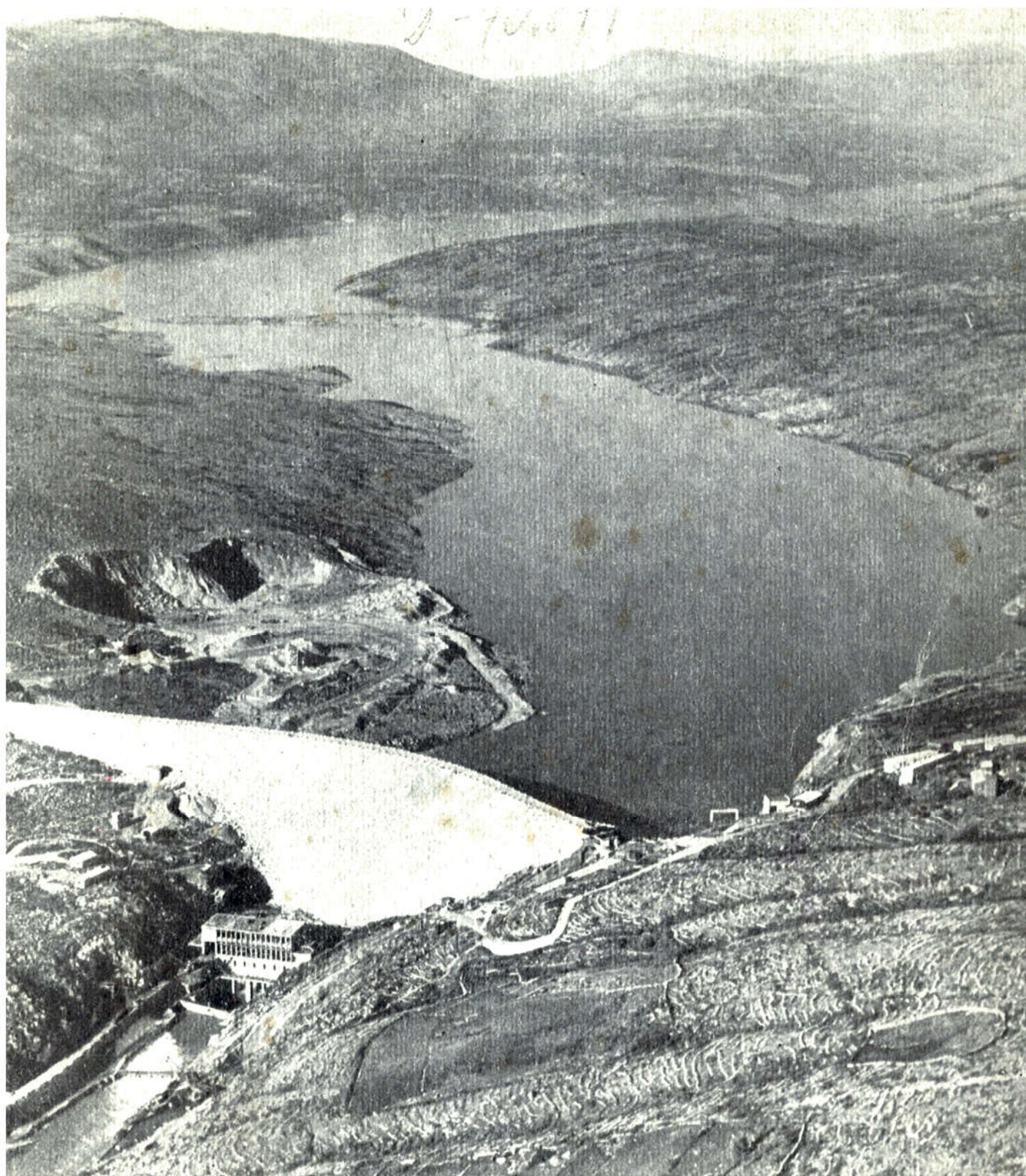




AKUMULACIJA i HE PERUĆA

AKUMULACIJA I HIDROELEKTRANA PERUĆA

S P L I T 1960

D A L M A T I N S K E H I D R O E L E K T R A N E — S P L I T

UVODNA RIJEČ

Izgradnjom brane i HE Peruća elektroprivreda Jugoslavije postigla je veliku mogućnost u ekonomici proizvodnje. Akumulaciono jezero Peruće od oko 541 milijuna m³ korisne sadržine vode omogućava nam da se i ostali izvori električne energije mogu mnogo povoljnije iskorištavati. To je najveća do sada ostvarena akumulacija u FNRJ.

Naša industrijska proizvodnja za domaće tržište, a i za izvoz, ne može bez većih šteta podnositi neravnomjerno snabdijevanje električnom energijom.

Izgradnjom akumulacije Peruća postignuta je mnogo veća sigurnost u ravnomjernom snabdijevanju glavnih potrošača električnom energijom, tako da danas, zahvaljujući Perući, nismo više u situaciji da potrošače može zadesiti nestašica električne energije u onom obimu, kao kad smo bili upućeni samo na protočne hidroelektrane, termoelektrane i manje akumulacione hidroelektrane.

Akumulacija Peruće pozitivno će se odraziti i u mogućnostima razmjene električne energije sa susjednim državama sa kojima već danas imamo dobre odnose u energetske pitanjima.

Napose treba istaći veliki uspjeh naših projektnih organizacija i poduzeća graditelja objekata Peruća. Ostvarenje ovako velike akumulacije na kraškom terenu rezultat je velikih napora i odgovornog rada projektanata, izvođača i investitora.

Sva predviđanja projektanata, što se tiče tehničke izvedbe i rentabiliteta objekta obistinila su se na naše veliko zadovoljstvo, tako da nije došlo ni do kakovih tehničkih ni financijskih iznenađenja.

Naši projektanti i graditelji mogu da budu ponosni na postignutim rezultatima, tim više što ovaj objekat po veličini akumulacije i složenosti problema koji su stajali pred njima, predstavlja jedinstven objekat ove vrste u zemlji i u Evropi.

Pred elektroprivredom stoje daljnji krupni zadaci na izgradnji objekata na rijeci Cetini i njenom slivu: HE Jabuka, Dale i drugih; na Trebišnjici: HE Dubrovnik, Grančarevo; na Lici i Gackoj: HE Senj i Sklope, te na Rječini: HE Rijeka, gdje će iskustva dobivena na građenju HE i akumulacije Peruća biti od neprocjenjive važnosti kako u postavljanju tehničke koncepcije gradnje, tako i u ekonomičnosti građenja.

Radi vrlo dobro obavljenog zadatka izgradnje objekata hidroelektrane i akumulacije Peruća, elektroprivredne organizacije čestitaju i zahvaljuju organizacijama i pojedincima koji su u tome učestvovali.

Zagreb, dne 25. XI. 1960

Damjanić Miloš
Direktor Zajednice elektroprivrednih poduzeća Hrvatske

GLAVNE KARAKTERISTIKE

AKUMULACIJA

Uspor: — maksimalni radni	360,0 m.n.m.
maksimalni preljevni	361,2 m.n.m.
minimalni radni	320,0 m.n.m.
Kruna brane	363,0 m.n.m.
Volumen: — max. radnog uspora	541,249 hm ³
min. radnog uspora	31,914 hm ³
korisni	509,335 hm ³
Energetska vrijednost korisnog volumena:	
na pragu: — HE Peruća	45.000 MWh
HE Kraljevac	119.000 MWh
HE Split	295.000 MWh
HE Peruća + HE Split	340.000 MWh
Površina kod max. preljevnog uspora	20 km ²

HIDROELEKTRANA

Brutto padovi	55,14/43,34/15,14 m
Uspor donje vode (kod protoke 60/120/280 m ³ /s)	304,06/304,86/306,30 m.n.m.
Konstruktivni pad turbina (srednji netto pad kod 120 m ³ /s)	41,0 m
Srednji energetska ekvivalent	0,0890 kWh/m ³
Ekvivalent protoke	320 kW, s/m ³
Broj agregata	2
Nazivna snaga turbina	29.000 KS
Prividni učin generatora	26.000 kVA
Faktor snage	0,80
Instalirana snaga	41.600 kW
Utrošak max. po turbini	60 m ³ /s
Broj okretaja agregata	187,5 o/min
Težina: — jedne turbine	460 t
jednog generatora	192 t
jednog predturbinskog zatvarača	111 t
hidromehaničke opreme	545 t
tlačne cijevi (račve)	183 t

ENERGIJA

prosječna godišnja	155.700 MWh
konstantna	42.500 MWh
varijabilna	113.200 MWh
zimski	93.900 MWh
ljetni	61.800 MWh
danja	139.400 MWh
noćna	16.300 MWh

BRANA I ZAVJESA

Iskop: — temelja brane	43.048 m ³
temelja galerije	45.387 m ³
Volumen brane: — kameni nasip	709.559 m ³
filtarski slojevi	46.976 m ³
glinena jezgra	105.023 m ³
beton galerije	12.539 m ³
Visina brane u profilu korita	63 m
Širina nožice u profilu korita	220 m
Duljina u kruni brane	450 m
Odnos volumen akumulacije : nasuti volumen brane	630 m ³ : 1 m ³
Evakuacioni organi kod uspora 361,20: — preljevni propust	340 m ³ /s
temeljni ispust	220 m ³ /s
Stogodišnja voda	280 m ³ /s
Dužina lebdeće zavjese	1.600 m
Najveća dubina injektiranih bušotina	200 m
Duljina bušotina	164.000 m
Duljina injektiranih bušotina	140.000 m
Utrošak suhe tvari: — gline	35.144 t
cementa	14.492 t
bentonita	1.260 t
sode	282 t
dolomitni pijesak	216 t

Uloga i tehničko rješenje akumulacije Peruća u krškom terenu doline Cetine

Ing. Boris Pavlin, Elektroprojekt – Zagreb

Akumulacija Peruća po svojem položaju i po svojoj zapremnini predstavlja osnovicu za optimalno energetska iskorišćenje rijeke Cetine i za intenzivno obrađivanje površina u njenoj dolini.

VODOPRIVREDNI PROBLEMI I RJEŠENJA U SLIVU RIJEKE CETINE

U sliv rijeke Cetine, pored njenog neposrednog oborinskog područja, spadaju i kraška polja. Livanjsko s Buškim blatom, zatim Duvanjsko i Šujičko, a najvećim dijelom i Kupreško te Glamočko polje.

Rijeka Cetina zajedno s vodotocima svojeg šireg sliva ima energetska potencijal od cca 3,5 milijarde kWh, te spada među najvažnije hidroenergetske izvore Jugoslavije.

Polja u dolini Cetine: Sinjsko, Hrvatačko, Paško i Vrličko (ukupno 10.782 ha), zajedno s navedenim kraškim poljima šireg sliva Cetine (čija površina iznosi 80.900 ha), predstavljaju značajne obradive površine, u toliko više, jer leže u kraškom, brdovitom dijelu Jugoslavije u kojem su one neobično značajna poljoprivredna područja.

Vodoprivredni odnosi u dolini Cetine

Akumulacija Peruća u dolini rijeke Cetine proteže se preko Koljanske i Ribaričke kotline (20 km²), tako da su njihove obradive površine izgubljene za poljoprivredu. Veliki kapacitet akumulacije Peruća (541 milijuna m³) međutim predstavlja osnovicu ne samo za optimalno energetska korišćenje voda Cetine, već omogućuje da se bitno prorijede i ublaže poplave na nizvodnim prostranim obradivim površinama Hrvatačkog i Sinjskog polja, zatim da se ta polja natapaju tokom ljetnih suša. Nakon izvedbe akumulacije Peruća moguće je i korišćenje voda Cetine za natapanje Paškog i Vrličkog polja u uzvodnom dijelu njene doline, što ranije nije bilo dozvoljeno radi čuvanja radne vode za HE Kraljevac.

Hidroelektrana Kraljevac

Izgrađena 1914. god. na slapovima Gubavice (ukupne visine 108 m) u donjem toku Cetine, Hidroelektrana Kraljevac je jedna od najstarijih elektrana u Evropi. Do poslije Oslobođenja ona je predstavljala jedan od najvažnijih hidroenergetskih izvora Jugoslavije.

Ova je elektrana bila namijenjena da služi prvenstveno kao jeftina osnovica elektrokemijske industrije, te se kod njene izgradnje nije postavio zahtjev za vodnim i energetska izravnanjem. Bilo je odabrano rješenje da se proizvodnja navedene industrije, u granicama mogućnosti, prilagodi vodnom režimu raspoloživih voda Cetine.

Kratkotrajni vodni valovi koji nisu davali dovoljno sigurnosti za dovršenje radnog procesa u elektrokemijskoj industriji, koju je opskrbljavala HE Kraljevac, nisu se mogli koristiti. Radi toga je ta elektrana bila sagrađena za niži stepen izgradnje (80 m³/sec.), nego li iznosi srednja protoka Cetine na zahvatu (120 m³/sec). Uslijed svega toga bili su neminovni veliki preljevni gubici. Tako riješena elektrana Kraljevac ima snagu od 67 MW, njena srednja godišnja proizvodnja je iznosila 350 GWh.

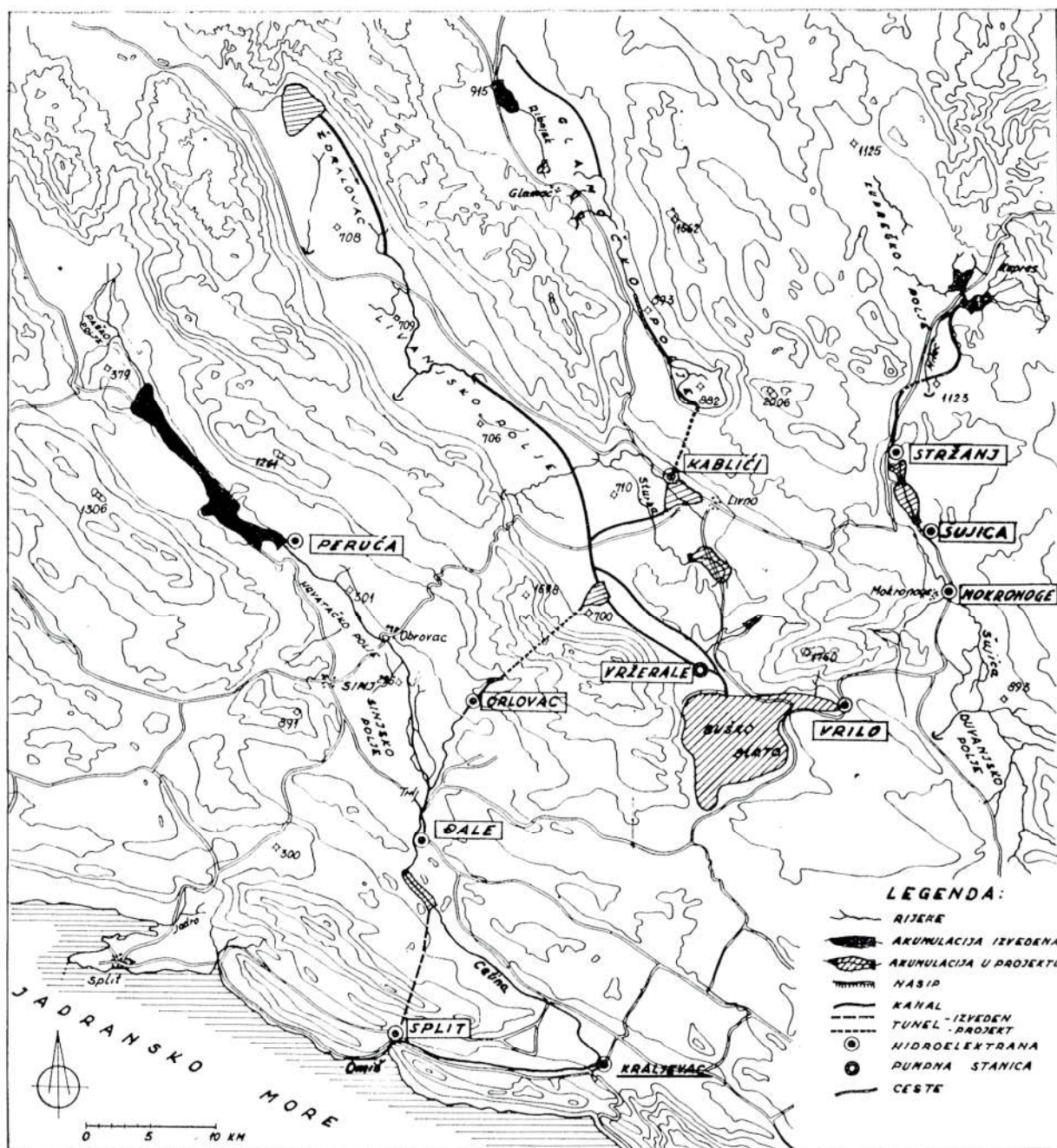
S izgradnjom i korištenjem akumulacije Peruća njena proizvodnja raste na preko 500 GWh, a ujedno se poboljšao režim proizvodnje, te su ljetni manjci bitno smanjeni.

Hidroelektrana Peruća

Nova elektrana uz branu Peruća ima maksimalni pad od 55,14 m, a koristi srednju godišnju protoku od 61,3 m³/sec. Njena snaga iznosi 41,6 MW, a prosječna godišnja proizvodnja 155,7 GWh.

Energetsko korišćenje donjeg toka rijeke Cetine

Najveći dio energetska potencijala rijeke Cetine je koncentriran u njenom donjem toku, nizvodno Sinjskog polja, gdje ona raspolaže srednjim godišnjim protokom od 115,7 m³/sec. i ukupnim padom od 292 metara.



Situacija Cetine i kraških polja njenog širokog sliva s rješenjem energetskog iskorištenja vodotoka

Prvi dio raspoloživog pada (20 metara) koristit će se u pribranskoj HE Džale.

Najveći dio pada (272 metara) u donjem toku Cetine koristit će se velikom derivacionom hidroelektranom Split. Njena ukupna snaga će iznositi 432 MW, a prosječna godišnja proizvodnja 1.883 GWh. Prva etapa HE Split, za snagu od 216 MW, već se izgrađuje. Njena će prosječna godišnja proizvodnja iznositi 1.575 GWh.

Akumulacija Peruća svojim velikim sadržajem omogućuje pogodno vodno izravnjanje za potrebe HE Split i HE Džale. Izvedbom akumulacija na kraškim poljima šireg sliva Cetine režim rada ovih elektrana će se i dalje poboljšavati.

Nakon puštanja u pogon prve etape HE Split smanjit će se količine voda Cetine, koje će oticati prema HE Kraljevac. Ova elektrana će se staviti potpuno van pogona nakon izgradnje druge etape HE Split, koja će praktično koristiti sve raspoložive vode Cetine.

Kraška polja šireg sliva Cetine

Vode kraških polja šireg sliva Cetine, čiji srednji godišnji dotok iznosi cca 40 m³/sec., svesti će se u centralni akumulacioni basen: Buško blato. Njegov kapacitet će iznositi cca 700 milijuna m³. Pad između Buškog blata i Cetine na Sinjskom polju iznosi cca 410 m. Ta će se energetska stepenica koristiti elektranom Orlovac. Njena snaga iznositi će cca 250 MW, a srednja godišnja proizvodnja cca 1.000 GWh.

Energetski potencijal voda viših kraških polja na putu prema Buškom blatu, odnosno zahvatu HE Orlovac, koristit će se u nizu elektrana. Njihova ukupna srednja godišnja proizvodnja će iznositi cca 150 GWh.

Uz trasu puta vode sa viših polja prema Buškom blatu izvest će se akumulacije, koji će omogućiti optimalno dimenzioniranje dovodnih organa, te će omogućiti elastičniji rad nizvodnih elektrana.

Ukupni sadržaj tih akumulacija iznositi će cca 220 hm³, što će zajedno sa sadržajem Buškog blata osigurati, u jednoj varijanti, inverzan rad HE Orlovac, t. j. maksimalan u sušnom periodu kad je energija najdragocjenija. Ove će akumulacije također u daljnjoj mjeri poboljšati režim rada HE Split te HE Đale, kao što je već naprijed rečeno.

Ove će akumulacije, za čiju realizaciju će se se žrtvovati cca 8.100 ha obradivog zemljišta omogućiti da se preostale površine od 40.800 ha sačuvaju od poplava, a u sušnom ljetu da se natanjnjem privedu intenzivnoj poljoprivredi osim tih obradivih površina još i daljnjih cca 32.000 ha.

