



**SVEUČILIŠTE U MOSTARU
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**SEMINARSKI RAD IZ KOLEGIJA:
MEHANIKA STIJENA**

**Mostar, siječanj 2004god.
Asistent: mr. sc. Amira Galić**

Predavač: prof. dr. sc. Pero Marijanović

HE RAMA ČVORIŠTE VODOSTANA

PROJEKT SANACIJE PRVE FAZE

SIDRENJE PADINE

Sadržaj:

1. UVOD (GEOTEHNIČKA SIDRA)
2. PROBLEMATIKA
3. OSVRT NA ISTRAŽNE RADOVE
4. KRATAK PRIKAZ TEHNIČKOG RJEŠENJA
5. TEHNIČKI UVJETI IZVEDBE
6. ZAKLJUČAK
7. GRAFIČKI PRILOZI

1. UVOD

- OPĆENITO O GEOTEHNIČKIM SIDRIMA -

Sidro u sastavu geotehničkih konstrukcija predstavlja nosivi element preko kojeg se vlačna sila s konstrukcije prenosi u tlo.

Na jednom svom kraju -sidrištu - nalazi se mehanizam sidra (sidrišno *tijelo*), a na drugom kraju - glava sidra - matica i podložna ploča.

Zajedno sa sidrišnim tijelom uvode se u bušotinu, gdje se u unutrašnjosti stijene uklješte odnosno učvrste na razne načine. Glava sidra ostaje izvan bušotine, a podložna ploča se pričvršćuje na slobodnu površinu stijene. Ona preuzima opterećenje stijene i prenosi ga na sidro.

Na slici br.1 šematski je prikazano prednapregnuto sidro s tipičnim elementima i oznakama .

