staumauern und Großbauwerken. Österr. Zeitschr. f. Vermessungswesen, Sonderheft, Wien 1956. — *F. Kobold*, Geodätische Methoden zur Bestimmung von Geländebewegungen und von Deformationen an Bauwerken. Schweiz. Bauzeitung, 76, 163—168, 182—187 (1958). — *A. Marazio*, La misura della basi nelle triangolazioni atte alla determinazione degli spostamenti delle grandi dighe. L'Energia Elettr., 37, 222—230 (1960). — *T. Lazzarini*, Geodezjne pomiaru odkształceń i ich zastosowanie w budownictwie, Warszawa 1961. — *V. Staněk*, *V. Krumpáň*, Studium periodických posunů gravitačních betonových přehrad. Geodet. a kartograf. sborník, 9, 77—90 (1963). — *F. Rudl*, O tačnosti određivanja deformacija i pomeranja visokih pregrada mikrotigonometrijskim merenjem. Geodetski list 18 (41), 3—23, 79—106, (1964). — *П. Н. Браун*, Геодезические методы измерения деформаций у сооружений, Москва 1965. — Oprećenje osmatranju brana, naročito o organizaciji osmatranja: *B. Kujundžić*, Osmatranje visokih brana u FNRJ, Beograd 1960. *P. Stojić F. Rudl*

BRAVA, naprava kojoj je svrha da drži zatvorene prostorije, zagrađena mjesta, vozila, objekte za pohranu predmeta itd., i to ili tako da zatvoreni prostor bar s jedne strane može otvoriti bilo tko (*zatvaranje* u užem smislu) ili tako da se on može otvoriti samo odgovarajućim ključem (*zaključavanje*). Brava mora biti toliko čvrsta i otporna da se nasilno ne može otvoriti a da se ona ne ošteti i onesposobi; od nje se traži i da bude sigurna, tj. da se ne može otključati ključem koji joj ne odgovara, a ni predmetom podešenim za tu namjeru, a da se ne ošteti. To zahtijeva da pojedine brave budu različite jedna od druge, makar u sasvim neznačajnoj mjeri, a isto tako i njihovi ključevi. Što je veći broj mogućih varijacija u izvedbi to je veća i sigurnost protiv neovlaštenog otključavanja. Zahtjevu sigurnosti odgovaraju pojedini tipovi brava samo u izvjesnom stepenu, a stariji tipovi brava zadovoljavaju tome uglavnom samo ako pokušaje nepovlasnog otvaranja čine nestručna i nevjesta lica. Brave koje udovoljavaju tom zahtjevu u velikoj mjeri zovu se sigurnosne brave.

Već su stari Egipćani, Grci, Rimljani, Kinezi i drugi narodi imali primitivne naprave za zaključavanje prostorija, i to od drveta. Prema nalazima u iskopinama može se zaključiti da su Rimljani u kasnijoj epohi već imali metalne brave i ključeve, ali se nisu sačuvala njihove željezne brave, već samo brončani ključevi. Pretpostavlja se da je izrada brava kod njih bila već prilično napredna i proširena po čitavom teritoriju njihove imperije. Ni naša, a ni bugarska riječ »brava« vjerojatno nije slavenskog porijekla, već je primljena od balkanskih starosjedilaca, jer na šiptarskom riječ »bravi« ima isto značenje.

U Srednjem vijeku izrada željeznih brava razvijala se od XI st. dalje uporedo s razvitkom bravarskog zanata. Brave su i dale ime tom zanatu gotovo u svim jezicima. Brave i ključevi dotjerivali su se ukrasnom izradom. Istaknuti majstori na tom polju do XVII st. bili su Nijemci, a u drugoj polovini XVII st. Francuzi su unaprijedili izradu brava uvođenjem uređaja za utvrđivanje zaptora i zatvaranjem mehanizma u kutiju. Od tada se sve manje polagala važnost na umjetničku, a više na tehničku stranu izvedbe. U XIX st. ostvaren je upravo revolucionaran napredak u izradi sigurnosnih brava. Pronalaze se novi tipovi brava poznati pod imenima njihovih izumitelja: Bramah, Chubb i Yale, od kojih oba posljednja sistema brava, napose zapornih uređaja, još i danas prevladavaju.

Potražnja za bravama je vrlo brzo rasla, tako da joj zanatska proizvodnja nije mogla udovoljavati, pa se prešlo na tvorničku proizvodnju. Ona se od druge polovine XIX st. sve više razvijala i u industrijski razvijenim zemljama sasvim potisnula zanatsku proizvodnju, ostavljajući bravarskom zanatu samo popravke.

Velika potražnja i konkurencija proizvođača brava prouzročila je velik porast broja tipova brava. Ako se i ne uzmu u obzir ranije izvedbe koje su pale u zaborav, može se računati da u cijelom svijetu ima na tisuće različitih tipova brava (u samoj Engleskoj u novije doba preko 1250) ne samo u upotrebi već i u proizvodnji. Na ovom mjestu opisivanje tipova brava i funkcioniranje njihovih sastavnih dijelova ograničit će se na tipične izvedbe.

Sastavni dijelovi (elementi) brava

Brava može imati uređaj ili samo za zatvaranje ili samo za zaključavanje, ili i za zatvaranje i za zaključavanje. Osnovni element za zatvaranje je *zasun* (kračun, reza, prečanica, šip). To