PROBLEM I TEHNIČKO RJEŠENJE REALIZACIJE AKUMULACIJE PERUĆA

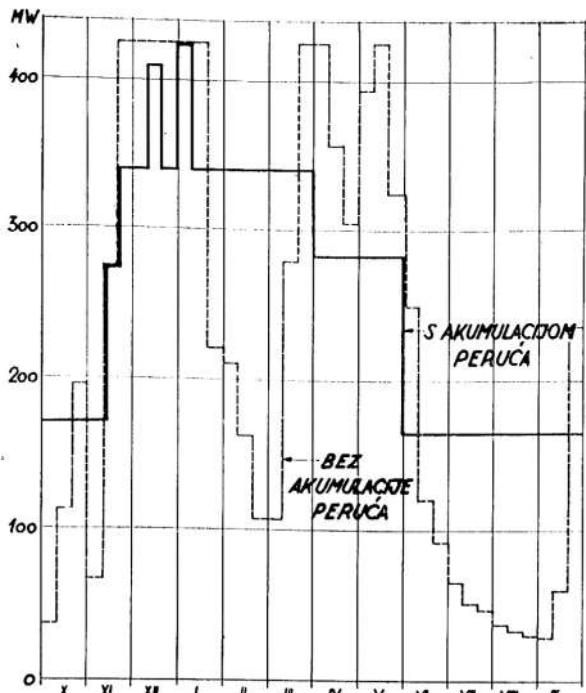
Osnovni topografski odnosi za izvedbu akumulacije Peruća bili su povoljni, tako da na 1 m³ nasutog materijala njene brane otpada 630 m³ sadržaja akumulacije. Glavne poteškoće za izvedbu su potjecale od krškog karaktera stijena u kojima leži ovaj basen. O rješenju pitanja vododrživosti je ovisilo da li je moguće realizirati ovu akumulaciju, pa čak i da li ona uopće predstavlja realno rješenje.

Geološki pregled šireg područja basena Peruća

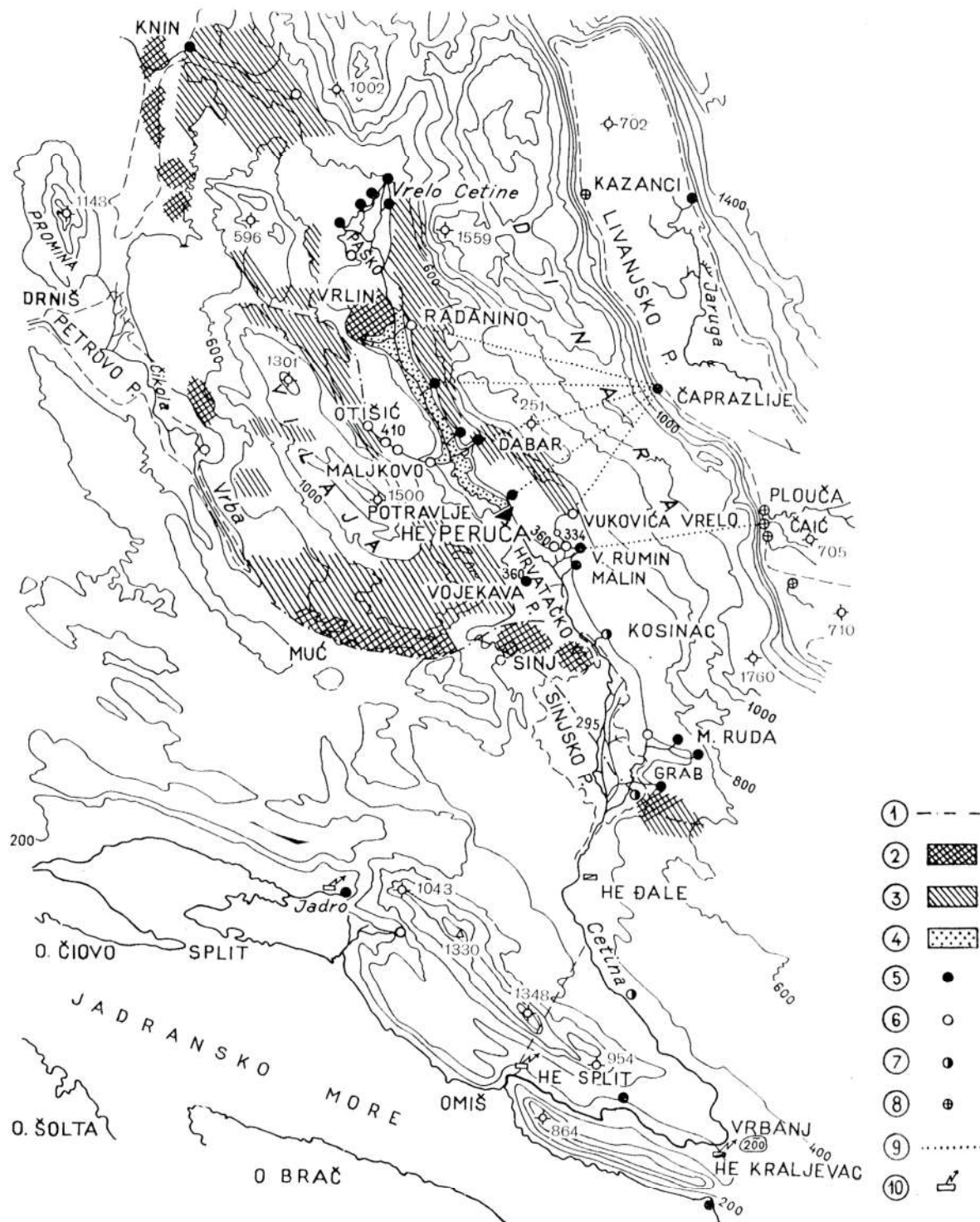
Područje sliva Cetine sastoji se najvećim dijelom iz vapnenaca i dolomita koji su kredne, jurske i trijaske starosti.

Osnovna podloga svih tih naslaga su verfenski škriljevci. Oni se poput nepropusnog zatirača protežu ispod cijelog područja. Verfenska podloga na mnogo mjesta izbija na površinu formirajući čitav lučni niz, počevši od verfenskog izdanka kod sela Jabuke na istočnom rubu Sinjskog polja, zatim izdanaka u Glavicama na sjevernom kraju istog polja. Široki pojas verfenskih škriljevaca zakriljuje jugozapadni rub planine Svilaje i u nastavku slijede izdanci istih naslaga uzduž Petrovog, Kosovog i Kninskog polja te doline Butišnice, gdje se nadovezuju na vododrživu razdjelnicu između jadranskog i crnomorskog sliva.

Jadransko-crnomorska razdjelnica i pojas pouzdano vododrživih verfenskih škriljevaca, koji se na nju nadovezuju u području rijeke Butišnice, te pojas istih naslaga uz jugozapadni rub Svilaje, između Petrovog i Sinjskog polja, leži visoko iznad kote uspora akumulacije Peruća. Ostali dio vododjelnice između sliva basena Peruća i slivova susjednih vodotoka je izgrađen iz mladih na-

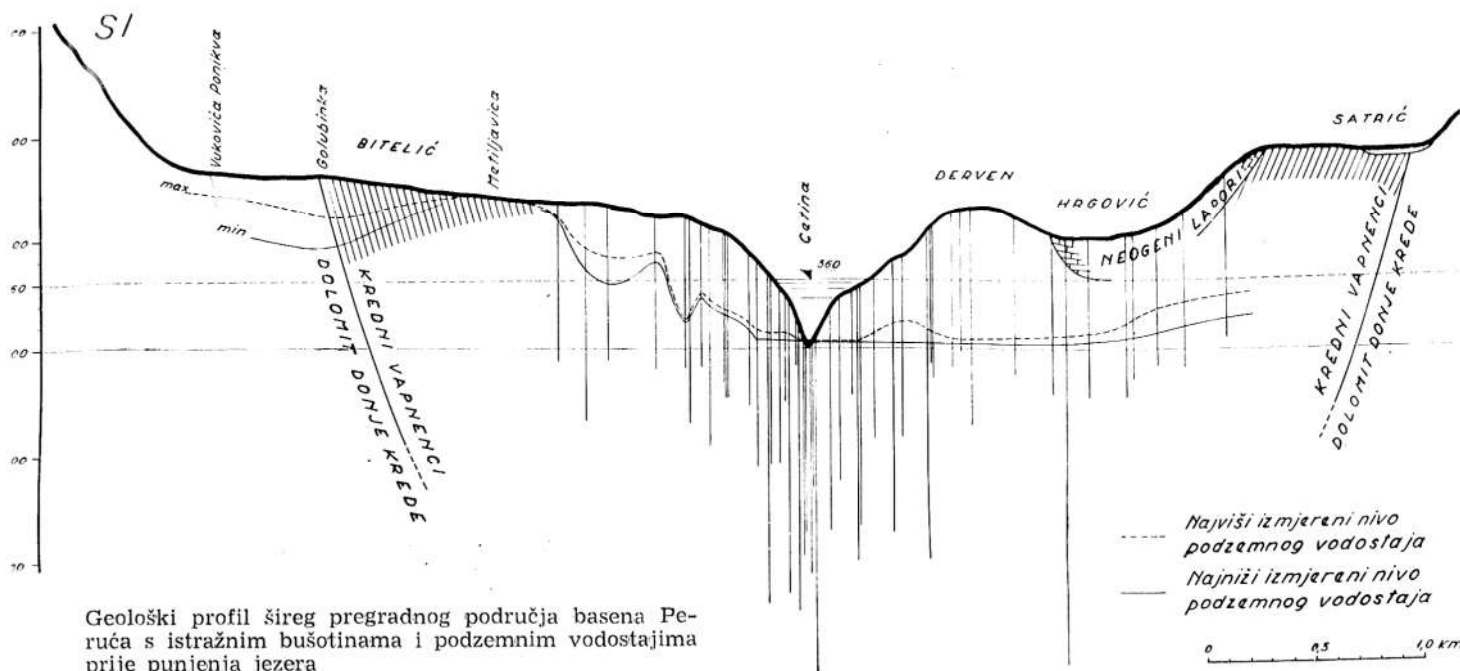


Energetski diagram HE SPLIT sa i bez upliva akumulacije Peruća



Situacija akumulacije Peruća s geološkim odnosima

Legenda: 1) Rasjed, 2) Verfenski škriljevci, 3) Mlade mezozojske nepropusne naslage: dolomiti, vapnenci i kremen, 4) Jezero Peruća, 5) Stalno vrelo, 6) Povremeno vrelo, 7) Estavela, 8) Ponor, 9) Podzemni krški tok ustanovljen pomoću bojenja, 10) Hidroelektrane



Geološki profil šireg pregradnog područja basena Peruća s istražnim bušotinama i podzemnim vodostajima prije punjenja jezera

slaga, koje leže preko verfenske podloge, a sastoje se od trijaskih, jurskih i krednih dolomita i vapnenaca te kremenih naslaga lemeša gornje jurske starosti. Na tom preostalom području bilo je potrebno ustanoviti da li je akumulacija Peruća zagaćena do dovoljne visine prema susjednim slivovima.

Istraživanja su pokazala da su krške pojave razvijene u najvećoj mjeri u krednim vapnencima, naročito u gornjo-krednim. Dolomiti donje krede i starije naslage, a naročito gornjojurske »lemeške« kremenene naslage, da su vododržive.

Dolomite mjestimično probijaju dovodi krških kanala i to su slaba mjesta u inače vododrživoj sredini i njih je trebalo posebno istražiti.

Geološka građa područja akumulacije Peruća

Dolina Cetine na području akumulacije Peruća usječena je uglavnom u krednim vapnencima. Dno i dio bokova su prekriveni tercijskim laporima. Na uzvodnom kraju basena na znatnom prostoru se proteže jedan prodor plastičnih verfenskih škriljevaca.

Detaljna geološka istraživanja su pokazala da se osnovna struktura područja akumulacije Peruća sastoji iz jedne velike sinklinale, u kojoj se javlja čitav niz dopunskih formi. Ta sinklinala se proteže u dinarskom smjeru i njena os se približno poklapa s osi doline Cetine.

Naslage krednih vapnenaca u osi navedene sinklinale dosižu debljinu od preko tisuću metara. U smjeru bokova sinklinale debljina vapnenaca se smanjuje, pošto su u geološkoj prošlosti tu raznašani vrlo snažnim procesom erozije. Uz sama krila sinklinale, u dugim pojasima su raskrivene naslage donjokrednih dolomita, a mjestimično i starije lemeške naslage. U padinama Svilaje s desne strane Cetine na jednom dugom potezu, uzduž rasjeda, lemeške kremenene naslage su zajedno s donjokrednim dolomitima visoko uzdignute iznad doline Cetine.

Budući su debele naslage dolomita donje krede vododržive (izuzev na mjestima gdje su poskidane i pod intenzivnim djelovanjem podzemnih voda denudirane), one su obzirom na njihov položaj u sinklinalnoj strukturi basena Peruća postale osnovica za rješenje pitanja vododrživosti čitavoga ovoga basena.

Starije vododržive naslage, ispod donjokrednih dolomita su radi svojeg položaja odigrali tokom geološke prošlosti odlučujuću ulogu smanjujući strujanje podzemne vode u području navedenih donjokrednih dolomita i tako ih čuvali od intenzivnih krških procesa. Sekundarna je uloga tih starijih naslaga u tome da one danas mjestimično predstavljaju dopunsku sigurnost razmatrane akumulacije.

Desna strana basena Peruća

Velika sinklinala basena Peruća na svojoj desnoj strani prelazi u antiklinalni hrbat planine Svilaje. U jezgri tog hrpta donjokredni dolomiti te druge starije vododržive naslage, uglavnom kremenene naslage lemeša leže visoko iznad akumulacije Peruća, te je u punoj mjeri zagađuju spram susjedne niže doline Cikole odnosno Petrova polja.

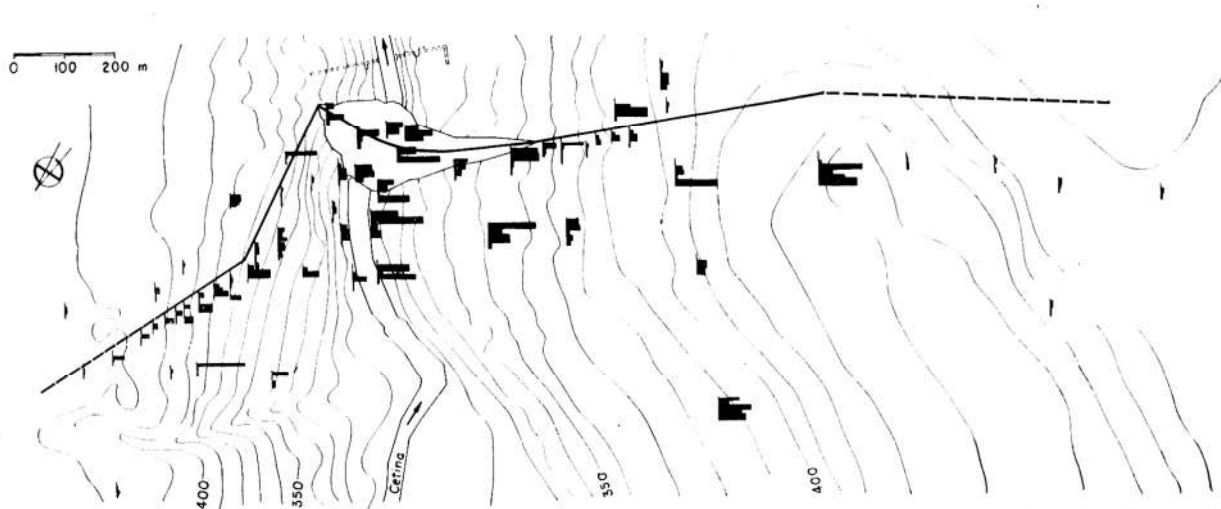
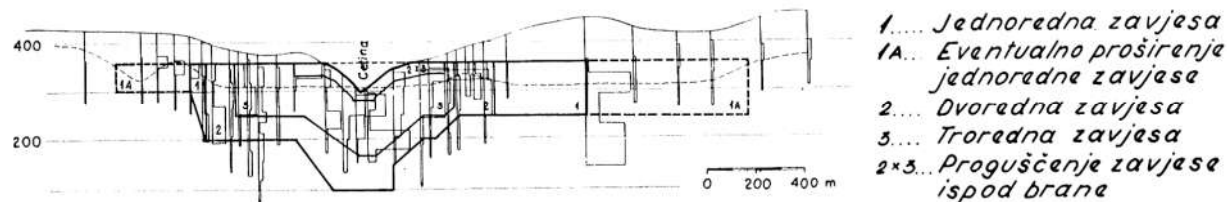
Lijeva strana doline Cetine

Već je naprijed izneseno da se u daljoj pozadini lijevog boka doline Cetine uzdiže vododrživa vododjelnica prema tokovima crnomorskog sliva, i da ne postoji opasnost gubljenja vode u tom smjeru.

Glavni problem na ovoj strani predstavljalo je potapanje jakih krških izvora čiji se dovodi probijaju uzduž poprečnih tektonskih lomova kroz donjokredne dolomitne bokove velike sinklinalne Perućkog basena. Istražnim radovima bilo je potrebno riješiti da li između tih dovoda ima međusobnih veza i da li one komuniciraju s izvorima nizvodne strane brane.

Ispitivanja su ukazala da podzemni vodostaji u pozadini lijevog dolomitnog boka leže visoko iznad kote uspora akumulacije Peruća i da nema mogućnosti da se tim putem gubi voda iz jezera prema nizvodnim izvorima.

Dolomitna lemeška barijera nizvodno krškog izvora Dabar, približava se u tolikoj mjeri dolini Cetine da pruža dovoljno jamstvo da u preostalom pojasu krednih vapnenaca nema krških veza s izvorima nizvodno akumulacije Peruća. Relativno veliku opasnost za gubljenje vode predstavljalo je potapanje skupine krških izvora Peruća koja leži cca 1 km uzvodno brane. Naime, ispitivanja bojenjem s područja povremenog Vukovića vrele na platou Bitelića pokazala su da njihovi krški dovodi doista komuniciraju sa skupinom povremenih izvora Mali Rumin (uzvodno Velikog Rumina), te sa skupinom malih izvora u kanjonu Cetine nizvodno brane. Ispitivanja na istražnim bušotinama u području račvanja i ukrštanja tih podzemnih krških kanala, te na Vukovića vrele i krškoj jami Golubinki pokazala su visoke podzemne vodostaje. Na osnovu tih podataka je zaključeno da se gubici preko tih krških kanala ne mogu posve isključiti, naročito kod malih voda, ali se moglo ustanoviti da oni ne mogu biti takovi da bi kompromitirali realizaciju akumulacije Peruća, te da se vremenom ti gubici ne mogu povećavati.



Injekciona zavjesa Peruća rezultati ispitivanja propusnosti u bušotinama i podzemni vodostaj prije punjenja jezera

Otješnjenje pregradnog profila

Pregradni profil basena Peruća leži u krednim vapnencima jezgre velike cetinske sinklinale. Radi upoznavanja stepena propusnosti podloge i bokova tog pregradnog profila poduzeti su opsežni istražni radovi i to:

- bušenje s vađenjem jezgre oko 14.000 m, od toga s ispitivanjem propusnosti oko 10.000 m;
- pokusno injektiranje na 2.000 injekcionih bušotina;
- istražni potkopi oko 350 m.

Ta su ispitivanja pokazala da je propusnost uz pregradni profil najveća, a da se prema bokovima uglavnom smanjuje, izuzev na lokalnim lomovima. Usporedo s time podzemni vodostaji rastu idući od doline Cetine ka pozadini. Svojom malom propusnošću i visokim vodostajima se posebno istakao prostrani pojas Velike Metiljave, koji ima odlučujuću ulogu kod odvajanja drenažnih krških sistema koji gravitiraju u basen Peruća od drenažnih dovoda izvora nizvodno brane.

Ispitivanja bojanjem preko istražnih bušotina, kao i sa krške Mareline jame, rasvijetlila su smjerove strujanja podzemne vode, a ujedno i smjerove protezanja krških drenova.

Na osnovu svih tih ispitivanja u širem pregradnom području odabrana je trasa injekcione zavjese i njena veličina.

Lijevo kraj zavjese je položen do dovodržive zone Velike Metiljave. U daljnjem potezu prema pregradnom profilu ona je povučena zonom s relativno visokim podzemnim vodostajima. Nakon toga, u zoni krških podzemnih drenova ona ide približno usporedno s njihovim protezanjem, tako da siječe što manji broj kanala.

Pregradni profil je smješten na uzvodnom kraju uskog kanjona sa svrhom da zavjesa izbjegne što više krških izvorskih dovoda koji leže u tom kanjonu.

S desne strane brane trasa ide okomito na dolinu, po liniji bušotina koje su pokazale najmanju propusnost.

Dubina zavjese je najveća u pregradnom profilu: 200 metara. Prema bokovima ona se smanjuje, na desnoj strani na 100 m, a na lijevoj uglavnom na 150 m.

Budući se nije moglo pouzdano odrediti potrebnu veličinu zavjese bilo je predviđeno da se u prvoj etapi izvede njen najveći dio za koji se smatralo da je neophodan. Taj se dio izveo prije punjenja jezera. Preostali dio imao se izvesti nakon punjenja jezera u granicama koje bi se pokazale opravdanim, na osnovu ispitivanja.