L_f - duljina slobodne dionice sidra

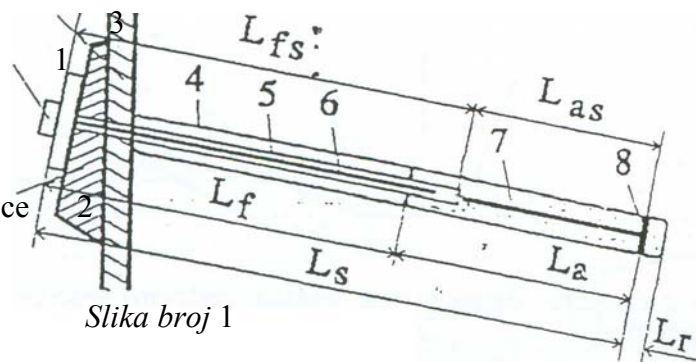
L_a - duljina sidrišne dionice sidra

L_o - ukupna dužina sidra

L_{fs} - slobodna duljina čelika

L_{as} - duljina usidrenja čelične natezne dionice

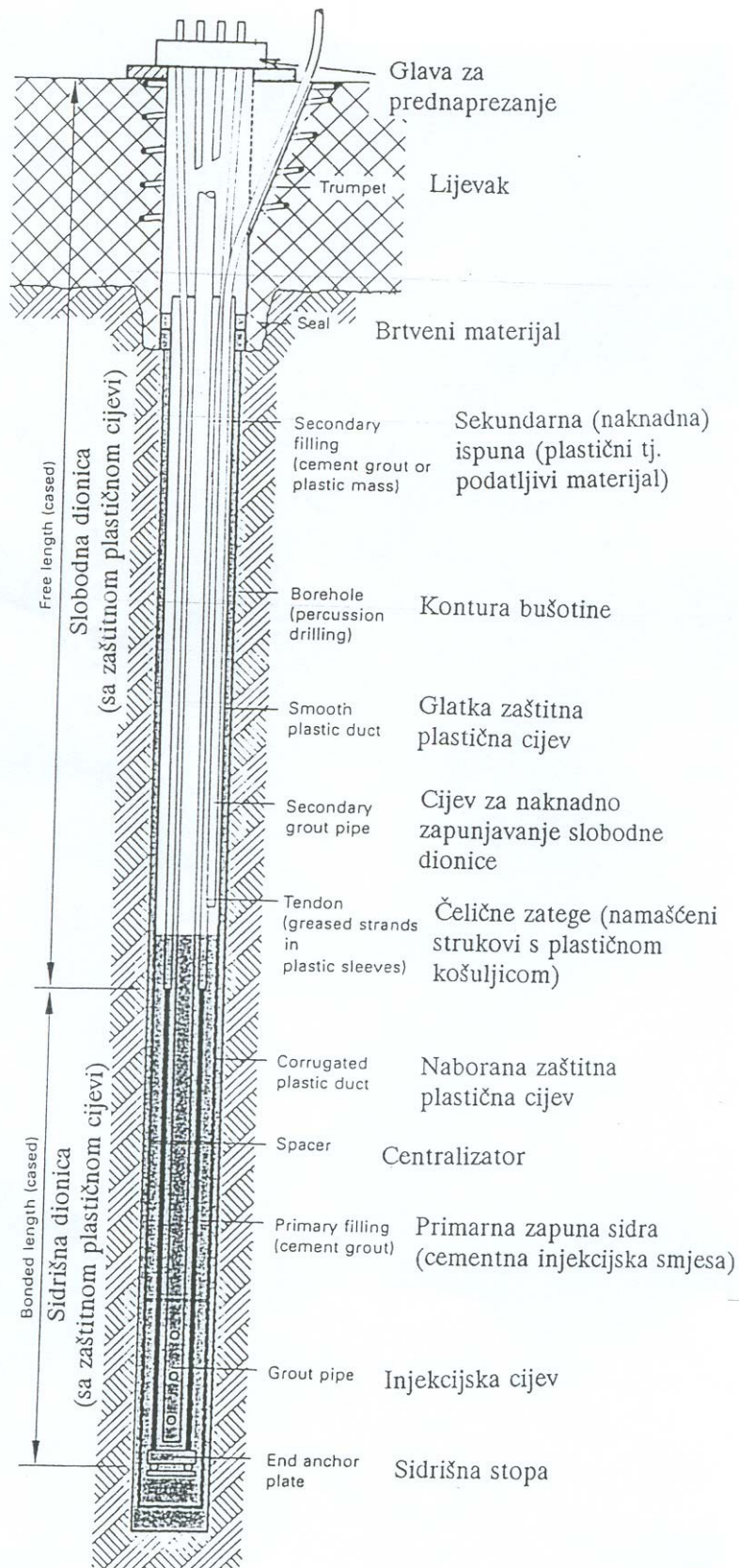
L_r - rezervni produžetak bušotine



Elementi sidra su:

1. GLAVA SIDRA (s maticom i podložnom pločom)
2. KONSTRUKCIJA OSLOMCA
3. USIDRENA KONSTRUKCIJA
4. BUŠOTINA
5. ZAŠTITNA CIJEV
6. ČELIČNA NATEZNA DIONICA
7. INJEKCIJSKO TIJELO (sidrišno tijelo)
8. SIDRIŠNA SIDPA

GEOTEHNIČKO SIDRO CONA-SOL GM 19.05 (sa zaštitnim plastičnim cijevima duž cijelog sidra)



2. PROBLEMATIKA

Postoje vrlo podrobna izvješća o pojavi procurivanja vode iz čvorišta vodostana, već neposredno nakon puštanja hidroelektrane u pogon. Zabilježeno je npr. da je u pristupnom tunelu uočeno procurivanje u siječnju 1969. godine, kod razine vode u akumulaciji 560 do 564 m (tlak od cca 60 m vodenog stupca). Dalje se nižu podaci o progresivnom pogoršanju stanja u svim objektima čvorišta vodostana, koje se već tijekom te iste godine (1969.) u nekoliko navrata pokušalo spriječiti, provedbom određenih sanacijskih zahvata.

Ono što je bilo zajedničko svim tim pokušajima svodilo se isključivo na razne tehnike brtvljenja, bilo da je riječ o klasičnim brtvama (pukotinske binde, kitovi, razne mase i sl), bilo da je riječ o injekcijskom brtvljenju stijene oko čvorišta vodostana.

Određeni izuzetak u koncipiranju programa sanacijskih zahvata odnosi se na 1994. godinu. Tada su naime, pored niza radova koji su imali spomenuti brtveni karakter, uvršteni i zahvati geostatičkog sprežanja podzemnih objekata i njihove stjenske okoline.

U tom smislu s kratkim je sidrima lokalno spregnut armirano betonski cilindar vertikalnog okna (koji u gornjem dijelu nije armiran!), sa svojom stjenskom okolinom, a na globalnom planu izvedeno je sprežanje gornjeg dijela padine sa zaleđem, pomoću pet prednapregnutih geotehničkih sidara pojedinačne duljine 50 m.

Pregledom objekata čvorišta vodostana u ljetu 1995. godine (tj. po privremenom prestanku rada elektrane), utvrđeno je da su praktički u svim objektima čvorišta, a posebno u donjoj vodnoj komori i neposredno uzvodno kod tlačnih vratiju, zjapile pojedinačne ili čak u seriji, mnoge pukotine u obložnom betonu. Ta činjenica samo je učvrstila nastalo uvjerenje da sanacijske zahvate treba koncipirati kombinacijom mjera sprežanja i brtvenih mjera. Obzirom da se brtvene mjere razumiju same po sebi, ovdje ćemo tek ukratko navesti osnovni razlog koji je naveo na odluku o primjeni mjera sprežanja, tj. usidrenja padine uz pomoć prednapregnutih geotehničkih sidara.

Čvorište vodostana sastoji se od složenog sustava povezanih podzemnih prostora: pristupni tunel, završni dio dovodnog tunela, donja vodna komora, spojno koljeno, vertikalno okno vodostana, komora vodostanskih zatvarača te komora u osi tlačnih cijevi. Cijeli taj sustav stijenskog prošupljenja nalazi se više-manje plitko pod padinskom površinom, ispod koje prevladavaju dolomitne formacije razmjerno nepovoljnih deformacijskih karakteristika.