RASPORED INJEKCIONIH BUŠOTINA U ZAVJESI

U zoni najveće propusnosti oko pregradnog profila zavjesa je troredna, a u dnu i bokovima je dvoredna. Njeni krajevi u bokovima su izvedeni iz samo jednog niza injekcionih bušotina.

Udaljenost bušotina u svakom nizu iznosi 4 m, a udaljenost vanjskih nizova u trorednoj zavjesi iznosi 5,5 m. Svaka pojedina bušotina srednjeg reda smještena je centralno u odnosu na odgovarajuće vanjske injekcione bušotine.

Neposredno pod branom, gdje se uslijed malog nadsloja i velike propusnosti tla nisu mogli primijeniti visoki pritisci injektiranja, u trorednoj zavjesi je izvedeno dvostruko progušćenje injekcionih bušotina.

Pod betonskim temeljem, odnosno pod kontrolnom galerijom ispod glinene jezgre brane, za vezu sa zavjesom izvedene su posebne vezne injekcije.

OBIM RADOVA I UTROŠAK MATERIJALA

Za izvedbu zavjese ukupno je izbušeno 153.000 m injekcionih bušotina, a injektiranje je provedeno na ukupno 140.000 m tih bušotina.

Za kontrolu uspjeha injektiranja izvedeno je 11.000 m posebnih kontrolnih bušotina s ispitivanjem propusnosti.

Na svakoj injekcionoj bušotini, nakon što se stvrdnula ubrizgana smjesa, izvršeno je ponovno bušenje i ispitana je propusnost.

Za injektiranje je upotrebljena tiksotropna injekciona smjesa iz glinenocementnih emulzija sa 70–75% gline i 30–25% cementa, a po potrebi i bentonita. Tiksotropna svojstva su postignuta djelomično kemijski pomoću dodatka kalcinirane sode (cca 2% od količine gline), a djelomično mehanički, pomoću aktimelanžera.

Na mjestima vrlo velikih utrošaka, injekcionoj smjesi je dodan fini dolomitni pijesak. Prilikom injektiranja utrošeno je ukupno 51.393 tone suhe tvari. Od toga: 35.144 tone gline, 14.492 tone cementa, 1.260 tona bentonita, 282 tone sode te 216 tona finog dolomitnog pijeska.

Na jedan metar injektiranih bušotina otpada 368 kg suhe tvari injekcione smjese, odnosno 198 kg po m² injekcione zavjese.

KONTROLA USPJEHA PROVEDENOG INJEKTIRANJA U ZAVJESI

Tokom izvođenja zavjese kontroliran je uspjeh injektiranja u zavjesi kao što je već unaprijed navedeno.

Kod ispitivanja propusnosti, koje je provedeno u injekcionim bušotinama nakon što se stvrdnula ubrizgana smjesa kriterij za uspjeh injektiranja je iznosio 1 lit/min/m pod pritiskom od 10 Atm.

U posebnim kontrolnim bušotinama kriterij za uspjeh je u trorednoj i dvorednoj zavjesi iznosio 2 lit/min/m kod 10 Atm, izuzev u površinskoj zoni pod branom gdje je iznosio 1 lit/min/m kod 5 Atm. U jednorodnoj zavjesi kriterij je iznosio 4 lit/min/m kod 10 Atm.

Navedena su ispitivanja gotovo svugdje pokazala pozitivne rezultate. Na mjestima odstupanja izvršeno je dopunsko injektiranje.

KONTROLA USPJEHA ZAVJESE KAO HIDROTEHNIČKOG OBJEKTA

Nakon završetka zavjese i radova na brani, prilikom popunjenja jezera u 1959. i 1960. godini, od kojih je posljednje bilo niže za svega 2,40 m od maksimalnog uspora, izvršeno je registriranje procjednih gubitaka te visine podzemnih vodostaja oko zavjese.

Gubici vode na desnoj obali basena bili su vrlo mali. Ocijenjeni su na 30 lit/sec. Njih je bilo lako odrediti jer na toj strani kanjona Cetine nizvodno brane ranije nije bilo značajnih izvora.

Na desnoj strani je pomoću bojenja ustanovljeno da procjedni gubici izbijaju na izvorima s varijabilnim protokom, koji leže u kanjonu neposredno nizvodno brane.

Veličinu tih procjednih gubitaka bilo je teško odrediti, jer te vode otiču zajedno sa varijabilnim prirodnim dotokom, kojeg također nije bilo lako odrediti. Na osnovu upoređenja s protokom tih izvora kod malih voda u ranijim godinama, ocijenjeno je da ti procjedni gubici iznose cca 400 lit/sec.

Prema tome, ukupni procjedni gubici oko pregradnog profila kod punog basena iznose cca 430 lit/sec, što iznosi 0,7% srednjeg godišnjeg dotoka u akumulaciju.

Budući su kod nižih uspora u jezeru i gubici manji, srednji gubici će biti znatno manji.

Registriranje protoka na povremenim izvorima skupine Mali Rumin pokazalo je da na njih ne izbijaju procjedni gubici iz jezera. Do istog se zaključka došlo i za izvore Čikole i njenih pritoka na Petrovu polju.

ZAKLJUČCI

Razmatrana punjenja jezera Peruća pokazala su da je otješnjenje njegova basena oko pregradnog područja pomoću injekcione zavjese uspjelo u većoj mjeri nego se to prognoziralo u projektu, i da prema tome nisu potrebna dopunska injektiranja.

Na skupini izvora Mali Rumin te izvorima Čikole, koji su smatrani osjetljivim mjestima, gubici vode iz jezera se nisu uopće pojavili.

Tokom upotrebe jezera Peruća nastavlja se s mjerenjem procjednih gubitaka, te podzemnih vodostaja u okolini zavjese sa svrhom da se registriraju eventualne promjene vododrživosti oko line zavjese što se obzirom na krški karakter terena ne može isključiti, iako se ne očekuju veća iznenađenja.

Nasuta brana Peruća

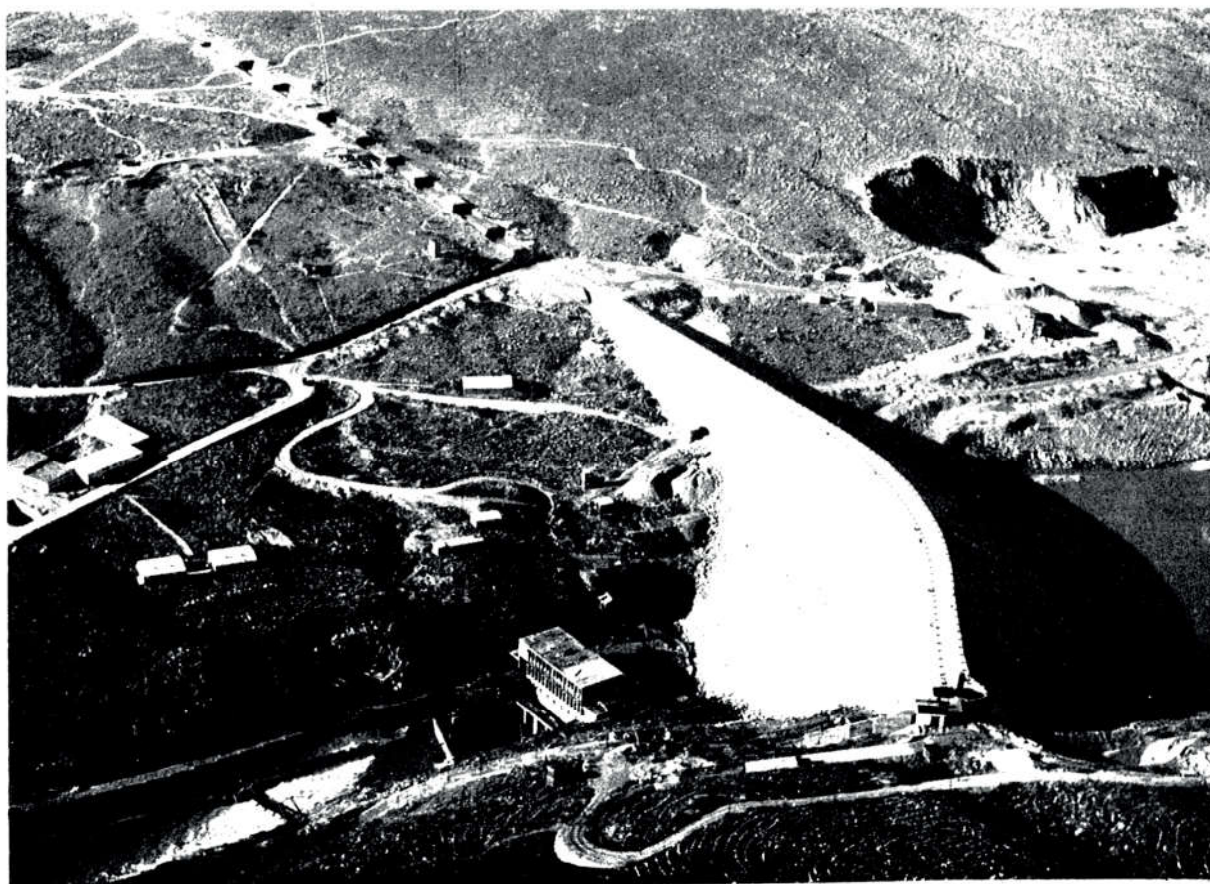
Dr. ing. E. Nonveiller, Geoistraživanja – Zagreb

U fazi istražnih radova za građenje brane Peruća detaljno je ispitan dulji potez u kanjonu Cetine nizvodno od vrela Peruća do uzvodno od potoka Šilovke. Prvobitna je zamisao bila da se na tom mjestu sagradi betonska lučna brana. Morfološki povoljan profil u sredini tog poteza, detaljno je ispitan pomoću dva istražna potkopa, jednog istražnog okna i niza bušotina. Na tom je mjestu ispitan i modul elastičnosti stijene pomoću tlačnog jastuka. Osim toga ispitana je u širem području i propusnost podloge u cilju da se pronade najpovoljnija trasa za injekcionu zavjesu. Sva su ta ispitivanja pokazala, da predviđeni profil u sredini kanjanskog poteza geotehnički nije najpovoljniji za građenje lučne brane. Osim toga je najpovoljnija trasa injekcione zavjese bila na uzvodnom dijelu kanjanskog profila.

Na tom dijelu također je izrađen niz istražnih bušotina za ispitivanje uvjeta temeljenja brane. Ustanovljeno je da je na lijevom boku relativno duboko usječena boksitična zona, dok se ostali dio profila sastojao od laporovitog vapnenca i od krednog vapnenca s mnogo pukotina. Takovo tlo nije bilo podesno za građenje masivne brane od betona, pa je odlučeno da se odabere nasuta brana.

Geotehnička ispitivanja izvršena u cilju da se nađe najpovoljniji tip nasute brane pokazala su, da se u okolini brane raspolaže s neograničenim količinama vapnenca i s malim količinama gline visoke plastičnosti u dolini uzvodno od profila brane. Pod tim okolnostima odabran je tip kamene nasute brane s uskom jezgrom od gline, kao ekonomski i tehnički najpovoljnije rješenje.

Detaljnim sondažnim radovima ograničeno je i ispitano pozajmište gline, koje se prostiralo u dolini na lijevoj i desnoj obali uzvodno od brane. Detaljna ispitivanja uzoraka gline u laboratoriju pokazala su da je to pretežno glina visoke plastičnosti, dok je samo na nekim mjestima bilo praši-

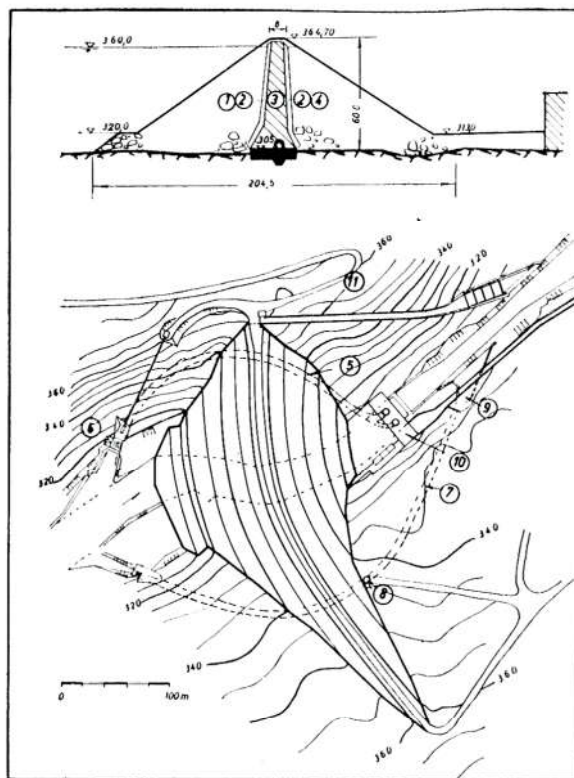


naste gline i anorganskog praha. Glina je u pozajmištu bila jako zbijena. U fazi izrade glavnog projekta izrađeno je jedno probno polje za ispitivanje najpovoljnijeg načina kopanja i nabijanja gline kao i način najbolje kontrole vlažnosti kod ugrađivanja.

Na temelju geoloških ispitivanja i prognoza bilo je najprije predviđeno da se kamenolom za nasipanje brane otvori na lijevoj obali približno na koti 360, tako, da bi se sav transport kamena obavljao nizbrdo. Daljnja ispitivanja pomoću zasjeka i potkopa pokazala su međutim, da je kamen samo na površini izgledao zdrav i jedar, dok je u dubini bio jako razlomljen i pomiješan s glinovitim i zdrobljenim zonama, pa bi se mnogo materijala moralo odbaciti u jalovinu. Tada je detaljnije ispitano i područje na desnoj obali, pa je odlučeno da se kamenolom otvori na toj obali uzvodno od brane približno na koti 340. Kasnije se pokazalo da je kamen iz tog kamenoloma u svakom pogledu odgovarao za nasipanje brane.

Za izbor najpovoljnijeg rasporeda materijala u brani izvršene su opsežne prethodne studije, koje su pokazale, da je najpovoljniji tip brane onaj s vertikalnom tankom jezgrom u sredini. Kod takovog tipa brane može uzvodna kosina biti strma, a proračun stabilnosti pokazao je da se tim rasporedom dobiva najmanja kubatura nasipa i najmanja širina brane u temelju. To je u ovom slučaju bilo od presudne važnosti, zbog duljine dovodnog tunela do hidroelektrane koja je smještena uz nizvodnu stopu brane. Odaabrane strme kosine brane omogućile su građenje relativno vrlo kratkog dovodnog tunela za koji nije uopće bio potreban regulator pritiska.

Dispozicija brane s pomoćnim organima prikazana je na slici. U desnom boku iskopan je obilazni tunel, koji je kasnije preraden u pomoćni ispušt. Taj je tunel snabdjeven pomoćnim tablastim zatvaračem s pogonom kroz vertikalno okno koje se nalazi uz nizvodnu kosinu brane. Na nizvodnom kraju tunela izrađen je uređaj za rasipavanje energije ispred kojeg se nalazi tablasti regulacioni zatvarač, koji se može zatvoriti samo kad je voda u jezeru ispuštena do dna. U lijevom boku brane



1 i 4 kameni nasip — 2 filterski prijelazi — 3 jezgra od gline — 5 dovodni tunel — 6 ulazna građevina dovodnog tunela — 7 obilazni tunel — 8 okno sa pomoćnim zatvaračem — 9 izlazna građevina i rasipač energije sa regulacionim zatvaračem



Nasipi uzvodnog zagata stisnuli su Cetinu



Pogled na branu sa uzvodne strane

iskopan je dovodni tunel promjera 9 m. U prvoj fazi gradnje taj je tunel također služio za evakuaciju vode.

Brama Peruća visoka je 63 m od najniže točke u koritu do krune na koti 363,0. Najviša kota radnog uspora vode u jezeru je 360,0, pa je kruna brane za 3,0 viša od najvišeg vodostaja usporene vode. Brama se sastoji od uzvodnog i nizvodnog nasipa od lomljenog kamena između kojih je vertikalna jezgra od gline. Između jezgre i kamena izrađeni su prijelazni filterski slojevi od prirodnog sitnog pijeska, šljunka i kamene drobine. Zbog razlomljene temeljne stijene postojala je opasnost, da bi priliv vode u građevnu jamu mogao biti velik, što bi dovelo u pitanje ugrađivanje gline na temeljnoj fugi uz kontroliranu vlagu. Stoga je u koritu Cetine izrađen temelj od betona s gornjom plohom na koti 305, što je iznad male vode u Cetini nizvodno od brane. Time je ujedno i najdublji dio kontrolne galerije dignut toliko da je ona uvijek iznad vode. Glina za jezgru ispitana je u laboratoriju, da bi se dobile geomehaničke konstante potrebne za projektiranje brane i za planiranje izvođenja. Ustanovljene su karakteristike otpornosti za smicanje, propusnost nabijene gline, stišljivost i optimalna vlažnost za ugrađivanje. Isto tako detaljno je ispitan sastav materijala za filterske slojeve, kojima je zadaća, da spriječe odnošenje čestica gline u krupnije pore kamenog nasipa pod djelovanjem tlaka vode.

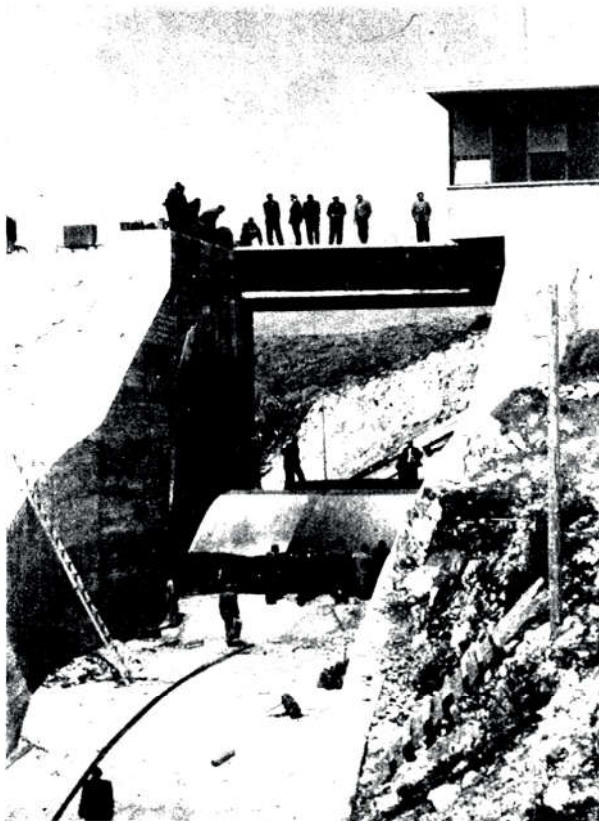
Proračun stabilnosti brane baziran je na rezultatima opsežnih ispitivanja i pokusa na modelima. Položaj jezgre i nagibi kosina brane odabrani su tako, da najmanja sigurnost protiv klizanja u najnepovoljnijem slučaju bude veća od 1,5.

Pomoćni zagati za skretanje Cetine kroz tunele bili su predmetom dulje diskusije i studija. Prvobitna ideja bila je, da se betonski temelj jezgre izradi u tekućoj vodi pomoću pneumatskih kesa. Druge su alternative predviđale nasipe s Benoto šipovima i betoniranje u vodi. Konačno je odabrana izvedba nasutih zagata u tekućoj vodi koji su ujedno sastavni dijelovi tijela brane. Najprije je nasut krupni kamen koji je usporio vodu i skrenuo veći dio protoka kroz tunele. Na taj je nasip nasut sitni kamen i šljunak kao podloga za uzvodni sloj gline koji je također nasut u vodi. Tako izrađeni zagat potpuno je spriječio proticanje vode. Nizvodni zagat nasut je u već mirnoj vodi. Priliv u građevnu jamu nije bio veći od 2000 lit/min i zagati nisu uopće propuštali vodu, a stijena je na mjestu fundiranja bila znatno manje propusna nego što se očekivalo. Ispod jezgre brane iskopan je usjek radi bolje veze s injektiranom temeljnom stijenom. Taj je jarak ispunjen betonom koji je služio i kao temelj za kontrolnu galeriju, koja je na desnoj obali izvedena do kote 345, a na lijevoj sve do zida preljeva. Iz galerije su izvedene i vezne injekcije za otješnjenje gornje zone stijene, koja se nije mogla dovoljno injektirati bez opterećenja težinom brane.

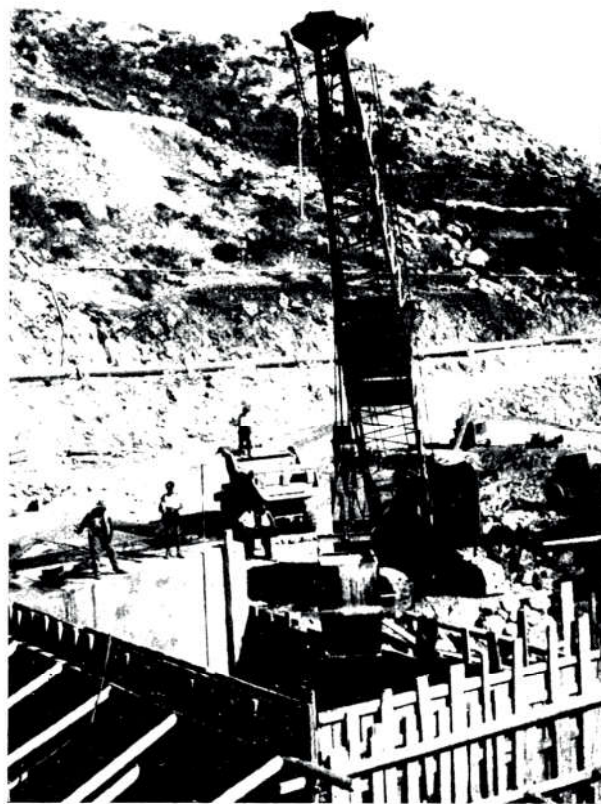
Kamen je u brani nasipan u slojevima visine između 25 i 6 m. Prvi sloj koji je nasut na temelj bio je najviši, da bi se bez mnogo premještanja prilaznih putova dobilo veću platformu za rad u uskoj dolini Cetine. Kasnije je visina slojeva ograničena na cca 6 m što se je pokazalo najboljim da se izbjegne pretjerana segregacija krupnijih komada na dnu kosine. Kameni nasip ispiran je jakim mlazovima vode iz sapnica promjera 5 cm pod pritiskom od 7 atm. Sapnice su bile pokretljive u svim smjerovima i montirane su na prenosive skele s kojih je mlaz udarao okomito na kosine. Jezgra je nabijena pomoću ježeva uz stalnu kontrolu vlažnosti i zbijenosti. Nastojalo se je da vlaga bude oko



Zagati i iskop temelja za jezgru brane, ljeto 1956. god.



Otvor preliva sa spuštrenom segmentnom zapornicom



Betoniranje temeljnog bloka ispod jezgre u koritu

optimalne po Proctoru kako bi jezgra bila dovoljno plastična da može slijediti deformacije i slijeganja kamenih nasipa bez pojave pukotina. Postignute prosječne vrijednosti vlage i zapreminske težine jezgre kretale su se u granicama predviđenim tehničkim uvjetima. Slojevi filtera nabijani su pomoću malog vibracionog valjka.

Uzvodna kosina brane nasuta je krupnim blokovima kamena radi zaštite od djelovanja valova. Blokovi su samo grubo dotjerani u profil kosine bez obrade ili posebnog slaganja. Nizvodna kosina nasuta je sitnijim kamenom i grubo je dotjerana u predviđeni profil pomoću jakog mlaza vode koji je udarao u pravcu kosine. Na taj način materijal je na kosini potpuno stabiliziran.

U jezgri brane ugrađena su dva cijevna repera za mjerenje slijeganja u raznim slojevima jezgre za vrijeme građenja i nakon dovršenja brane. Opažanja su pokazala, da je slijeganje za vrijeme građenja bilo veće od proračunatog. Ta je pojava u vezi s plastičnom deformacijom jezgre za vrijeme postepenog opterećivanja nižih slojeva težinom brane. Poslije dovršenja građenja slijeganje jezgre i cijele brane manje je od predviđenog. Na kruni brane i na nizvodnoj kosini postavljen je niz repera kojima se prate deformacije brane.

Slijeganje krune brane prati se od ljeta 1959. g. Kroz posljednju godinu dana slijeganje iznosi 11 cm. Kod punjenja jezera kruna brane je pomaknuta nizvodno za 4 cm.

Za vrijeme punjenja jezera opažano je prozjeđivanje u kontrolnoj galeriji. Na nekim je mjestima nešto vode prodiralo iz temeljne stijene kroz beton u galeriju. Ta su mjesta naknadno injektirana, pa je priliv vode kod punog jezera smanjen na oko 1 l/sec što je veoma malo.

Na lijevom kraju brane smješten je preliv, reguliran automatskom segmentnom zapornicom $5,0 \times 10,0$ m. Voda s preljeva teče strmim žljebom uz lijevu padinu doline do korita Cetine, gdje se kinetička energija rasipava u velikoj bučnici. Hidraulički najpovoljniji oblici za ulaz pred prelivom, strmi žljeb i za bučnicu, određeni su na modelima u laboratoriju Elektroprojekta u Zagrebu.

Veći dio istražnih bušenja, ispitivanja u laboratoriju, idejni i glavni projekt, kao i direktivni nadzor za branu Peruća, izvelo je poduzeće Geoistraživanja, Zagreb.

Hidroelektrana Peruća

Ing. Krunoslav Begović, Elektroprojekt – Zagreb

U V O D

Hidroelektrana Peruća je pribranska elektrana na rijeci Cetini, oko 14 km uzvodno od Sinja, sa akumulacijom za godišnje izravnanje. Ova akumulacija služi sada za izravnanje protoka u hidroelektrani Kraljevac (nedaleko Omiša), a kasnije će to biti glavna akumulacija za novu hidroelektranu Split. Pregradom dobiveni pad koristi se u pribranskoj elektrani Peruća.

Izgradnjom gravitacione nasute pregrade stvoreno je jezero Peruća, ukupne sadržine 541 km³ kod uspora vode na koti 360,00 m. Ovo je najveća pregrada ovog tipa u Hrvatskoj i jedna od prvih pregrada na krškom terenu. Za odvod velike vode predviđena je na lijevoj strani pregrade zaklopna brana, koja sa temeljnim ispustom može bez uspora odvesti dvostruko veću 100-godišnju veliku vodu. Dovod vode do turbina predviđen je tunelom, koji u luku obilazi pregradu u lijevoj obali. Na početku tunela predviđen je ulazni uređaj od koga vodi armirano-betonski tunel svijetlog promjera 6,7 m, ukupne dužine oko 300 m. Tunel pred turbinama prelazi u čelični razdjelni cjevovod, koji završava kod predturbinskih zatvarača. Promjer razdjelnog cjevovoda smanjuje se do 3,8 m pred leptirastim predturbinskim zatvaračima. Čelični dio cjevovoda je položen u betonskom bloku.

Strojarnica i rasklopna postrojenja smještena su ispod pregrade na nizvodnoj strani.

VELIČINA IZGRADNJE I IZBOR BROJA AGREGATA

Na temelju opsežnih studija, u kojima su uvažene energetske mogućnosti i uloga elektrane u njenom elektroenergetskom sistemu, odabrana je veličina izgradnje $Q_i = 120$ m³/sek, koja je definitivno usvojena na konzultativnom sastanku Revizije komisije Sekretarijata za privredu NR Hrvatske od lipnja 1953 god. Tom prilikom je definitivno utvrđena mikrolokacija i tip pregrade.

Rješenje elektrostrojarskog dijela hidroelektrane se osniva na veličini izgradnje od 120 m³/sek.

Kod srednjeg netto pada od 41,0 m, te potroška od 120 m³/sek uzeta su dva agregata sa turbinama Francis. Povećanje broja agregata ne dolazi u obzir radi poskupljenja opreme i građevinskih radova. Transport opreme, makar su strojevi po dimenzijama veliki, nije pravio nikakvih poteškoća, budući da su strojevi transportirani u dijelovima, te u samoj strojarnici sastavljeni i vareni.

PADOVI I SNAGE ELEKTRANE

Najviši uspor u akumulaciji do preljeva predviđen je na koti 360,00 m, a kod katastrofalnog protoka voda se može popeti do kote 362,45 m. Predviđa se pražnjenje akumulacije do kote 320,00 m. Srednji gornji vodostaj određen je približnom kotom energetskog težišta akumulacije, t. j. kotom 348,20 m. Donja voda varira prema protocima, te kod 60,0 m³/sek iznosi 304,06 m, a kod 120 m³/sek 304,86 m. Kod najvećeg protoka od 280 m³/sek kota donje vode iznosi 306,30 m.

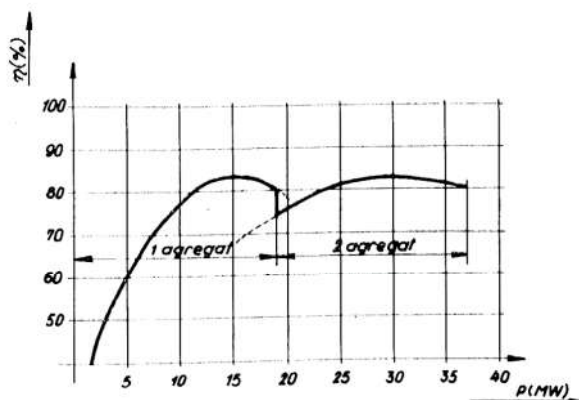
Prema tome dobivamo ove brutto padove
(za 120 m³/sek):

najveći	360,0 – 304,86 = 55,14 m
srednji	348,2 – 304,86 = 43,34 m
najmanji	320,0 – 304,86 = 15,14 m

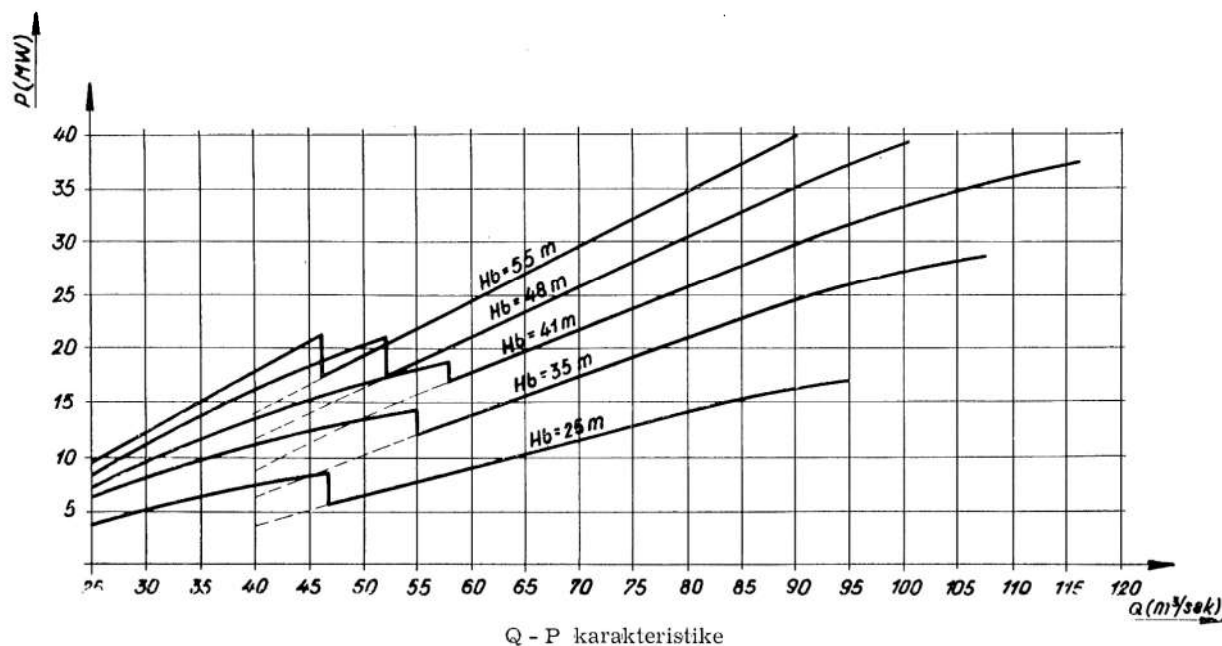
Karakteristični netto padovi iznose:

Q m ³ /sek	60	120
H _n (max) m	54,22	52,90
H _n (sr.) m	42,42	41,10
H _n (min) m	14,22	12,90

Pomoću dijagrama ukupnog stupnja djelovanja elektrane, koji je dobiven, uvaživši stupnjeve djelovanja cjevovoda, turbina, generatora i transformatora, izvedena je Q–P karakteristika elektrane t. j. dijagram u kome je korisna snaga elek-



Krivulja stupnjeva djelovanja elektrane za Hb=41 m



trane na sabirnicima 110 kW prikazana kao funkcija potroška vode turbina. Krivulje stupnja djelovanja i Q-P karakteristike prikazane su na slikama. Kako se iz slika razabire, kod srednjeg brutto pada od 43,40 m najveća snaga na sabirnicima 110 kV iznosi 41,6 MW. Srednji ekvivalent protoka iznosi 320,0 kWh/m³. Najveći potrošak jedne turbine je 60,0 m³/sec, snaga 20,8 MW. Što se tiče proizvodnje energije, može se reći da ova iznosi različito (računato za srednju hidrološku godinu) već prema tome, da li elektrana Peruća radi sa HE Kraljevac ili sa HE Split i to uz godišnje izravnane ili uz forsiranje zimske energije. Prema tome, o kojem se pogonskom slučaju radi, dobiva se produkcija od 155,70 do 213,92 GWh.

IZBOR TURBINA

Kako je već naprijed spomenuto elektrana je izvedena sa dvije Francis turbine, konstruktivnog pada 41 m, potrošak po turbini iznosi 60 m³/sec. Granica brzohodnosti je kod $n_s = 308$, a broj okretaja turbine iznosi 187,5 0/min. Promjer rotora turbine iznosi 2,07 m. Snaga turbine iznosi 29.000 KS.

To je nazivna snaga turbine, koju ona razvija kod punog potroška i srednjeg netto pada. Kod najvećeg netto pada i rada jedne turbine ograničena je snaga turbine obzirom na veličinu generatora. Tako turbina kod $H_n = 54,22$ m guta svega 46,5 m³/sec, kako se to iz topografskog dijagrama, odnosno eksploatacione krivulje turbine može vidjeti.

Koeficijent kavitacije $\sigma = 0,16$ pa je potrebna usisna visina

$$H_s = 10 - \sigma \cdot H_{n \max} \cdot \frac{4}{900} = 10 - 0,16 \cdot 54,22 - \frac{307}{900} = +1,01 \text{ m}$$

za nadmorsku visinu od 307 m nad morem. Kota donje vode kod protoka od 60 m³/sec, koja je mjerođavna za kavitaciju, iznosi 304 m. Prema tome bi simetralna ravnina turbinske spirale trebala biti na koti

$$304,0 + 1,01 = 305,01 \text{ m}$$

Radi sigurnosti od kavitacije, simetralna ravnina je u dogovoru sa dobavljačem turbine postavljena na kotu 304,50, t. j. sa usisnom visinom

$$H_s = 0,50 \text{ m}$$

Uz odabranu brzinu vode od $v_0 = 3,38$ m/sec nije potrebno staviti regulator tlaka.

Dužina tlačnog cjevovoda $L = 300$ m pa vrijeme zatvaranja i regulacijske karakteristike izlaze u prihvatljivim granicama. Zamašni moment iznosi 2400 tm², a vrijeme zatvaranja 7,0 sek uz faktor nejednolikosti 0,39 u najnepovoljnijem slučaju. Pritom je računato sa punim potroškom od 60 m³/sec odnosno 120 m³/sec.

Turbine su normalne konstrukcije, sa vertikalnom osovinom za direktni spoj na generator. Turbinska spirala je varene konstrukcije, potpuno ubetonirana. Regulator broja okretaja je akcelero-tahimetrijski turbinski regulator, standardne konstrukcije »Litostroj«, tip AT-4.

Pogon pomoćnih uređaja turbine je direktan sa osovine turbine. Turbina i svi pomoćni turbinski uređaji izrađeni su u tvornici »Litostroj« – Ljubljana.

PREDTURBINSKI ZATVARAČI

Za pad od 50 m dolaze u obzir jedino leptirasti zatvarači. Stoga su odabrani takvi zatvarači za svjetli promjer ϕ 3800 mm i navedeni statički tlak. Zatvarači su smješteni neposredno pred turbinama u strojarnici, na dohvat glavne dizalice. Otvaranje zatvarača izvedeno je uljnim servomotorom, a zatvaranje tlakom vode. Pogon je automatiziran.

Ovi zatvarači su izvedbe tvornice »Litostroj« Ljubljana.

ELEKTRIČNI GENERATORI

Snaga generatora određena je na temelju nazivne snage turbine kod srednjih prilika. Uz stupanj djelovanja generatora od 0,96 izlazi snaga generatora

$$P_g = 29.000 \cdot 0,96 \cdot 0,736 = 20.500 \text{ kW}$$

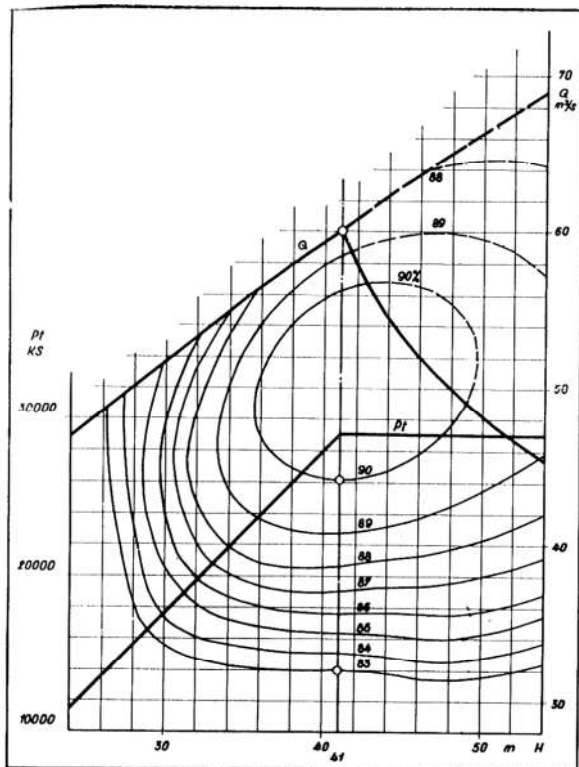
odnosno uz $\cos \varphi = 0,8$

$$P_g = 25.600 \text{ kVA}$$

pa su odabrani generatori prividne snage

$$P_g = 26.000 \text{ kVA}$$

Generatori su sinhroni, trofazni, sa vertikalnom osovinom trajne snage 26,0 MVA, za nazivni napon 10,5 kV sa opsegom regulacije $\pm 10-5\%$, sa 32 pola i 187,5 0/min, kod 50 Hz, sa maksimalnom brzinom bijega od 405 0/min. Prirodni zamašni momenat je oko 2000 tm^2 , pa je izveden sa $\text{MD}^2 = 2400 \text{ tm}^2$. Aksijalni noseći ležaj agregata izveden je na poklopcu turbine, a gornji vodeći ležaj ispod generatora tako, da otpada gornja noseća zvijezda, te iz poda dvorane strojeva vire



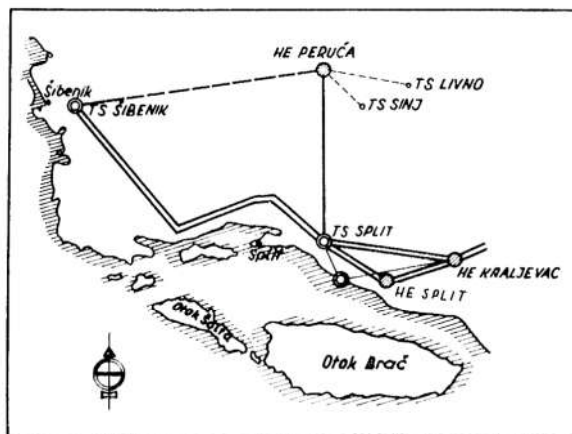
Dijagram učina i snage turbina F 2,07/308

samo uzbudni strojevi. Rotor generatora izveden je kao lančani rotor, koji se nasadi na osovinu turbine (t. zv. »kišobran« izvedba). Na taj način moguće je agregat izvesti sa osovinom iz jednog komada, bez međuspoja. Ovako vrlo povoljno rešenje generatora utjecalo je na visinu strojarnice, jer se kod remonta odnosno montaže diže sam lančani rotor, bez osovine, što zahtijeva malu visinu.

Generator je hlađen vodom koja cirkulira u posebnim hladionicima kroz koje struji zrak iz generatora.

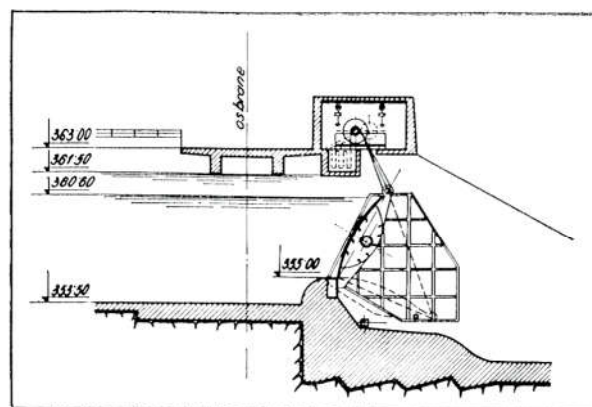
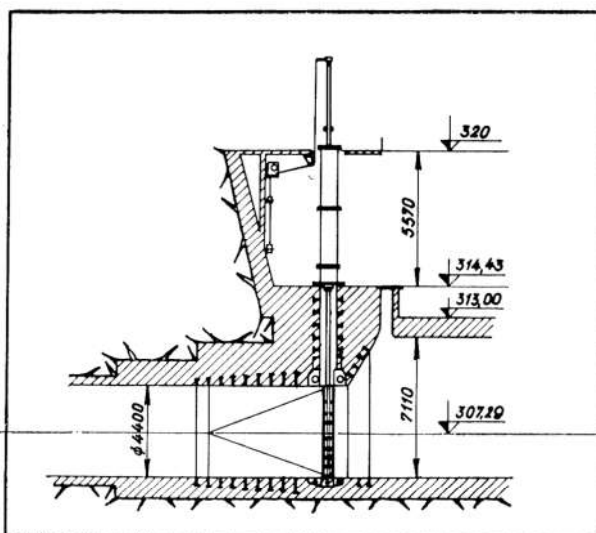
Oprema generatora je normalna za ovakove veličine. Za regulaciju napona služi amplitudinska regulacija.