U takvim okolnostima, onaj veći dio sustava čvorišta vodostana koji se nalazi pod vodnim tlakom, svoje ravnotežno stanje uspostavlja tek po nastanku deformacija, koje su nesumnjivo znatno veće od predviđenih. Obzirom da su svi prostori čvorišta vodostana obloženi armiranim betonom, već je u početku rada elektrane došlo do pojave vlačnih pukotina i razmicanja radnih reški u toj oblozi.

Iako se svaki puta, po pražnjenju dovodnog sustava, veći dio nastalih pomaka smanji zbog povratnih pomicanja padinskog tijela, mjerenja i opažanja nedvojbeno pokazuju da je dio pomaka nepovratan. Nepovratni pomaci s vremenom se akumuliraju, što u krajnjoj liniji vodi prema općem kolapsu cijelog padinskog sustava.

S tim u vezi, nužan je radikalni sanacijski zahvat koji se svodi na sprežanje padinskog tijela i u njemu izvedenih objekata sa stabilnim stijenskim zaleđem. Taj cilj može se postići uz pomoć većeg broja prednapregnutih geotehničkih sidara znatne pojedinačne duljine.

3. OSVRT NA ISTRAŽNE RADOVE

U području čvorišta vodostana tijekom mnogih godina izvedeni su razni istražni radovi, uz koje svakako treba spomenuti i mnoga opažanja i mjerenja.

Na temelju izvješća o reinterpetaciji rezultata (Z. Langof, I. Katalinić) zaključak je:

Različitim metodama tehničkih promatranja utvrđeno je s velikim stupnjem sigurnosti, da procjedne vode iz čvorišta imaju znatan utjecaj na ponašanje stijenskog masiva i njegovu stabilnost. Spomenuti utjecaj se manifestira u vidu pomicanja stijenskog kompleksa u zoni čvorišta kada je okno napunjeno vodom i djelomičnog povratka pomaka nakon pražnjenja okna.

Cijeli stijenski masiv ponaša se kao granularna sredina, odnosno s podizanjem razine u vodostanskom vertikalnom oknu dolazi do visinskih izdizanja pojedinih dijelova masiva i gornje vodne komore, a nakon pražnjenja nastaje slijeganje. Ova činjenica ukazuje na zaključke, da se stijenski masiv nalazi pod velikim hidrostatskim opterećenjem i uzgonom, što može u određenom momentu dovesti i do pojave nestabilnosti same padine, dijelova padine i objekata u padini.

Na osnovi cjelokupnog razmatranja problematike čvorišta i njegove stabilnosti nameće se generalni zaključak da je potrebno zaustaviti daljnji štetni razvoj uočenih pojava u stijenskoj masi i na objektima čvorišta, a koje su posljedica istjecanja vode iz objekata čvorišta.

Neki izvedeni istražni radovi (programirani u druge svrhe) u sebi su sadržavali i dio podataka koji su u određenoj mjeri mogli pomoći u globalnoj determinaciji svojstava padinskog tijela i njegovog zaleđa. Dio tih podataka stavljen je na raspolaganje i za potrebe ovog projekta.

No, i pored rečenog, fond podataka o padinskom tijelu bio je suviše oskudan, pa je dogovoreno da se hitno provedu neka neophodna istraživanja koja će kvalitativno i kvantitativno popuniti taj fond.

To se poglavito odnosi na hitne geofizičke istražne radove (Geotehnički fakultet Varaždin, Varaždin, lipanj 1996.), te na geološko-geodetske radove koji rezultiraju inženjersko-geološkim profilima (Građevinski institut Sveučilišta u Mostaru). U velikoj vremenskoj stisci, s neizbježnim pratećim poteškoćama ovi su radovi uglavnom realizirani, a njihove rezultate projektanti su dobivali tijekom rada.

4. KRATAK PRIKAZ TEHNIČKOG RJEŠENJA

SANACIJSKI KONCEPT: Obzirom na postavljenu tehničku dijagnozu generalnog stanja čvorišta vodostana, osnovna ideja sanacijskog rješenja svodi se na smanjenje deformabilnosti padinskog tijela. Nakon razmatranja nekoliko različitih mogućnosti pristupa tom poslu, nametnulo se kao optimalno rješenje, sprezanje padinskog tijela i sustava podzemnih objekata čvorišta vodostana u stabilno stijensko zaleđe.

Ovo sprezanje provelo bi se uz pomoć većeg broja prednapregnutih geotehničkih sidara, koja bi se uglavnom izvodila iz novoizvedenih podzemnih "štolni" te iz postojećih podzemnih prostora. Manji broj sidara izveo bi se s površine terena.