Generator je sa kompletnom opremom izrađen u tvornici »Rade Končar« – Zagreb.



Spaj elektrane s vanjskom mrežom

[illegible]



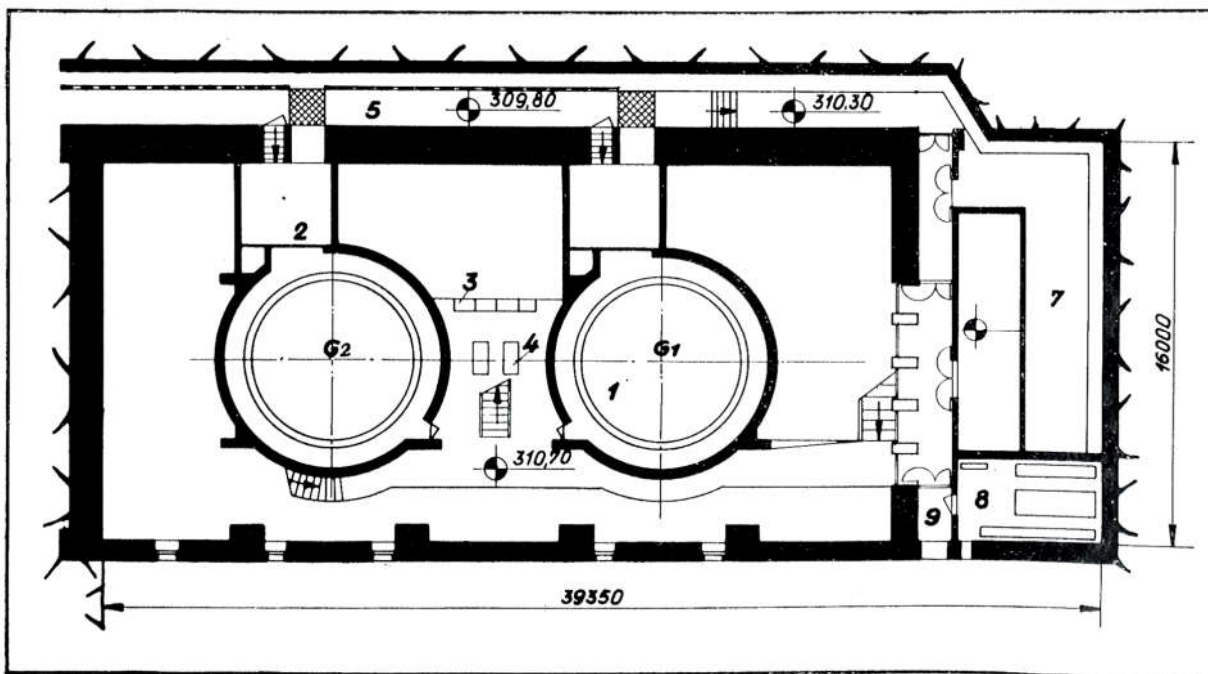
Preljevna zaklopka u brani

Klizi zatvarač na temeljnom ispustu

RASKLOPNO POSTROJENJE VISOKOG NAPONA

Položaj elektrane u sistemu prikazan je na slici. Hidroelektrana Peruća davat će svu raspoloživu energiju u mrežu 110 i 30 kV. Ona je vezana sa jednim 110 kV dalekovodom za TS 110/30 kV Split, dok drugi 110 kV dalekovod će ići ili u TS Šibenik ili u buduću TS Knin. Na 30 kV strani ova elektrana vezana je dalekovodima 30 kV sa TS Sinj, TS Livno, a postoje još dva izlaza 30 kV za budućnost.

Jednopolna principna električna shema elektrane prikazana je na slici. S obzirom na položaj elektrane u sistemu i njenu ulogu, električni uređaji izvedeni su sa tri napona. Napon generatora 10,5 kV, te napon prijenosa 30 i 110 kV. Vlastita potreba elektrane pokriva se naponom 380/220 V, te istosmjernim naponom 220 V i 24 V.



Tlocrt generatorskog kata na koti 310.70 — LEGENDA: 1. Generatori, 2. Zvezdište, 3. Ploča amplidina, 4. Amplidin, 5. Kabelski hodnik, 6. VFT uređaj, 7. Kabelski prostor, 8. Aku-baterija, 9. Ustava

Na temelju računa kratkog spoja odabrane su na 110 kV strani sklopke snage 2500 MVA, 600 A, na 30 kV strani sklopke rasklopne snage 400 MVA, 600 A. Rastavljači na 110 kV strani predviđeni su za 600 A, a na 30 kV strani za 400 A.

Svi aparati rasklopnog postrojenja izrađeni su u tvornici »Rade Končar«, Zagreb, osim katodnih odvodnika prenapona koji su izvedbe »Elektrosrbije« — Ripanj i naponskih transformatora 110 kV koji su izvedbe tvornice CGS iz Italije.

HIDROMEHANIČKA OPREMA

Hidromehanička oprema ugrađena je na slijedećim objektima HE Peruće:

- a) ulazni uređaj
- b) temeljni ispust
- c) preljev
- d) tlačni cjevovod

a) Ulazni uređaj smješten je na lijevoj obali Cetine i dimenzioniran je 120 m³/sek, sa ugrađenim voznim tablastim zatvaračima za svijetli otvor 4,00 × 7,50 m, za najveći hidrostatski tlak od 55 m, sa armaturom i cijevima za zračenje dužine oko 150 m. Za montažu i remont zatvarača predviđena su posebna vitla, koja se mogu montirati na betonski portal iznad zatvarača. Pogon zatvarača predviđen je pomoću vitla, čiji je motorni pogon smješten u posebnoj kućici na lijevoj obali akumulacionog jezera, blizu brane. Zatvarač je vezan galskim lancem preko posebnih zupčanika. Na ravnom kosom dijelu spojen je motkama.

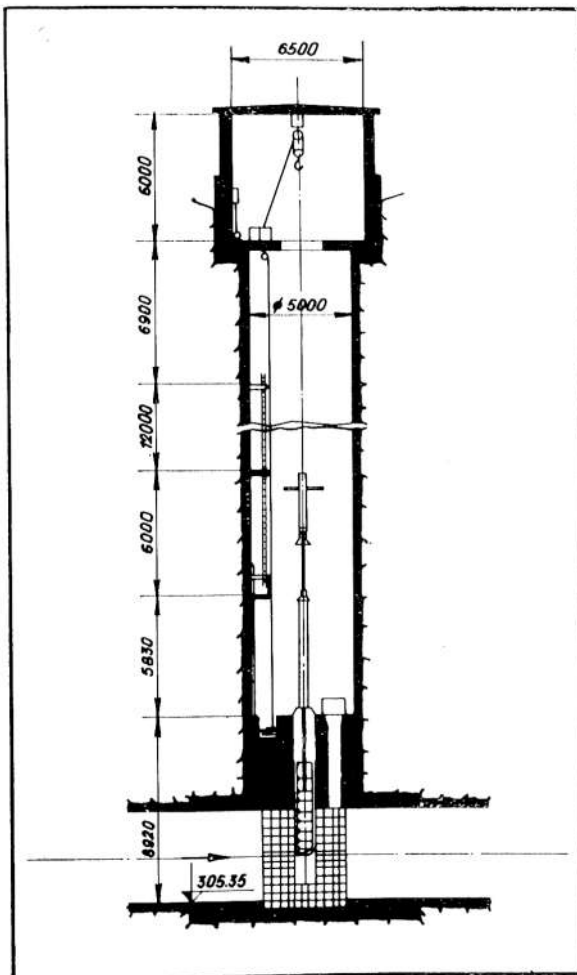
Zatvarač se može dizati jedino kod izjednačenog pritiska, te je zato predviđen sa by passom. Spuštanje je moguće i kod protoke.

Ispred zatvarača predviđena je gruba rešetka dimenzije 10,0 × 13,5 m, svijetli otvor među šipkama iznaša 70 mm. Ulazno grlo razdijeljeno je jednim stupom u dva otvora svijetle širine 3,30 m. U svakom otvoru ugrađena je po jedna zapornica. Zapornice se mogu pokretati neovisno jedna o drugoj, svaka sa svojim mehanizmom.

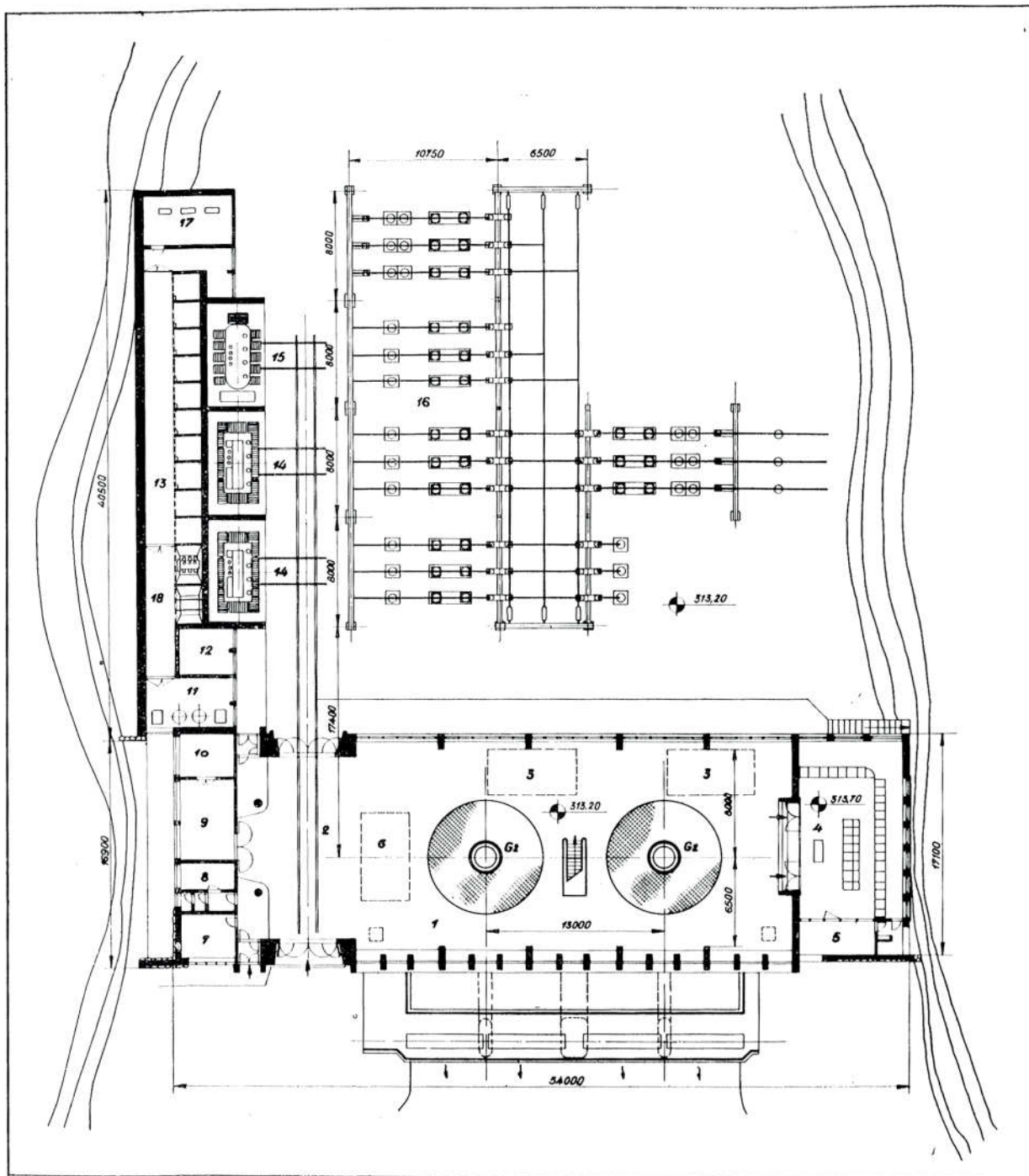
Prag ulaznog grla leži na koti 310,0 m.

b) Temeljni ispust je izveden kao tunel, koji u luku obilazi pregradu sa desne strane. On služi za pražnjenje jezera i za ispuštanje izvjesnih količina vode. Za vrijeme građenja služi kao obilazni tunel za propuštanje vode rijeke Cetine. Na ulazu u tunel predviđeni su utori za unutarnje gredne zapornice, a iza njih dolazi gruba rešetka dimenzije 4,40 × 7,20 m, sa svijetlim razmakom između palica 24 cm. Prag ulaza nalazi se na koti 305,54 m, a tunel je svijetlog otvora ϕ 4,34 m. Po prilici u sredini tunela smješten je pomoćni zatvarač, koji omogućava montažu i reviziju regulacionog zatvarača kao i dijela tunela nizvodno od pomoćnog zatvarača.

Pomoćni zatvarač izveden je kao klizni zatvarač dimenzije 4,0 × 4,0 m, sa hidrauličkim pogonom pomoću tlačnog cilindra. Zatvarač se diže i spušta samo kod izjednačenog pritiska, te je radi toga opremljen sa by passom. Iza zatvarača smješten je normalni zračni ventil za prozračivanje. Za pristup do samog zatvarača služi okno promjera 5 m koje je dugo 31 m. Ovo okno služi i za montažu zatvarača. Iznad ovog okna nalazi se pogonska kućica u kojoj su smješteni svi pomoćni aparati za pogon zatvarača. Pod kućice je na koti 345,0 m,



Pomoćni zatvarač temeljnog ispusta



Tloort strojarnice, rasklopnih postrojenja i pomoćnih uređaja na koti 313,20

LEGENDA: 1. Strojarnica, 2. Montažni prostor u strojarnici, 3. Otvori za montažu turbinske opreme, 4. Komanda, 5. Soba uklopničara, 6. Montažni otvor za transformator, 7. Soba strojara, 8. Garderoba, 9. Radiona, 10. Priručno skladište, 11. Kompresori, 12. Skladište, 13. Rasklopno postrojenje 10 i 30 kV, 14. Blok transformatori, 15. Regulatorni transformator, 16. Rasklopno postrojenje 110 kV, 17. Ventili uređaja za gašenje požara, 18. Kućni transformatori

a os zatvarača na koti 307,52 m. Predviđena je mogućnost upravljanja i pokazivanja položaja zatvarača iz kućice regulacionog zatvarača.

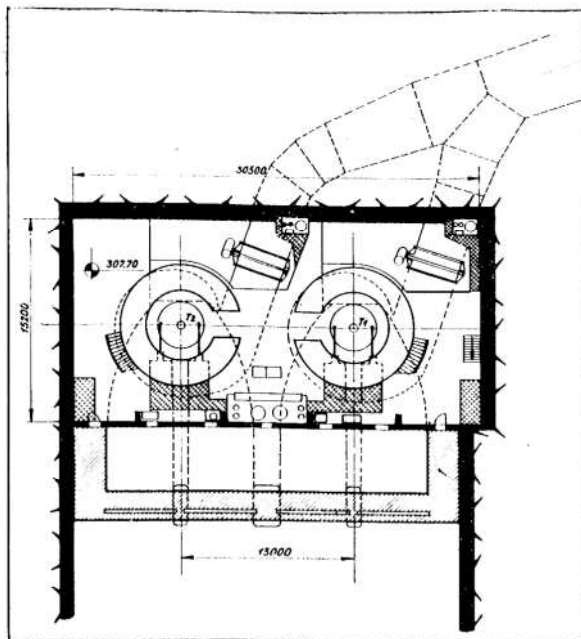
Regulacioni zatvarač nalazi se na kraju tunela temeljnog ispusta. Ovaj zatvarač izveden je kao klizni zatvarač na svijetlom otvoru $2,80 \times 4,40$ m i omogućuje kontinuirano reguliranje protoka. Izveden je za hidrostatski pritisak od 55 m v. s. Dio tunela uz zatvarač je blindiran. Zatvarač pokreće tlačno ulje i servomotor, koji je smješten iznad njega. Tlačno ulje dovodi uljna pumpa gonjena elektromotorom, a smještena je u kućici pokraj zatvarača. Postoji mogućnost upravljanja i pokazivanja položaja iz komande elektrane.

Između regulacionog zatvarača i korita Cetine izveden je poništač mlaza iz armiranog betona.

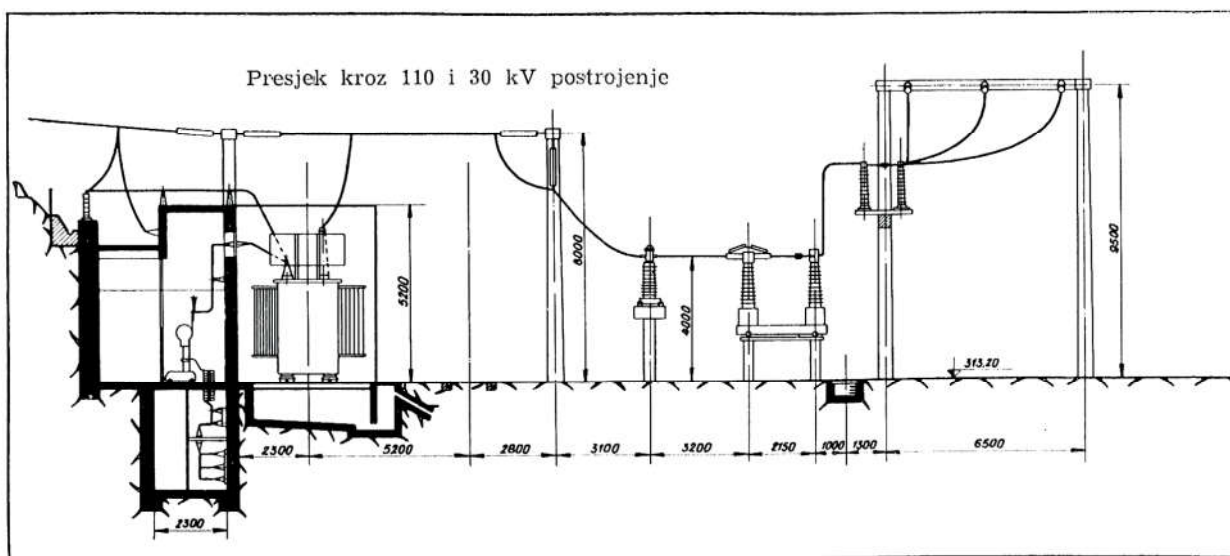
c) **Preljev** je izveden u kruni brane na lijevoj obali, sa pragom na koti 355,0 m. Preljev je dimenzioniran za $340 \text{ m}^3/\text{sek}$. Preljevni organ je preljevna zapornica oblika »riblji trbuh«. Veličina zapornice iznosi $5,0 \times 10,0$ m, čelične konstrukcije u jednom polju. Mehanizam za dizanje smješten je u kućici s lijeve strane preljeva. Upravljanje zaklopkom je poluautomatski, t. j. dizanje zaklopke ručnom komandom, a spuštanje automatski. Upravljanje je moguće sa lica mjesta, a i daljinski iz komande elektrane, kao i pokazivanje položaja zaklopke. Zaklopka se automatski spušta u razdjelima po 0,5 m za svakih 0,02 m povišenja vode u jezeru.

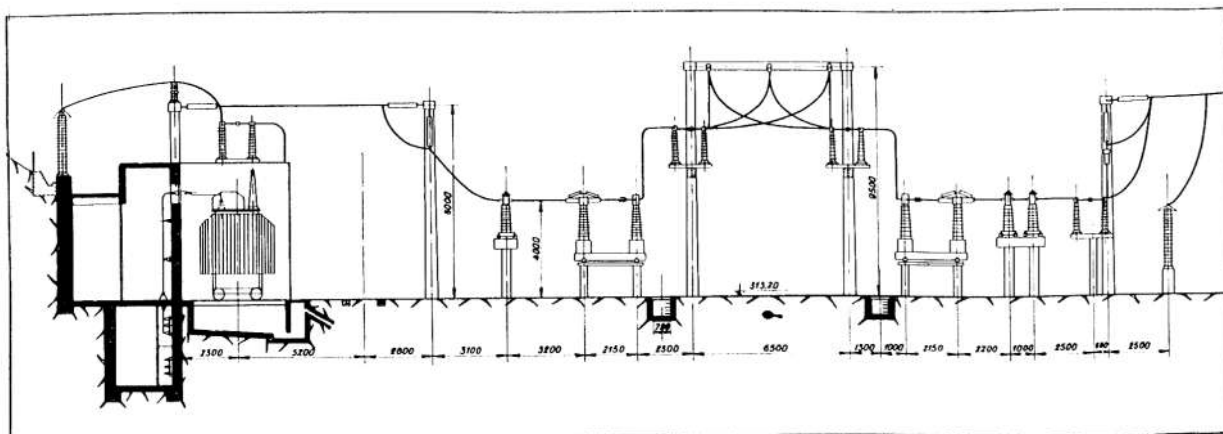
Iza preljevne zaklopke je otvoreni betonski kanal, koji završava nizvodno od strojarnice u koritu rijeke. Na kraju kanala je izgrađena t. zv. »bučnica«, koja umiruje nadolazeću vodu.

d) **Tlačni cjevovod** izveden je na lijevoj obali, te u luku prolazi ispod brane i izlazi ispod platoa rasklopnog postrojenja. Tunnel je u prvom svom dijelu u dužini od oko 300 m betonski, a kasnije prelazi u čeličnu razdjelnu cijev. Pad tunela je oko 2‰. Svijetli otvor tunela iznosi $\phi 6,7$ m. Os tunela na ulazu leži na koti 309,35, dok je na izlazu os na koti 308,33 m. Odavde počinje razdjelni cjevovod, izveden iz čeličnih ploča međusobno zavarenih. Ovaj čelični cjevovod ubetoniran je po cijeloj svojoj dužini. Razdjelni cjevovod počinje sa promjerom $\phi 6,7$ m i završava pred leptirastim predturbinskim zatvaračima sa $\phi 3,8$ m i formiran je tako da ima najpovoljniji hidraulički oblik.



Tlocrt turbinskog kata na koti 307.70 m





Presjek kroz dalekovodno polje 110 kV

STROJARNICA

Strojarnica i rasklopna postrojenja smještena su ispod brane. Pri problemu smještaja strojarnice i rasklopnih postrojenja trebalo je riješiti oprečne zahtjeve povoljnijeg smještaja obzirom na funkcijsku povezanost pojedinih dijelova postrojenja, potrebne prostore i obzirom na raspoloživ prostor. Naročite teškoće kod rješavanja dispozicije pojavile su se i zbog strmih obala rijeke Cetine. Pristupna cesta dolazi sa desne obale, pa je na nju trebalo vezati komunikacije strojarnice.

Cijelo postrojenje riješeno je u dva bloka. Jedan sadrži strojarnicu, komandu i pomoćne prostorije, a drugi sadrži 30 kV rasklopno postrojenje, kućne transformatore, kompresore i uređaj za gašenje požara na transformatorima te 10 kV priključke na blok transformatore. Ispod ovog drugog bloka smještene su 10 kV spojne šine i sabirnice 50 kV. Transport cjelokupne visokonaponske opreme kao i transformatora ide kroz strojarnicu.

Glavni prostor strojarnice riješen je u tri etaže: turbinski kat, generatorski kat i dvorana strojeva sa komandom.

Raspored objekata, na koti 313,20 i turbinski kat prikazani su na slikama. Ovaj kat je smješten na koti 307,70 m, a obuhvaća prostor turbina i njihove opreme. Turbinske spirale su posve ubetonirane. Na betonsku masu ispod kote podla turbinskog kata vezana su dva betonska valjka, promjera 9,2 m, koji su određeni na temelju promjera generatora. Ovi betonski valjci služe samo djelomično kao noseća konstrukcija za generator, jer je obzirom na veličinu turbina i generatora odabrano rješenje sa čeličnim stožastim plaštem, koji se učvrsti na kućište turbine i koji nosi generator. Noseći ležaj agregata smješten je na poklopcu turbine i kruto vezan sa čeličnim stožastim nosećim plaštem. Pristup do nosećeg i donjeg vodećeg ležaja je kroz posebne otvore iz srednjeg prostora između agregata. Pristup ispod turbine je iz prostora u kojem je smješten predturbinski zatvarač.

Turbinski regulator smješten je između agregata uz nizvodni zid strojarnice. Uz ovaj zid smješten je i pomoćni kompresor, hladionik, kao i uređaj za kočenje generatora. Sa svake strane strojarnice, uz nizvodni zid, nalazi se po jedan drenažni bunar sa pumpom za drenažu. Oba ova bunara međusobno su spojena. Iznad svakog predturbinskog zatvarača nalazi se odgovarajuća tlačna naprava. Pult strojeva nalazi se između oba betonska plašta nasuprot regulatoru.

Iz turbinskog kata vode dvojna vrata na most gdje se nalaze uređaji za dizanje difuzorskih zatvarača.

Generatorski kat nalazi se na koti 310,70 m. Generatori su smješteni unutar betonske obloge. Između ovih obloga, a ispod stepenica, koje vode iz generatorskog kata u dvoranu strojeva, nalaze se uređaji za automatsku regulaciju napona (amplidin i ploča amplidina). Sa nizvodne strane obloge generatora nalazi se uski ograđeni plato koji na desno vodi prema turbinskom katu, a na lijevo do drugih stepenica prema turbinskom katu, zatim u prostoriju akumulatorske baterije, prostoriju VFT, te kabelskog hodnika moguć je pristup u prostorije zvjezdišta generatora, koji su smješteni uzvodno od plašta generatora. Raspored prostorija vidljiv je iz slika.

Dvorana strojeva nalazi se na koti 313,20. U toj dvorani vidljivi su samo uzbudni strojevi pojedinog generatora, dok je ostali dio generatora ispod rebrastog lima. Otvori za montažu predtur-

binskih zatvarača smješteni su simetrično, uzvodno od generatora. Pristupna cesta vodi direktno u dvoranu strojeva. U njezinu produženju u dvorani postavljene su u podu šine za transport transformatora. Između ovih šina i agregata, u podu dvorane, postoji još jedan otvor koji služi kod remonta transformatora za spuštanje transformatora u turbinski prostor. Sa svake strane dvorane, iznad drenažnih pumpa također su otvori koji služe za izvlačenje drenažnih pumpa. Svi ovi otvori normalno su pokriti poklopcima metalne konstrukcije, ispunjene istim materijalom kao i pod dvorane.

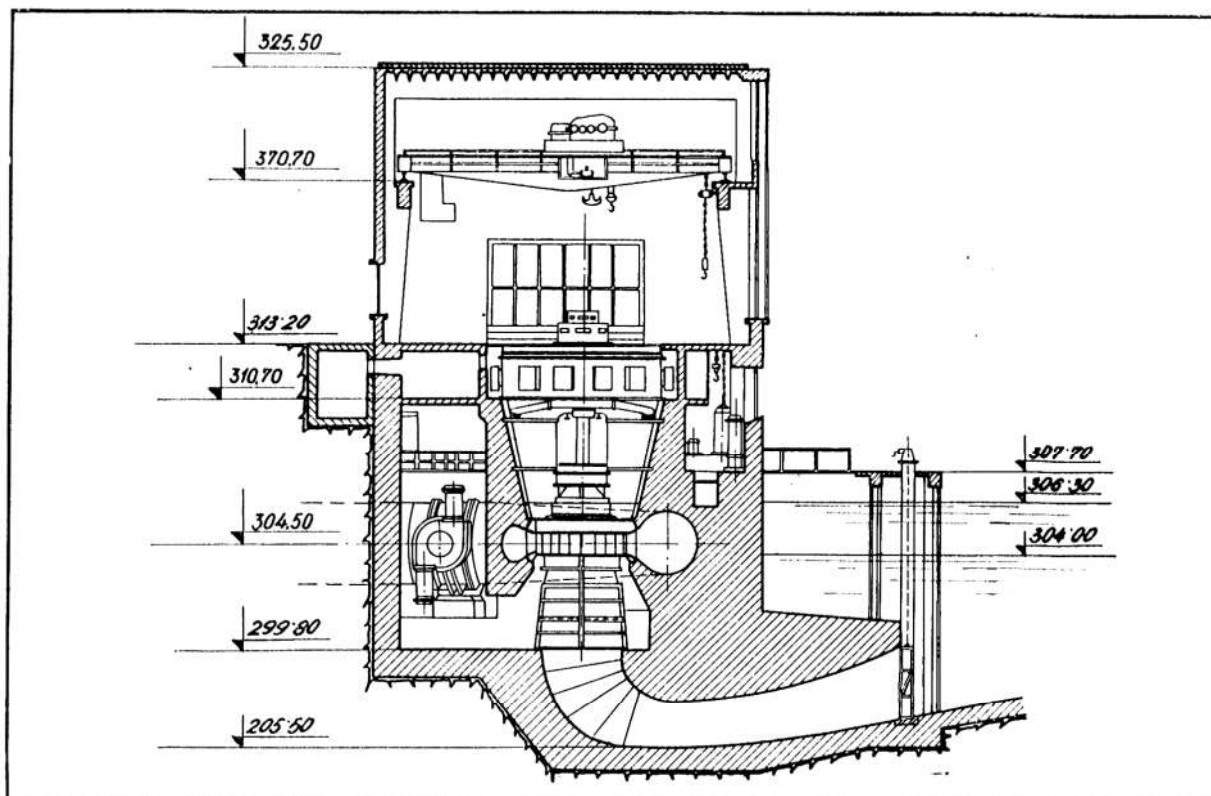
Iznad poda dvorane u visini od 7,25 m nalazi se kranska staza za mosnu dizalicu od 100 t. Uz glavnu dizalicu postoji i jedna manja od 10 t. Na uzvodnoj strani mosne dizalice nalazi se kabina za upravljanje dizalicom.

Na kraju dvorane, nešto povišeno, na koti 313,70 m je centralna komanda. U komandnoj prostoriji smještena je komandna i relejna ploča, komandni pult, te stol uklopničara sa telefonskim posredničkim aparatom. Uz komandu je soba za uklopničara.

Na drugoj strani dvorane strojeva nalazi se radionica, skladište, soba za strojara i potrebne prostorije sanitarnog uređaja.

RASKLOPNA POSTROJENJA

Rasklopno postrojenje 30 kV nalazi se u zgradi koja se pruža na desnoj obali od strojarnice prema brani. Postrojenje je izvedeno sa 8 ćelija i to: 4 dalekovodne, 1 regulacioni transformator, 1 mjerna ćelija, 2 kućnih transformatora. Sabirnice su jednostruke i nalaze se ispod ćelija. Pogon aparata je elektropneumatski, sa upravljanjem na licu mjesta i iz komande. Uz postrojenje 30 kV smješteni su kućni transformatori 30/0,4 kV, odvojeni željeznim vratima od 30 kV postrojenja. Rasklopno postrojenje 110 kV smješteno je na platou između strojarnice i brane, na otvorenom. Postrojenje se sastoji iz 6 polja i to: 2 dalekovodna, 2 blok-transformatora, 1 regulacioni transformator i 1 mjerno polje. Izrađeno je sa jednostrukim sabirnicama u poluvisekoj izvedbi. Pogon aparata je elektropneumatski sa upravljanjem na licu mjesta i daljinski iz komande. Transformatori su smješteni jedan do drugoga, međusobno odvojeni zaštitnim zidovima.



Poprečni presjek kroz strojarnicu

Izgradnja nasute kamene brane akumulacije Peruća

Ing. Paško Kuzmanić, Građevinsko poduzeće Konstruktor – Split

Izvedba brane i strojarnice tražila je izgradnju dvaju tunela, t. j. dovodnog tunela strojarnice u lijevom boku i temeljnog ispusta u desnom boku. Osim pomenutih građevina za evakuaciju vodnog vala, kod punog jezera, projektom je predviđena izvedba preljeva kao i uređenje korita nizvodno od strojarnice. Uz navedene glavne radove, tokom građenja, pojavilo se i više sporednih radova.

Planirano je, da se glavnim radovima otpočne u drugoj polovini 1954 godine.

Generalnim ugovorom između investitora i izvođača utanačen je rok dovršenja objekata 31. IX. 1959 godine, izuzev strojarnice, koja nije bila obuhvaćena spomenutim nadmetanjem.

Posebnim ugovorom i direktnom pogodbom dana je u rad zgrada strojarnice sa rokom dovršetka građevinskih radova 31. VIII. 1959 godine.

Ukupna vrijednost radova obuhvaćenih prvim i drugim ugovorom iznosila je 3.143 milijuna dinara.

Tokom radova nastupile su neizbježne promjene u projektu što je donekle izazvalo razlike između predviđenih i stvarnih troškova. Stvarni troškovi iznose približno 3.731 milijun dinara. Iskazani podaci proizlaze iz naplaćenih situacija, jer konačni obračun nije dovršen.

Odstupanje od planiranih troškova za izvedene radove kroz 6 godina iznosi 18,5%.

Od toga otpada na radove po troškovniku 3.371 milijun dinara ili premašaj od 7%, a za radove van troškovnika 359 milijuna dinara, odnosno 11,5%.

Premašaj za radove po troškovniku obuhvaća sve razlike količina, kao i razlike cijena, uslijed povećanja cijena materijala i radne snage, kao i uticaj izmjena propisa. Razlike od 11,5% odnose se na radove, koji nisu bili troškovnikom predviđeni.

Već početkom druge polovine 1954 godine izvođač je pristupio radovima pripreme i uređenja gradilišta.

Bilo je određeno da će se radovi odvijati ovim redom:

- a) dovršenje oba tunela, što omogućuje skretanje vode i isušenje korita na području temelja brane,
- b) fundiranje brane i izrada tijela brane i preljeva,
- c) izgradnja strojarnice.

Ovako utvrđeni plan građenja bio je održan, čak je dovršenje brane i oba tunela izvršeno godinu dana ranije t. j. koncem 1958 godine, tako da je akumulacija bila djelomično korišćena već u 1959 godini. Radovi na strojarnici odvijali su se po planu iako se radovima počelo čitavu godinu kasnije t. j. 1958 godine.

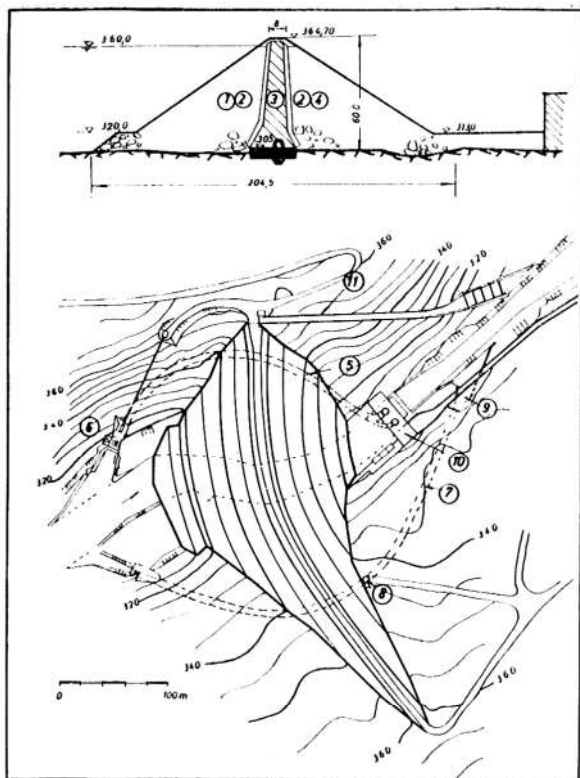
Pokušat ćemo dati u kratkim crtama tok radova i problema, kojim se poduzeće sretalo tokom izgradnje brane, pošto smatramo da je ovaj rad posebno interesantan sa stanovišta građevinarstva u



Miniranje u kamenolomu pomoću rednih dubokih mina odvaljuje jednim paljenjem 20—30000 m³ kamena



Bager Rapier s kašikom 3,7 m³ grabi odvaljeni kamen i utovaruje na kamione



1 i 4 kameni nasip — 2 filterski prijelazi — 3 jezgra od gline — 5 dovodni tunel — 6 ulazna građevina dovodnog tunela — 7 obilazni tunel — 8 okno sa pomoćnim zatvaračem — 9 izlazna građevina i rasi-pač energije sa regulacionim zatvaračem

Projektom brane vodilo se računa da se koriste izvori materijala, koji se mogu dobiti u neposrednoj blizini objekta, tako da su i tehnički uvjeti bili usklađeni stvarnim mogućnostima.

OBIM PRIPREMA

Pripreme na gradilištu obuhvatile su:

- određivanje uže lokacije kamenoloma i način eksploatacije, uključujući otvaranje
- otvaranje gliništa na desnoj i lijevoj obali — uzvodno od položaja brane, uključujući i način eksploatacije
- izvedba prilaznih putova od raznih izvorišta materijala do mjesta ugradnje
- izbor najpovoljnijih visina slojeva nasipanja, položaja i konstrukcije hidromonitora
- uređenje građevne jame za fundiranje jezgre
- formiranje geomehaničkog laboratorija
- izbor mehanizacije.

Nakon dovršenih planova od a)–c) pristupilo se izboru i nabavi mehanizacije, vodeći računa o pravovremenom izvršenju zadataka. Kod određivanja kapaciteta strojeva, odlučujuću ulogu predstavljalo je vrijeme moguće za ugradnju gline. S obzirom na prirodnu i optimalnu vlagu gline, rad je bio ograničen isključivo na suhu sezonu i to od početka V. do kraja X. mjeseca. Ostalo vrijeme tokom godine pripremali su se i završavali oni radovi kojima vlaga nije smetala. Nasip kamena u načelu nije bilo moguće forsirati radi razmjerno malih dimenzija brane, te je zbog toga trebalo zadržati određeni odnos između dovršenih nivoa kamenog nasipa i glinene jezgre. Uz spomenuta ograničenja u radu, prije početka izrade glinene jezgre, trebalo je dovršiti iskope i betonske temelje jezgre. Kamen i nasip se moglo započeti nešto ranije, neposredno nakon skretanja vode kroz dovršene tunele.

Jugoslaviji. Problemi, koje je trebalo riješiti tokom građenja nisu svakodnevni, niti u tehničkom, a niti u organizacionom pogledu.

Ostali radovi ovog gradilišta su već uspješno riješeni na mnogim našim gradilištima, tako da bi temeljni zbir ovih postignutih iskustava bio od značaja samo za ocjenu dobrog ili lošeg pristupanja i izvršenja tog posla.

PROJEKTNII PODACI I OBIM RADOVA BRANE

Kameni nasip 640.000 m³
 filterski materijal u jezeru 60.000 m³
 glina za jezgru 100.000 m³
 beton temelja jezgre i kontrolne galerije 15.000 m³
 iskop za temelje jezgre 15.000 m³
 iskop za temelje brane 80.000 m³
 visina brane u profilu korita 63 m
 širina nožice u profilu korita 220
 duljina u kruni brane 450 m.

Tehničkim uvjetima su propisani slijedeći zahtjevi za izvedbu:

Kameni nasip uzvodno max 10‰ sitneži do 20 mm.

Kameni nasip nizvodno max 20‰ sitneži do 20 mm.

Nasipanje izvoditi čeonu u slojevima min. 15 m.

Ugrađivanje kamenog nasipa sa 4 m³ vode na 1 m³ nasipa i tlak od 7 atm.

Ugradnja gline za jezgru u slojevima do 25 cm, nabijanje ježevima, postotak vlage optimalan da se postigne predviđena nepropusnost i krutost jezgre.



Prema programu izvođača izgradnja brane i temelja imala je biti dovršena krajem 1958 god., godinu dana ranije od ugovorenog roka. U vrijeme razrade programa predviđalo se da će tuneli biti dovršeni krajem drugog kvartala 1956 godine. Prema takvim kalkulacijama imali smo na raspolaganje 2,5 godine, računajući 6–7 mogućih radnih mjeseci godišnje. Da takav plan bude realan, trebalo je fundiranje brane izvršiti već tokom ljeta 1956 godine, kako bi krajem ljeta započela izgradnja glinene jezgre. Iako nije bilo moguće očekivati ugradnju velikih količina gline i kamena, ovo je bilo važno, da se otkriju svi problemi takvog rada, kako bi se mogle izvršiti potrebne pripreme za iduće dvije godine. Zbog toga bilo je predloženo od izvođača da se građevna jama omeđi i sa nizvodne strane nasutim zagatom, a ne betonskim, kako je projektom predviđeno. Izvedba betonskih zagata u vodi, vjerovatno ne bi dala tražene rezultate, a prijedlog, da se nakon dovršenih nasutih zagata pristupi izradi betonskih u suhom, dao je puni uspjeh.