Sidra u podzemlju osiguravaju daleko kvalitetniju spregu između padinske stijenske mase, čvorišnih objekata i stijenskog zaleđa, u odnosu na sidra koja se izvode s površine padine. Naime, sidra s površine padine imala bi višestruko veću duljinu (nekoliko stotina metara) i upirala bi se u degradirane dolomitne formacije, čija je debljina također velika. Sve te utjecalo bi na višestruko povećanje deformacijskih karakteristika sidrenog sustava, što bi na koncu gotovo obezvrijedilo cijeli zahvat.

Prema tome, središnji element sanacijskog koncepta, svodi se na sprezanje padine i čvorišnog sustava pomoću geotehničkih sidara izvedenih u podzemlju.

Niz ostalih sanacijskih zahvata, koji upotpunjavaju cjelokupno tehničko rješenje sanacije te sprečavaju procurivanje vode iz podzemnog sustava čvorišta vodostana, navodi se kako slijedi:

- Globalni injekcijski zahvati (konsolidacijsko injektiranje stijene) kroz sve sidrišne bušotine, te kroz niz drugih bušotina izvedenih bilo iz podzemlja bilo s površine.
- Radijalni injekcijski zahvati poglavito duž donje vodne komore, ali i duž drugih tunelskih dionica.
- Obrada i brtvljenje postojećih pukotina kao i radnih i dilatacijskih reški, na način da se omogući prilagođavanje konstrukcije dinamičkim procesima unutar stijenske mase.
- Bušenje drenažnih bušotina po padinskoj plohi te regulirano izvođenje dreniranih voda koje dolaze iz područja dovodnog tunela, ali i iz izvedenih "štolni".
- Uspostava objedinjenog i usklađenog sustava oskultacija na cijelom području čvorišta vodostana, prema posebno izvedenom projektu.

Sa stanovišta Sidrenja padine koje se razmatra u ovom elaboratu važno je naglasiti da je prva faza radova svedena na slijedeće:

-Izvedba 8 kom geotehničkih sidara velike nosivosti (lomna sila čelika je 3500 kN) s površine padine (tzv. vanjska sidra), tj. između kote 560 i 580 m.n.m.

-Izvedba 12 kom geotehničkih sidara iste nosivosti (3500 kN) iz podzemnih prostora čvorišta vodostana, i to:

- 2 x 2 = 4 sidra iz pristupnog tunela
- 8 sidara iz komore vodostanskih zatvarača

Dakle, ukupno se u prvoj fazi izvodi 20 prednapregnutih geotehničkih sidara, duljine 70 do 115 m (ukupne duljine 1915 m), s time da sva sidra imaju jednaku sidrišnu duljinu $L_a = 15 m$.

Bušotine za sidra koriste se ujedno i kao konsolidacijske bušotine, pa je s tim u vezi predviđeno da će prosječni utrošak suhe tvari pri injektiranju biti 300 kg/m'.

5. TEHNIČKI UVJETI IZVEDBE

REDOSLJED RADOVA

Prema projektom propisanim uvjetima izvođenja radova za geotehnička sidra, redosljed aktivnosti bio je sljedeći:

- a) bušenje,
- b) jezgrovanje u sidrišnoj dionici,
- c) konsolidacijsko injektiranje čitave bušotine,
- d) ponovno bušenje (pročišćavanje) bušotina,
- e) ispitivanje vodopropusnosti u sidrišnoj dionici,
- f) u slučaju potrebe, ponovno konsolidacijsko injektiranje sidrišne dionice i ponovno ispitivanje vodopropusnosti,
- g) ugradnja sidra,
- h) injektiranje sidra, koje se sastojalo od:
 - zapunjavanja čepa na dnu sidrišne dionice,
 - injektiranja sidrišne dionice nakon ulaganja sidra u bušotinu,
 - injektiranje (zalijevanje) čitave duljine sidra smjesom za zalijevanje sidrišne dionice (vanjski dio bušotine),
 - zalijevanje slobodne dionice (unutarnji dio između čeličnih strukova),
 - zalijevanje dijela sidra unutar sidrišnog bloka nakon prednaprezanja sidra,
- i) izrada sidrišnog bloka,
- j) prednaprezanje sidara, te
- k) antikorozivna zaštita glave sidra s montažom zaštitnih poklopaca na sidrišne glave

5.1. Bušenje

Metode bušenja bile su rotacijski i rotacijski-udarna($\Phi=150$ mm,u ukupnoj duljini od 1955 m), a bušeno je vodom i zrakom.

Bušilice su bile tipa HAUSHERR I CLIVIO(u prilogu).

PROJEKTNI ELEMENTI ZA BUŠOTINE

OZNAKA SIDRA	α [°]	β [°]	DULJINE		
			Slobodna	Sidrišna	Ukupna
			[m]	[m]	[m]
S-6	135	60	65,0	15,0	82,0
S-7	135	70	75,0	15,0	92,0
S-8	130	70	85,0	15,0	102,0
S-9	120	60	85,0	15,0	102,0
S-10	115	60	95,0	15,0	112,0
S-11	100	60	85,0	15,0	102,0
S-12	115	60	65,0	15,0	82,0
S-13	120	70	85,0	15,0	102,0

α - kut azimuta

β - kut otklona od vertikale

Prilikom bušenja u sidrišnoj dionici jezgrovanjem je izvađen dio materijala tla radi geotehničkog pregleda.