Skretanje vode kroz tunele izvršeno je 6. VI. 1956 godine, izvedbom t. zv. uzvodne bankine, prislonjene uz uzvodni pokos brane, obložene sa uzvodne strane, po filtarskom zakonu, šljunkovitim i glinovitim materijalom, na već izbagerovano korito. Kruna uzvodne bankine izvedena je na koti + 316. Za vrijeme nasipanja služila je kao komunikacija, povezujući lijevu i desnu obalu rijeke. Na isti način izveden je i nizvodni zagat, na koti + 306, dovoljno iznad donje vode. Tek nakon isušivanja korita između dovršenih nasutih zagata, koje je izvršeno 11. VII. 1956 godine, pristupilo se iskopu za temelje jezgre i izvedbi betonskog uzvodnog zagata u suhom. Ovaj zagat bio je potreban, da zadrži eventualnu provalu vode kroz uzvodnu bankinu, kao i vodu koja se dodaje kamenom nasipu, dok se glinenom jezgrom pređe usporena gornja voda. Nizvodni betonski zagat nije više bio potreban, zamijenio ga je nasuti zagat.

Uspješnim dovršenjem temeljenja jezgre, realizirala su se naša očekivanja, pak smo već tokom 1956 godine bili u stanju da damo zadovoljavajuće odgovore na probleme, koji su bili pred nama.

Izbor mehanizacije, izvršen je ranije, predpostavljajući maksimalni dnevni kapacitet ugradnje kamena 3.500 m³, gline 550 m³ i filtera 350 m³.

Isporuка strojeva bila je u toku od početka 1956 godine.

Nabavljeni su slijedeći strojevi za radove u kamenolomu, gliništu, za prijevoz materijala i ugradnju gline:

Strojevi za bušenje:

- 4 kom »Halco - Steinuick« — bušilice ϕ 4", moguća dubina 45 m, prosječna brzina 2,5 m/h
- 2 kom »Wagon - Drill« — bušilice ϕ 2,5", moguća dubina bušenja 200 m
- 2 kom »Air Pumps« — električni kompresori od 11,4 m³/min zraka
- 2 kom »Air Pumps« — diesel kompresori od 7,0 m³/min zraka.

Strojevi za utovar:

- 1 kom »Rapier« — električni bager, kapacitet kašike 3,5 cy
- 2 kom »Rapier« — električni bageri, kapacitet kašike 2,5 cy
- 1 kom »Rapier« — diesel bager, kapacitet 1,5 cy.

Prijevozna sredstva:

- 10 kom »Euclid« — dumperi od 15 tona
- 10 kom »Foden« — dumperi od 9 tona.

Strojevi za razastiranje:

- 4 kom »Foden« — buldožeri od 18 tona težine.

IZVRŠENJE ZADATKA

Kako je već navedeno izvođač je postavio svoj plan dovršenja brane od početka VI. 1956 do 31. XII. 1958 godine, uključujući skretanje vode kroz tunel.

Nabavljena mehanizacija odgovarala je maksimalnoj dnevnoj ugradnji kamenog nasipa od 3.500 m³. Ostali materijali imali su pratiti napredovanje kamenog nasipa, što je prosječno odgovaralo: glina cca 550 m³, a filtarskih slojeva cca 350 m³ dnevno. Da bi se ove količine mogle dnevno izvršiti, bilo je potrebno dopremiti na mjesto ugradnje 14.000 m³ vode ili 160 lit/sec, uz tlak na topnici od 5 At.

a) Kamenolom

Prije konačne odluke za izbor lokacije kamenoloma, izvršeni su istražni radovi na dva predložena mjesta, jedno na lijevoj, a drugo na desnoj obali, uzvodno od položaja brane.

Ustanovilo se da je kamen na desnoj strani povoljniji, da ima manje jalovine i da bolje odgovara tehničkim uvjetima. Udaljenost kamenoloma od težišta brane iznosila je cca 700 m zračne linije. Pod kamenoloma je na koti +340. Kako se temelj brane nalazi na +300, a kruna brane +363 m n.m, kamen se imao dijelom voziti u padu, a dijelom u usponu. Povoljnije rješenje se nije našlo, pošto se na višim kotama nalaze slabiji slojevi. Nastojalo se dobiti što duži front u kamenolomu, kako bi rad bagera i pristup vozila bio nesmetan. S obzirom na kvalitet stijene, i konfiguraciju brda, ukupna dužina fronta kamenoloma iznosila je 250 m.

Prihvaćen je sistem dubinskog miniranja, iz razloga što je pad terena vrlo blag, do 20%, pa se može razmakom bušotina postići povoljnu granulaciju, uz vrlo mala naknadna miniranja.

Radeći na takav način u jednoj etaži, postigla bi se visina čela 40 m, a kako se nije moglo očekivati da će biti zajamčena sigurnost rada kod tako visokog čela, u slojevitim vapnencima, gdje se slojevi pružaju paralelno sa izohipsama, a pad slojeva od brda prema podu kamenoloma je 30° do 45°, prva je odluka bila da se eksploatira u dvije etaže. Čelo kamenoloma trasirano je cca 30° prema liniji pružanja slojeva. Za vrijeme rada pokazalo se da se čelo drži i na veću visinu, ako se nakon svakog paljenja čelo ispravno uredi — »kava«, te ako se stalno pazi na ponašanje stijene. Radeći na takav način visina čela kamenoloma dosegla je i preko 40 m.

Izbor električnih bagera je izvršen uz pretpostavku, da će biti u radu 1 bager od 3,5 cy i 1 bager od 2,5 cy, a drugi bager od 2,5 cy je nabavljen kao rezerva. Radilo se skoro samo sa 2 bagera od 2,5 cy, pošto je onaj od 3,5 cy bio izvan pogona kroz 1958 i 1959 godinu radi lomova osnovnih dijelova mehanizma, griješkom u livu.

Kapacitet kamenoloma zadovoljavao je u potpunosti mogućnost ugradnje i transporta i do 3.500 m³ nasipa.

Utrošak eksploziva kretao se od 0,18 — 0,22 kg/m³ litice obuhvaćajući i naknadna miniranja, te uređenje čela i nožice.

Radna snaga u kamenolomu sastavljena je od:

- 17 pomoćnih radnika
- 6 radnika za bagere
- 6 minera za uređenje nogu
- 3 bušioča uz »Halco« bušilice
- 6 bagerista
- 1 palilac mina
- 3 kompresorist, strojar i električar.

Ukupno 42 radnika u jednoj smjeni. Ovom broju treba dodati rukovodeće osoblje t. j. rukovodioce kamenoloma, te u svakoj smjeni još tehničara i poslovođu.

b) Glinište

U okolini brane nalazišta odgovarajuće gline su skromna, pa je već projektom trebalo urediti užu lokaciju. Uzvodno od brane nađene su na dva mjesta naslage srednje i velike plastičnosti, taložene sa više pijeska i nešto šljunka. Glina u prirodnom stanju sadržavala je procenat vlage koji je odgovarao optimalnom, zbog toga je trebalo izbjegavati rad za vrijeme kišne sezone. U ljetnim sunčanim danima i za vrijeme jake bure gornja se površina gliništa jako sušila, pa je rad na kopanju bio otežan, a za ugradnju se dodavala voda.

Bager od 1,5 cy je otkopavao i utovarivao glinu u dumpere i ovaj se način pokazao najpovoljniji, jer se glina u prirodnom stanju držala pod dosta strmim uglom i do 5 m.

Kako se tokom rada nailazilo na slojeve sa dosta šljunka i samaca nije se moglo kontinuirano osigurati dovoljnu količinu gline za ugradnju, stvarane su deponije u vrijeme kad se nije ugrađivalo. U gornjim kotama, gdje je srazmjerno ugrađivano mnogo više gline u odnosu na kamen, bilo je potrebno cijelu količinu potrebne gline za 1958 godinu prethodno deponirati. Jalovi materijal iz gliništa, t. j. glina sa dosta pijeska, ugrađivala se kao t. zv. prvi filtarski sloj, neposredno uz jezgru. Ostali filtarski slojevi izvodili su se iz riječnog šljunka, dobivenog bagerovanjem i kopanca, a treći sloj se sastojao od sitnih otpadnih dijelova iz kamenoloma.

c) Izvedba tijela brane

Ukupna dužina pristupnih putova za dopremu sastavnih dijelova brane iznosila je 3.600 m, od toga na lijevoj obali do gliništa 1.100 m, a na desnoj strani do gliništa i kamenoloma 2.500 m. Širina ovih putova od cca 9 m dovoljna je za mimoilaženje teških dumpera. Kolnik je dobro održavani makadam. Naročita pažnja posvećena je putovima, kao i uređenju platoa kamenoloma.

Osim izvedbe i održavanja putova, postavljalo se pitanje dopreme dovoljnih količina vode na mjesto ugradnje kamena. U tu svrhu izrađen je posebni vodovod, sa dvije grupe pumpa. Donja grupa je bila smještena na lijevoj nizvodnoj obali rijeke i dodavala vodu u rezervoar na koti + 345. Iz malog rezervoara, druga grupa pumpi tiskala je vodu prema hidromonitorima. Glavni tlačni cjevovod je iz salonitnih cijevi, a razvodne su cijevi bezšavne čelične. Razlog da se vodovod projektirao u dvije stepenice je: potreba lakših pumpa i jednostavniji cjevovod. Ukupno visina dizanja, računajući geodetsku visinu, trošeni tlak na izlazu iz sapnice i gubitke u cjevovodu iznosio je 15 At.

Na dvije posebno izrađene konstrukcije bila su postavljena 4 hidromonitora, vlastite izvedbe. Svaki hidromonitor je davao oko 60 lit/sec, uz tlak na sapnice od 7 At. Uloga i funkcioniranje hidromonitora, kao i vodovoda potpuno je odgovarala namjeni.

Razrađena shema nasipanja predviđala je slojeve nasipa sa raznih visina, prilagođavajući se dimenzijama presjeka tijela brane. Visine nasipanja kamena kretale su se od 25 m u bazi, smanjujući tu visinu prema kruni do na 6,0 m.

Tokom rada se ustanovilo da postavljeni uvjet od 15 m minimalne visine slojeva kamenog nasipa nije održiv za cijelu branu, pak se izvršilo probno nasipanje sa visine od 8,0 m, koju je još bilo moguće postići na gornjim kotama nasipa. Ova proba je pokazala pozitivne rezultate, uz uvjet da je dodavanje vode propisno, a smjer mlaza okomit na pokos i upravljen u međuprostor kamenih blokova. Sa visine 8,0 m, postigla se prostorna težina nasipa 1,93 t/m³. Gornja površina nasipanih figura služila je za saobraćaj teških dumpera za dovoz kamena. Obzirom na oblik tijela brane, da se omogućiti saobraćaj, bilo je potrebno smanjiti visinu nasipanja.

Formiranje i svladavanje pristupnih rampi za dopremu gline u jezgru teško je izvedivo, ako je velika razlika visine nasipa kamena i gline.

Trasiranje ovih rampi i održavanje zadovoljavajućeg visinskog odnosa pojedinih sastavnih dijelova tijela brane predstavlja vrlo složen organizacioni zadatak, o kojem u dobrom dijelu ovisi uspjeh čitavog rada. Da bi se omogućio dovoz gline i okretanje vozila u gornjim kotama, glina se ugrađivala u padu do 10%, a ne horizontalno kao u nižim kotama.

Kod većih visina nasipanja, položaj hidromonitora nalazio se na gornjoj plohi figure, koja se nasipa, a za niže kote nasipanja, hidromotori su bili postavljeni na niži nivo. Pokazalo se da je ovakav niži položaj povoljniji, stvara manje smetnja na manipulativnom prostoru, bolje je usmjeravanje mlaza i dozvoljava nesmetano premještanje i priključak hidromonitora.

Glinena jezgra se ugrađivala i nabijala ježevima, koje je povlačio buldožer. Zbijenost je stalno kontrolirana. Nakon dobivenih zadovoljavajućih rezultata u laboratoriju, prestalo se ježanjem i prešlo na razastiranje novog sloja. Prostorna težina ugrađene gline kretala se oko 1,6 t/m³. Filter se nabijao lakim vibracionim valjkom.

Dosadašnji podaci o deformaciji kamenog nasipa i glinene jezgre pokazali su ponašanje brane unutar granica predviđenih projektom. Praćenje propusnosti glinene jezgre pokazuje također da su pretpostavke projekta zadovoljene.

Maksimalni dnevni rezultati koji su postignuti kod ugrađivanja kamenog nasipa dostigli su do 4.300 m³, ugradnja gline dosegla je i do 1.200 m³, a filtarski slojevi 700 m³.

Radilo se sa slijedećim strojevima, izuzev spomenutih u kamenolomu i gliništu:

7 kom	dumpera	»Euclid«	od 15 tona
9	„	»Foden«	„ 9 tona
2	„	buldožera	»Fowler« „ 18 tona
2	„	„	»Fiat« „ 3 tone
7	„	ježa	
4	„	hidromonitora	

Ostali nabavljeni strojevi koristili su na drugim radovima gradilišta.

Tokom dvije i po godine rada na brani izvršeni su slijedeći glavni radovi:

1956. godina

Iskop temelja brane	13.720 m ³
iskop temelja galerije	28.797 m ³
beton galerije	8.319 m ³
kameni nasip	159.677 m ³
glinena jezgra	4.230 m ³
filtarski slojevi	1.911 m ³

1958. godina

Iskop temelja brane	10.517 m ³
iskop temelja galerije	4.376 m ³
beton galerije	2.108 m ³
kameni nasip	220.664 m ³
glinena jezgra	56.234 m ³
filtarski slojevi	27.792 m ³

1957. godina

Iskop temelja brane	18.811 m ³
iskop temelja galerije	12.212 m ³
beton galerije	2.112 m ³
kameni nasip	329.228 m ³
glinena jezgra	44.559 m ³
filtarski slojevi	17.276 m ³

Zbir svih izvršenih glavnih radova iznosi:

Iskop temelja brane	43.048 m ³
iskop temelja galerije	45.387 m ³
beton galerije	12.539 m ³
kameni nasip	709.559 m ³
glinena jezgra	105.023 m ³
filtarski slojevi	46.979 m ³

Proizlazi da su količine predviđene projektom mijenjane tokom građenja. Ove razlike su proizročene terenskim uvjetima, kao i nužnim promjenama u projektu, koje su se pokazale potrebnim.

Ugovorom predviđeni troškovi brane iznosili su 1.591 milijuna dinara, a stvarni troškovi 1.843 milijuna dinara ili 15,5% više. Stvarno koštanje radova prema troškovniku iznosi 1.723 milijuna dinara ili premašaj 8%, a radovi van troškovnika 120 milijuna dinara odnosno 7,5%.

Sve građevinske radove na ovom gradilištu izvelo je građevno poduzeće »Konstruktor« iz Splita.

Injekciona zavjesa Peruća

udio „Geoistraživanja“

Ing. Radoslav Nikolić, Geoistraživanja – Zagreb

Prigodom proslave puštanja u pogon HE Peruća želja je, da ovaj kratki prikaz sudioništva poduzeća »Geoistraživanja« Zagreb, na izgradnji pomenutog objekta, bude u skladu sa značenjem ove radne pobjede ostalih naših kolektiva. Prema tome, ovaj se članak ne će zadržati na širem tehničkom razmatranju, nego će sa nekoliko osnovnih pokazatelja iznijeti veličinu napora našega poduzeća na svom dijelu izvršenja injekcione zavjese Peruća.

Smatramo potrebnim da naglasimo, da je cjelokupna problematika našega rada u početku bila gotovo nepoznanica za naše stručnjake uopće. Osim toga, suprotstavio se problem krasa sa svim svojim teškoćama i problemima. Međutim, danas, nakon izgradnje objekta, taj put napora dobiva gigantske razmjere u smislu formiranja i ovladavanja jedne nove vrste poslova u našoj izgradnji, vrste poslova, koja inače već danas u tehničkom smislu, nije u zaostatku prema onima izvan naših granica. Ako ovome dodamo, da su kadrovi nicali iz tehničkog mraka, i gotovo nepismeni u tom smislu, te formirali svoj lik tako, da današnji izgled predstavlja naš ogromni kapital, pogotovo jer smo

ga vlastitim snagama podigli. To je postalo i ostalo naše vlastito. Tehnički je duboko zahvaćen jedan problem, problem krasa, koji u našoj domovini krije ogromnu potencijalnu snagu. Međutim, krunu svega predstavlja kvalitet izgrađenog objekta i svi naponi na ovom prvom konkretnom zadatku, nisu ostali bez uspjeha, već su ga gotovo i premašili.

ISTRAŽNI RADOVI

Da bi se mogla postaviti što adekvatnija i tehnički opravdanija koncepcija projekta, predviđeni su i izvršeni krupni istražni radovi.

Nepoznavanje geoloških i hidroloških odnosa s obzirom na problematiku izvođenja, propusnosti vapneničkog stijena i njegova prostranstva, stepena karstifikacije, upoznavanja podzemnih komunikacija, objašnjavanje elemenata za injekcionu zavjesu, odnosno injektiranje, dovelo je do toga, da se prvi puta u našoj zemlji pride sistematski istraživanju, te su se projektanti poslužili slijedećim metodama:

- a) ispitivanje metodama geofizike,
- b) direktnim uvidom u sastav terena pomoću istražnih galerija i vertikalnih okana,
- c) dubinskim bušenjem na jezgru sa ispitivanjem vodopropusnosti,
- d) bojadisanjem podzemnih komunikacija krških voda,
- e) sistematskim opažanjima podzemnih vodostaja na bušotinama i izvorima,
- f) izvođenjem pokusnih injekcionih polja,
- g) usporedne geološke i hidrološke studije,
- h) poduzeća koja izvođe radove preuzela su



Bušilice za injektiranje zavjese na lijevom boku uz branu, ljeti 1958

teoretsko-laboratorijska ispitivanja injekcionih masa u cilju pronalaženja najsvrsishodnije i najekonomičnije injekcione zavjese.

Da bi se mogla postaviti što adekvatnija i tehnički opravdanija koncepcija projekta, predviđeni su i izvršeni krupni istražni radovi.

Naše poduzeće izvršilo je gotovo u cjelini sve radove, osim pod a) i g).

Tako je sa naše strane, u slivu cetinjskog hidro-sistema, izvršeno 34.741 m bušenja. Ti su radovi obavljeni u periodu od 1952 god. do 1954 god. Tada se naša, još mlada i relativno nerazvijena privredna organizacija, uhvatila u koštac sa prostorom i vremenom te danas možemo s ponosom podvući rezultate izvršenih zadataka. Ne može se mimoći podatak da je 1952 god., u intervalu od 4 mjeseca (V–VIII), na području pregradnog mjesta brane Peruća, izbušeno sa mjerenjem vodopropusnosti i do 500 m dubine, što je onda predstavljalo najdublja mjerenja u našoj zemlji. Bilo je slučajeva da su sa bušaćom garniturom za 300 m bušilo i do preko 500 m, jer su zahtjevi dnevno rasli. Ako se tome nadoda, da je cijeli posao imao karakter neprestanog proširivanja i žurbe, onda je očito, da su učinjeni ogromni naponi na ovom zadatku. Ovi su radovi koštali cca 450.000.000.— dinara.

INJEKCIONA ZAVJESA

Drugi naš zadatak bio je izgradnja dijela injekcione zavjese od sredine brane prema lijevom boku. Zavjesa je izrađena kao troredna, dvoredna i jednoredna. Dubina zavjese, u zoni velike propusnosti u pregradnom profilu, seže do dubine veće od 200 m. Na tom dijelu ukupno izvršeni radovi, sa utroškom suhe tvari, iznose:

1. Bušenje

osnovne	m'	71.591,7
progušćene i vezne	m'	2.258,7
kontrolne	m'	4.614,3

2. Jalovo bušenje

m'	7.211,5
----	---------

3. Injektiranje

osnovno	m'	70.406,5
progušćeno i vezno	m'	2.031,8
kontroliranje bušotina	m'	324,5

4. Utrošeno suhe tvari

glina	kg	21.905.512
cement	kg	8.043.840
bentonit	kg	806.793
soda	kg	258.073
pijesak	kg	216.302

Pomenuti radovi koštali su cca 1.750.000.000 dinara.

Iz gornjeg je vidljivo, da srednji utrošak suhe tvari, na našem dijelu zavjese, iznaša 430 kg/m' bušotine.

Međutim veličina ovih radova i napora nije u potpunosti vidljiva iz gornjih podataka. Naime, naša dionica bila je pod udarom otežanih geoloških prilika. One su se očitovale u jače izraženoj karstifikaciji; zatim mjestimičnom rasprostranju boksitičnih zona; povećanoj čvrstoći vapnenca i podzemnim vodnim tokovima, koje je zavjesa djelomično trebala presjeći. S time su rasli i problemi na određivanju osnovnih elemenata za injektiranje, kao i problemi koji su se očitovali u toku izvođenja, što je izvođaču stvaralo ogromne teškoće i zahtijevalo povećane materijalne žrtve.