5.2 Konsolidacijsko injektiranje sidara

Konsolidacijsko injektiranje sidara u pravilu je izvođeno neposredno nakon izvršenog bušenja. Injektiranje se vršilo mikrocementom RHEOCEM RC900 i RC650SR. Obzirom na velike utroške mikro cementa, posebno u tzv. jalovoj zoni, injektiranju se pristupilo uz upotrebu portland cementa PC45.

Sidrišna zona svih sidara injektirana je u tri etaže, prvoj je duljina bila 7 m, a preostale dvije po 5 m. Na preostalom dijelu injektiranje je provedeno u pravilu u etažama od po 10 m.

Kao plastifikator dodavan je Rheobuild u količini 2% od težine cementa.

5.3 Ugradnja sidara

Nakon montaže sidara, sidra su transportirana do mjesta ugradnje. Na priloženoj fotodokumentaciji vidi se da se nanošenje sidara obavljalo ručno angažmanom 40-50 ljudi.

Ugradnja sidara sastojala se od sljedećih operacija:

- a) prijenos sidra do bušotine
- b) polaganje sidrišne dionice u bušotinu
- c) injektiranje sidrišne dionice
- d) ugradnja sidra u bušotinu u punoj duljini

Elementi ugrađenih sidara

Prema Projektu sidrenja padine čvorišta vodostana, predviđeno je ugraditi sidra slijedećih karakteristika:

- snop čeličnih strukova $19 \Phi 0,5''$
- presjek $A_{\check{c}} = 18,81 \text{ cm}^2$
- granična vlačna čvrstoća $\beta_{tu} = 186 \text{ kN/cm}^2$
- sila granične nosivosti $S_u = 3500 \text{ kN}$
- sila prednapinjanja $S_p = 0,60 * S_u = 2100 \text{ kN}$

Stvarno ugrađena sidra su slijedećih karakteristika:

- snop čeličnih strukova $18 \Phi 0,52''$
- presjek $A_{\check{c}} = 18,00 \text{ cm}^2$
- granična vlačna čvrstoća $\beta_{tu} = 186 \text{ kN/cm}^2$
- sila granične nosivosti $S_u = 3348 \text{ kN}$
- sila prednapinjanja $S_p = 0,65 * S_u = 2100 \text{ kN}$

NAPOMENA: *Prema odredbama SIA 191 normi sila S_p treba biti manja od $0,75 S_u$*

Obzirom da se radi o stalnim sidrima pošlo se sa stanovišta da je koroziona zaštita primarni element sigurnosti. Izuzetno velika duljina sidara bitno otežava njihovu ugradnju, a to može biti uzrok oštećenja njihove korozione zaštite.

Kako bi se smanjila ova potencijalna opasnost za vanjsku zaštitu odabrana je PE cijev $\Phi 110/90 \text{ mm}$. Znači debljina zaštitne stijenke iznosi punih 10 mm.

Ovako odabrana cijev ne omogućava ugradnju 19 strukova (maksimalno 18). Time je smanjena granična nosivost čeličnog elementa sidra za 5,3 %, ali je nosivost sidra kao geotehničke konstrukcije ostala nepromijenjena.

Kako je čelični element sidra u smislu nosivosti pouzdan element akcent je stavljen na korozionu zaštitu, što je i inače najslabija karika u lancu sidara.

5.4 Injektiranje sidara nakon ugradnje

Injektiranju, odnosno zalijevanju sidara pristupilo se u pravilu odmah nakon ugradnje sidara. Za zalijevanje sidara korištena je smjesa za zalijevanje sidrišne dionice u sljedećem sastavu:

100% cement PC 30z45 S(Dalmacija cement, Solin)
0.5% INTRAPLASTA A na masu cementa
omjer ST:V=1:0.435 do 1:0.42.

Odstupanja od predviđenog režima injektiranja zabilježena su samo kod sidara S-7 i S-9.

5.5 Izvedba sidrišnih blokova

Projektom su predviđeni armiranobetonski potporni blokovi čije dimenzije je trebalo prilagoditi situaciji na terenu. Tipični blok na padini dimenzija je 2x2x1 m.

materijal za izvedbu bloka:

- beton MB 30,
- armatura RA 400/500.

Raspored geotehničkih sidara na padini izvršen je na osnovi karakteristika stijene na mikrolokacijama projektiranog položaja sidara i optimalnog prostornog preuzimanja sila na padini. Odabrana su mjesta na kojima sidra daju najpovoljnije efekte na stabilnost padine. Zbog toga su na nekim mjestima sidrišnih oslonaca karakteristike stijene bile dosta nepovoljne, to je utjecalo na povećanje iskopa. Iskop je izvršen do dubine na kojoj je ocijenjeno da se sile unešene u sidro mogu prenijeti preko sidrišnog bloka s dovoljnom sigurnošću u tlo.

Beton za sidrišne blokove prepremljen je od agregata koji je isporučio INTERINVEST d.d. iz Mostara..

Iskop za sidrišni blok i armatura sidrišnog bloka prikazani su u prilogu.

5.6 Prednaprezanje

Izvoditelj radova predložio je program prednaprezanja sidara koji se zasniva na švicarskim SIA normama sukladno projektnim pretpostavkama.

Osnovni elementi programa su:

- $P_p = 2100 \text{ kN}$

- $P_a = 210 \text{ kN}$ (10% sile P_p)

Generalno se program prednaprezanja provodi u dva dijela. U prvom dijelu provodi se ispitivanje do pune radne sile $P_p = 2100 \text{ kN}$ i potpuno rasterećenje do sile $P_p = 0$. Zatim se postavlja uređaj za zaklinavanje i u sidro se unosi sila prednaprezanja koja prema zahtjevu projektanta sidrenja iznosi $P_p = 2100 \text{ kN}$.

Aktivnosti u postupku prednaprezanja provedene su sljedećim redom:

- a) odmaščivanje čeličnih strukova otapalom i benzinom na dijelu izvan prijenosne ploče na sidrišnom bloku,
- b) navlačenje zaštitnih PE cijevi na strukove unutar sidrišnog bloka,
- c) postavljanje stalne glave sidra (COMPACT CM 1905),
- d) postavljanje radne glave za napinjanje sidara tipa CM 1905, Tr 170x5,
- e) montaža radnih klinova,
- f) postavljanje ploče za radne klinove 1905,
- g) montaža zvona za radnu glavu
- h) montaža vlačnog vretena (Tr 82x5 / 1700).
- i) postavljanje oslonaca preša (3 kom),
- j) postavljanje oslonaca za preuzimanje sile s kontramaticom,
- k) hidraulička preša,
- l) dinamometar za mjerenje sile,
- m) priključenje hidrauličke pumpe,
- n) postavljanje mjernih uzica za kontrolu izduženja sidra.

Nakon ovih pripremnih operacija proveden je postupak primopredajnog ispitivanja sidra.

Nakon što su registrirana zaostala izduženja na sili od 210 kN, sidro je potpuno rasterećeno i oprema demontirana. Na stalnu glavu (CC 1905) postavljeni su stalni klinovi i uređaj za zaklinavanje CM 300 za glave 1905. Iza toga ponovljen je postupak montaže opreme.

Procedura prednaprezanja provedena je sljedećom opremom:

- a) hidraulička pumpa PROCEQ Switzerland, (TYPE SP20, 750bar, 3kW, 220/380V, 50Hz)
- b) hidraulička preša PROCEQ (TYPE NP 2500, 680bar)
- c) dinamometar WIGA RING
- d) uređaj za zaklinavanje CM-300
- e) ploče za klinove, radni klinovi, spojnice, radna glava, vlačna vretena, kontra matice, mjerne urice, geodetski stalak i dr.

ZAKLJUČAK

Nakon završetka sanacijskih radova na čvorištu vodostana, koja su se svela na sprezanje padinskog tijela i u njemu izvedenih objekata sa stabilnim stijenskim zaleđem, znatno je povećana stabilnost padine.

Kombinacija geotehničkih sidara i brtvljenja se pokazala odgovarajućim rješenjem.

Treba napomenuti da je ovo bila prva faza usidrenja padine, a postignuti rezultati pokazat će je li potrebno ići i na drugu fazu, a potom i na neku daljnju fazu sanacije.

7. GRAFIČKI PRILOZI



Oprema za bušenje sidara - bušilica Hausherr



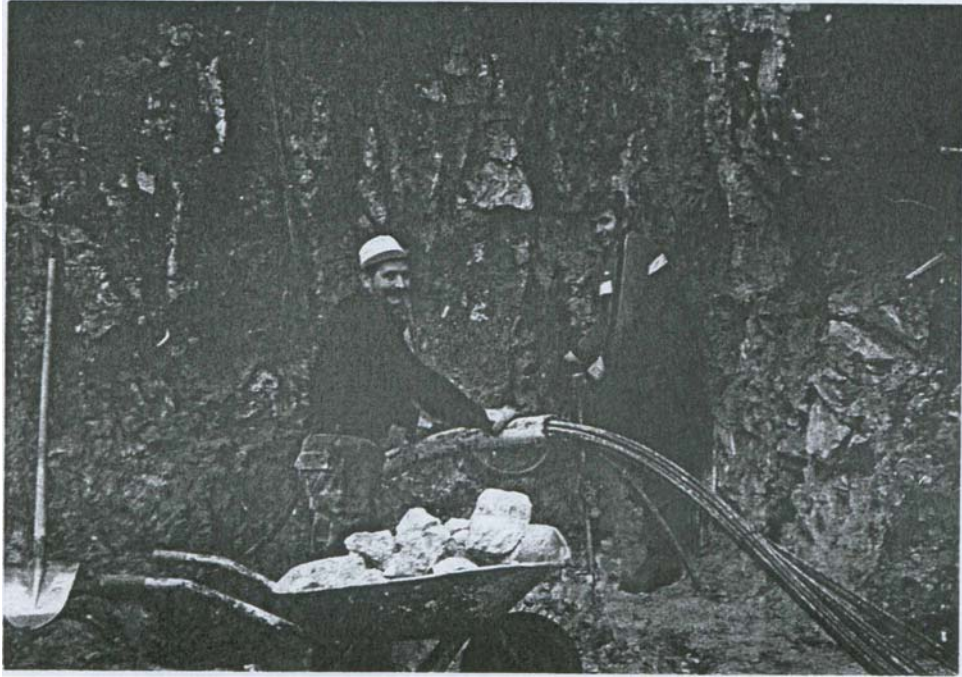
Oprema za bušenje sidara - bušilica Clivio



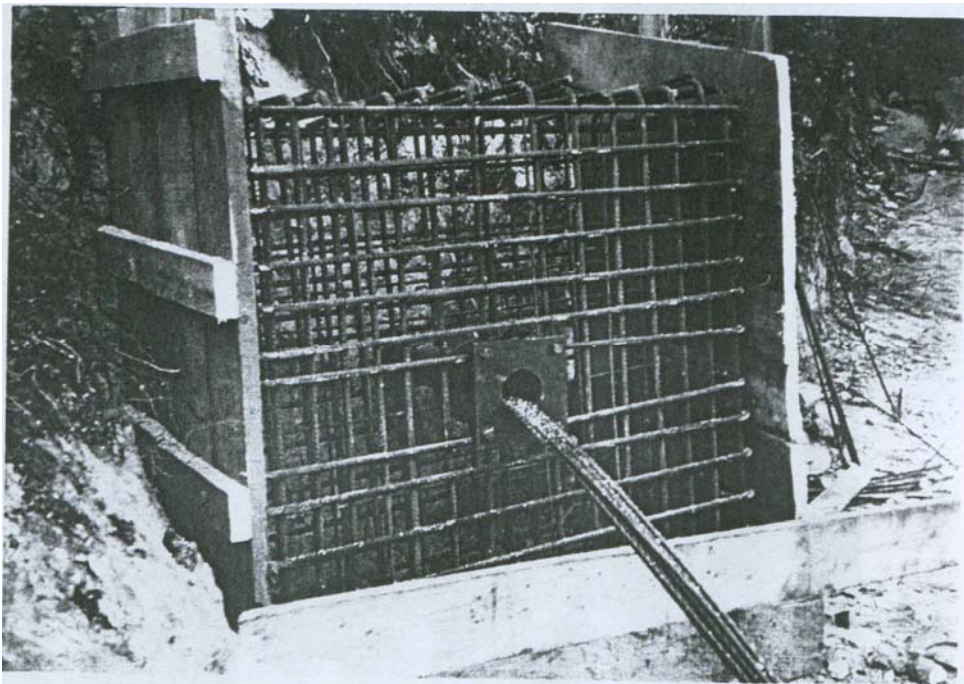
Ugradnja sidrišne dionice sidra S-7



Ugradnja sidra S-7 - dio uz bušotinu



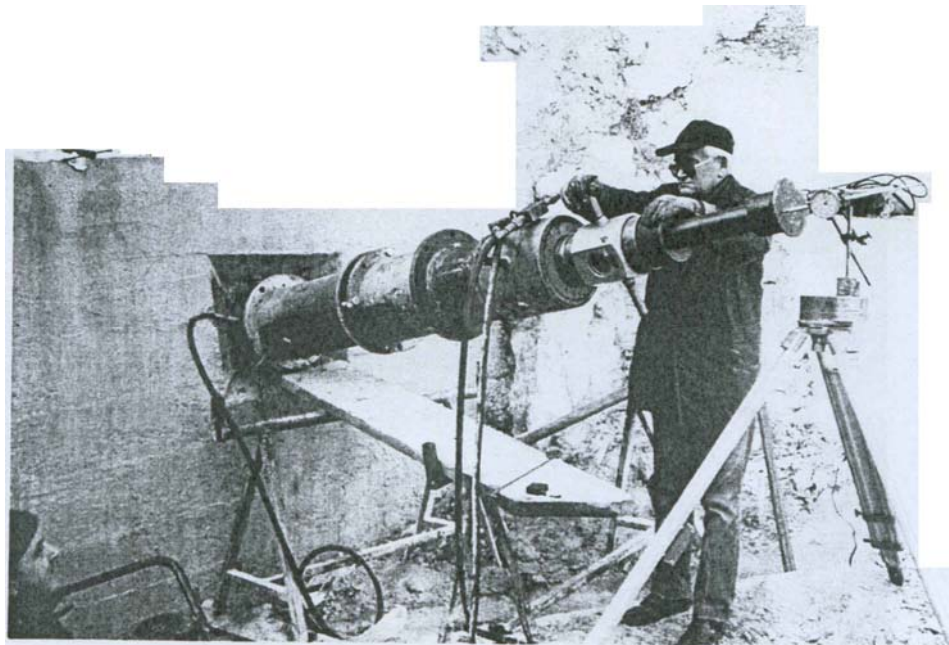
Iskop za sidrišni blok - blok sidra S-II



Armatura sidrišnog bloka 8-6 s uvodnim kućištem i sidrom



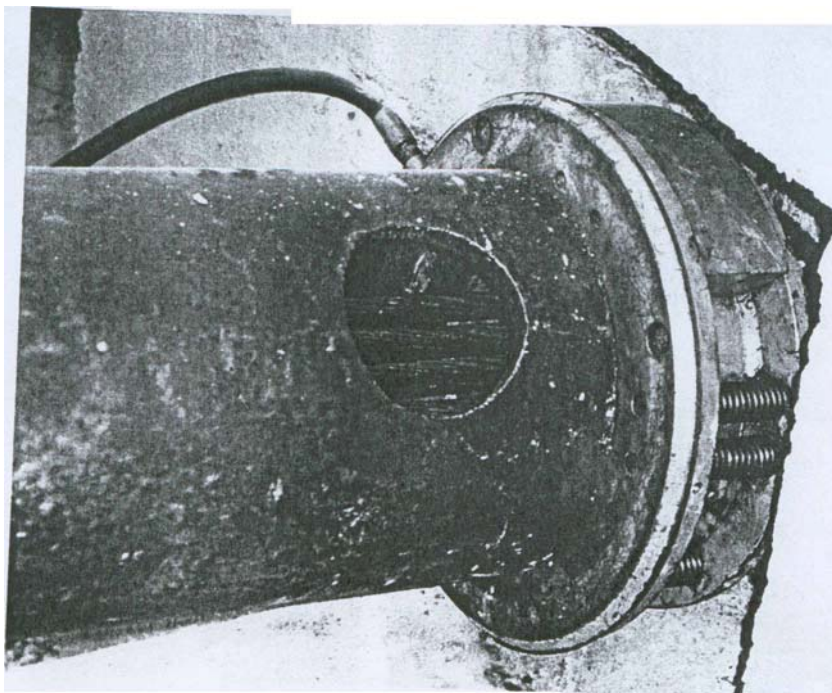
Uređaj za mjerenje deformacija sidra



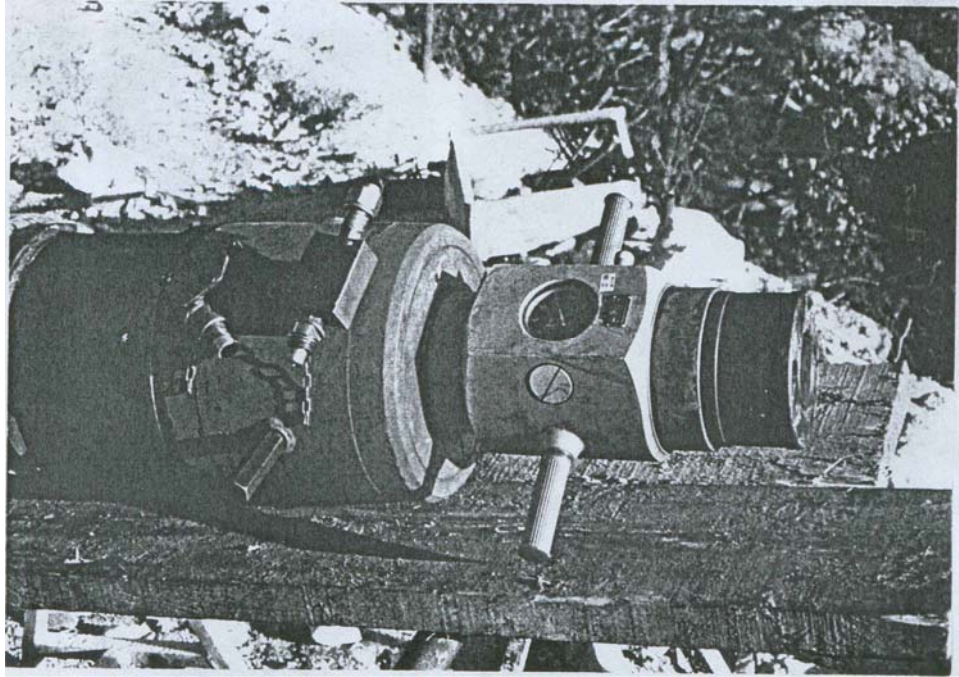
Primopredajno ispitivanje sidra



*Montaža utžskivača klžnova (CM uređaj za zaklžnjavanje) ž
postavljanje radne glave*



*Unošenje sile prednaprezanja u sidro - aktiviran
uređaj za zaklinjavanje*



Hidraulička preša s dinamometrom i zateznom maticom



Priključivanje hidrauličke pumpe