Kao jedan od prvih problema, u vezi pomenutih geoloških prilika u terenu, javlja se sastav injekcione smjese kojom je trebalo ispuniti, u određenom dometu, sve šupljine. Jasno je, da je pri tome naglašena i tražena tehnička i ekonomska svrsishodnost upotrebljenih materijala, jer upotreba samog cementa u ovom slučaju, niti je tehnički (jer se ne postiže potrebna tiksotropija), niti je ekonomski (jer je suviše skupa) opravdana. Taj problem riješen je, uz obilne priloge naših stručnjaka iz poduzeća tako, da je upotrebljena smjesa od cementa i gline (sa neposrednog izvorišta na terenu) uz izvjesnu primjesu dodataka. Time se postiglo, da je ubrizgavana smjesa ispunila gotovo sve fine pukotine, što su potvrdila kontinuirana ispitivanja vodopropusnosti u toku izvođenja, kao i do sada izvršene akumulacije. Međutim, sa ekonomskog stanovišta ovim je učinjena ogromna ušteda zajednici.

Kod rada u boksitičnim zonama, poteškoće su naglo rasle, a očitovale su se zbog rastresitosti, sipkosti i glinovitosti boksita u dubini od 0,00 m do 140,00 pa i više. Tada je pred izvođača iskrsnuo ogromni problem. On se pojavljivao koliko kod bušenja, toliko i kod injektiranja. Pošto se bušilo vodnim ispiranjem, to je bilo gotovo nemoguće bušiti na klasičan način, jer je pri tom često dolazilo do urušivanja u bušotini, a time do zaglavljivanja, kao i skretanja bušotina. Zbog toga je trebalo zacjevljivati bušotine, čime se dobrim dijelom izbjeglo navedene poteškoće. Injektiranje je

trebalo vršiti metodom silaznog postupka. To je uvjetovalo, uz ostalo, velika ponovna bušenja, koja su prelazila u nekoliko stotina hiljada metara. Rad je bio posebno otežan na prijelaznim zonama između boksita i vapnenca, jer su ta mjesta naročito zastupljena razlomljenim geološkim formacijama. Sve u svemu: rad je bio veoma težak, skup i sporo se odvijao, pa ipak je, uz ogromne napore, riješen u granicama tehničkih zahtjeva.

Posebno poglavlje predstavlja dio lijevog boka, uz pregradno područje, gdje se radilo u zoni klizišta. Važno je istaknuti, da se ova zona nalazi iznad građevine dovodnog tunela, koja je inače ugrožavala taj objekat. To je još više otežavalo radne uvjete na injektiranju zavjese u tom području, jer se moralo raditi veoma oprezno. Povrh toga, tu se često puta nije moglo riješiti zadatak na nijedan od pomenutih načina, jer su bušotine toliko skretale pomjeranjem tla, da su se morale bušotini nove, po više puta. Svakako da je injektiranje pod takovim uvjetima bilo veoma mukotrpno.

Dakle, navedeni problemi tražili su da se uloži mnogo truda, mnogo strpljivosti i pruži mnogo tehničkog znanja pogotovo, jer je zavjesa bila dobrim dijelom troredna (sa srednjim, uzvodnim i nizvodnim redom bušotina). To je, uz ostalo, zahtijevalo da vertikalnost bušotina bude zastupljena do jedne razumne veličine, koja će biti tehnički i ekonomski opravdana. Uzevši pri tome, da su bušotine, dosizale i do 300 m dubine (jer je dio bušen kroz jalovu zonu), a k tome uz navedene otežane geološke prilike, te uz veoma strogo postavljeni kriterij otklona (inklinacije) bušotina na maksimum od 2,5‰, to je na nekim mjestima izvođač bio doveden u težak položaj, pa nije mogao, uz najbolju volju i uz maksimalno uloženi trud, da ispunji postavljene uvjete za inklinaciju. Međutim, srednji prosjek svih mjerenih otklona, predstavlja veličinu od 2,2‰! Ta brojka, za navedene prilike, ukazuje gotovo na najviši stepen kvaliteta, čak i u svjetskim razmjerima. Ako se ovome nadodaju poteškoće, koje su nastajale uslijed indirektnih ispunjavanja bušotina, mjestimičnih površinskih nadizanja terena i izbijanja smjese na površinu terena, te uz ostali normalni rad, može se kazati, da je vođena velika bitka.

Na kraju mora se podvući još jednom, da je injekciona zavjesa Peruća gotova, zavjesa, koja svojom veličinom i problematikom spada među prve na svijetu, do sada izvedene. Prema tome udio izvršenog zadatka predstavlja za ovaj kolektiv ponos, jer je i sam na njemu izrastao.



Centralna injekciona stanica Geo-istraživanja

Elektrosond u izgradnji Peruće

Ing. Šimatić Zlatko, hem. Lisenko Nikola, ing. Dože Lino

U V O D

Topografski i hidroenergetski uvjeti akumulacije Peruća, za cijeli sistem dalmatinskih hidroelektrana, predstavljali su ogroman značaj. No međutim ono što je priroda pružala s vrlo povoljnim topografskim i hidroenergetskim uvjetima, nalazilo se pred teškom hidrogeološkom problematikom šireg pregradnog područja. U vrijeme diskusija o mogućnosti ostvarenja akumulacije Peruća, u izrazito krškom terenu s jako razvijenim krškim fenomenima, izgledalo je, da je ovo više nego tehnička smjelost.

Radi toga je dan neobičan značaj istražnim radovima, a radove na otješnjenju akumulacije trebalo je gledati kroz posebnu prizmu. Radi ilustracije napominjemo, da je obim ovih radova prelazio dvostruku vrijednost brane kao objekta. Prema tome od izvođača ovih radova tražila se visoka tehnička umješnost i spremnost.

Svrha nam je, da ovdje iznesemo kronološkim redom obimnost radova, njihov značaj i organizacionu problematiku i to u okviru radova koje je izvelo poduzeće Elektrosond Zagreb.

ISTRAŽNI RADOVI

Geološko bušenje

Ove radove dijelimo u 2 osnovne grupe:

a) prethodni radovi, koji obuhvaćaju geološka bušenja u svrhu provjere prvih geoloških studija i ispitivanja šireg područja akumulacije, pa do izbora položaja brane i trase injekcione zavjese s njenim osnovnim elementima (grubi podaci za dužinu i dubinu).

b) naknadni istražni radovi, koji su izvođeni u toku izrade injekcione zavjese, a u svrhu određivanja detaljnih elemenata injekcione zavjese, provjere same zavjese i izvedbe sistema bušotina za kontrolu gubitaka iz akumulacije. Ovi radovi sačinjavaju sastavni dio radova izvedbe same zavjese.

Kampanja prethodnih istražnih radova, koja je imala svoje etape od preliminarnih do detaljnih ispitivanja, obuhvaća period od 1948 do 1954 godine. Radi cjelovitosti prikaza dajemo ukupni obim radova izvedenih na cijelom području i to prema godinama

Godina	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	Ukupno
Bušenje u m'	590	2690	30	150	610	1750	1940	7760

Zajedno s potrebom rasvjetljavanja pojedinih problema, rasli su zahtjevi na izvedbu ovih radova. Izvođač se je nalazio pred sve težim problemima. Vrlo raspucali teren s većim komunikacijama pravio je poteškoće u kvalitetnom i kvantitetnom bušenju te u ispitivanju vodopropusnosti. Obzirom na vremenski početak ovih radova, bilo je u početku i poteškoća u pitanju opreme i stručnog kadra.

Rezultati ovih radova ukazivali su da se radi o krečnjačkim terenima s vrlo razvijenom karstifikacijom. Nije se međutim nailazilo na naročito velike otvorene kaverne. Na prihvatljivim dubinama kraški fenomeni su se osjetno smanjivali. U mnogim komunikacijama nailazilo se je na ispune kompaktne jalovine.

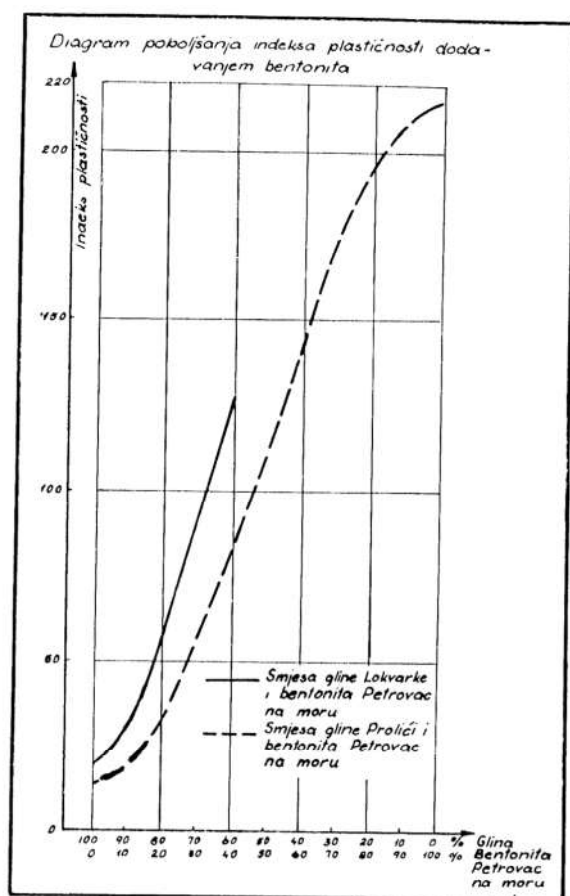
Studijske predradnje

Prethodni istražni radovi ukazivali su, da su radovi na otješnjenju osnovni problem akumulacije Peruća, kako u tehničkom tako i u ekonomskom pogledu. Bilo je očito, da se radi o vrlo delikatnom problemu koji iziskuje i vrlo veliki obim radova, a koji će prelaziti 50% kapacitet poduzeća Elektrosond. Stoga je ovo već sa svoje strane angažiralo i izvođača da počne odmah tretirati ovaj problem u okviru svoje studijske grupe.

Problem je postavljen u dva pravca:

- organizacija, oprema i kadar i
- injekcione smjese.

Svakako je pitanje injekcionih masa delikatniji problem koji traži »dužu stazu«, zato ćemo ovo pitanje detaljnije obraditi.



pripremnim radovima koje je Elektrosond izvodio na objektu i paralelno sa šestmesečnim kursom za osposobljavanje kvalificiranog kadra — budućih graditelja zavjese na HE Peruća — stručna ekipa laboratorija pretraživala je teren, tražeći prikladne lokalne gline. Uzimani su uzorci gline, provjeravana mogućnost naslaga, da bi odmah iza toga svaki uzorak sa pojedine lokacije bio u Zagrebu laboratorijski ispitivan.

U tom periodu kroz laboratorij među ostalim uzorcima prošle su i gline s nalazišta: Slan-potoka, Kalne i Otočke drage, Majičeve livade, Žužin mosta i Prolića, dok konačno izbor nije pao na nalazište Trulin brijeg, koji je 3½ km udaljen od gradilišta.

Izbor glina je vršen kroz ispitivanja Atterbergovih granica krutosti i žitkosti, indeksa plastičnosti, granulometrijskog sastava, odnosa $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, izbora načina aktivizacije glina, te konzistencije i sedimentacije glinenih suspenzija. Za ilustraciju ovih ispitivanja dajemo dijagram poboljšanja indeksa plastičnosti glina dodavanjem bentonita.

Kada se konačno na temelju gornjih ispitivanja i određivanja moćnosti zaliha na terenu zastavilo na glini s Trulinog brijega, pristupilo se sistematskom proučavanju optimalnog odnosa gline naprama cementu, u finalnoj injekcionoj smjesi, koja bi imala zadovoljavajuća mehanička svojstva. Dugotrajni naporan rad dao je rezultate. Citiramo neke od prvih rezultata: 17. XI. 1953 god. ispitana je nakon 52 dana čvrstoća smjese 50% gline Trulin brijeg i 50% cementa N-400 »Prvoborac« i iznosila je 33,2 kg/cm², a čvrstoća na savijanje 11,7 kg/cm². Uzorci istog sastava čuvani pod vodom i nakon 28 dana kroz 15 minuta bili su pod 5 i 10 At vodonepropusni.

Dobiveni rezultati dali su podstreka da se ispitivanja prošire na veće postotke gline; tražila se je donja granica. Postotak gline je povećan na 70 i 80%. Rezultati s 80% gline ukazivali su, da se nalazimo pred donjom granicom. Masa sa 70% gline davala je čvrstoću od 11,2 po kg/cm². Ove rezultate svakako treba gledati kroz prizmu laboratorijskih uvjeta, a i sam primjenjeni laboratorijski proces traži svoj razvojni put. Svrha je, da se dođe do laboratorijskih uvjeta, koji bi se što više približavali uvjetima koji se imaju u terenu prilikom injektiranja.

U svojoj razvojnoj fazi, poduzeće Elektrosond, boreći se s mnogo poteškoća, nije gubilo iz vida ni nužnost oformljenja spremne studijske grupe koja u našoj zemlji, do tada gotovo neprimjenjivanu djelatnost, može staviti na odgovarajuće mjesto. Počelo se s jednokomponentnim cementnim smjesama, koje nisu mogle ni kvalitetno ni kvantitetno udovoljavati širokim zahtjevima i potrebama. Stoga je u sklopu poduzeća tokom 1951 god. oformljen laboratorij, a već 21. III. 1952 god. na gradilištu Barevo-Jajce II. — bile su s vanrednim uspjehom primjenjene dvokompaktne cementno-bentonitne injekcione smjese.

Problem Jajca II je stanovitih drugih osobina od onih pred kojima se našao laboratorij u pogledu Peruće, no međutim ipak su se iskustva bitno odrazila i na gledanja problema Peruće. Ovo se dokazalo već na probnim poljima, koja su upotpunjavala podatke prethodnih istražnih radova. Primjena bentonita davala je kvalitetniju i ekonomičniju masu. To je otvaralo put za traženje još povoljnijih rješenja.

Rješavanja problematike injekcione zavjese Peruća s gornjih gledišta vršena su u dva smjera:

a) injekcione mase na bazi cementa i bentonita uz dodatak inertnog materijala: sitnozrnatog pijeska ili glina iz lokalnih nalazišta;

b) injekcione mase na bazi cementa s jeftinijim materijalima, t. j. s lokalnim glinama bentonitnog, ilitnog ili kaolinskog tipa, koje bi u potpunosti zamijenile bentonit.

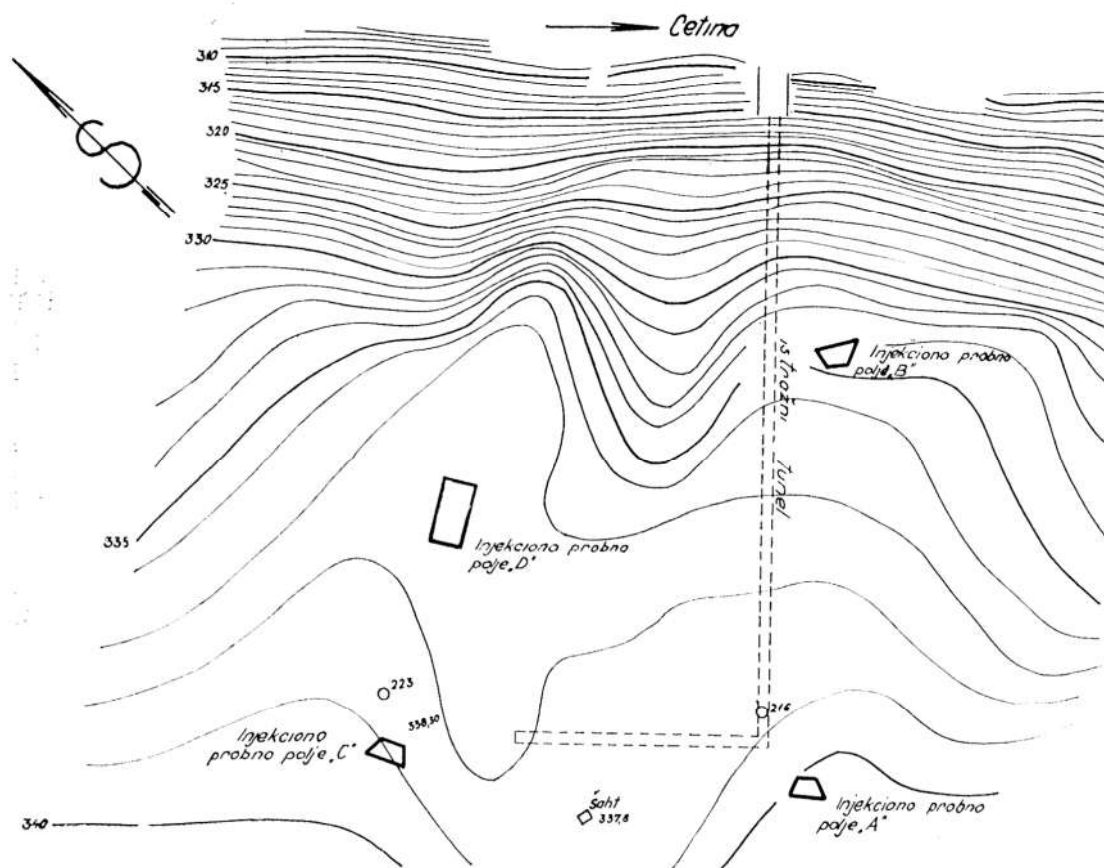
Već ujesen 1952 god., istovremeno s prvim

Probna polja

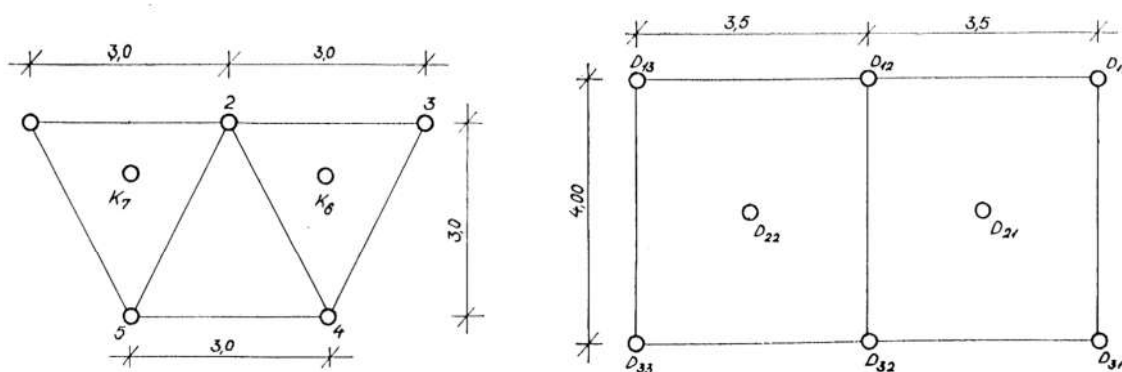
Dva su bitna pitanja koja se postavljaju na projekat svake injekcione zavjese određenih dimenzija:

- tehnički elementi — raspored bušotina i indikacija tehničkih uvjeta,
- injekciona masa i njen specifični utrošak.

Na temelju ovoga može se govoriti o vrijednosti radova, dati smjernice za injekcionu masu i odrediti najsvrsishodnija oprema. Što je predviđeni obim radova složeniji i veći, razumljivo je, da su i ova pitanja akutnija i njihova rješenja prolaze kroz više faza.



Situacija probnih polja i bušotina za injektiranje



Raspored bušotina za probna injekciona polja A B C Raspored bušotina za probno injekciono polje D

Tokom 1952 i 1953 god. izvedena su ukupno 4 probna polja. Podaci s ovih polja dani su u tabeli, a smještaj i oblik polja na skici.

Podaci o radovima na probnim poljima

Oznaka polja	Broj bušotina		Prosječna dubina polja m	Utrošak suhe tvari		Procentualni sastav injekcione mase		
	osnovnih kom.	kontrolnih kom.		osnovne bušotine kg/m'	kontrolne bušotine kg/m'	cement %	bentonit %	pijesak %
A	5	2	30	1.230	35	99	1	—
B	5	2	30	910	140	94	6	—
C	5	2	80	510	110	91	7	2
D	6	2	50	600	290	95	5	—

Vidljivo je osjetno smanjenje utroška suhe tvari injekcione mase na kontrolnim bušotinama. Vrijednosti koeficijenta vodopropusnosti prije injektiranja prelazile su 30 lit/min/m, kod 10 At, a poslije injektiranja srednja vrijednost je bila oko 1,00 lit/m/min/10 At.

Dobivene rezultate treba svakako gledati kroz prizmu iznijetih izlaganja u prethodnom pasusu. Osim toga rezultate probnih polja treba gledati i kroz neobično važan problem koji predstavljaju prirodne glinovite ispune. Pokušaji da se vremenski nestabilni dio ovih ispuna ukloni i zamijeni masom velike čvrstoće nisu dali očekivanih rezultata.

Prema tome se mogu postavljati manji zahtjevi na čvrstoću same mase, ali pri tome voditi računa o »dimenzioniranju« zavjese i načinu rada.

INJEKCIONA ZAVJESA

Organizacija gradilišta

Cijeli potez zavjese dužine cca 940 metara kod injektiranja podijeljen je u 3 sektora, svaki sa svojom injekcionom stanicom.

Trasa injekcione zavjese bila je isplanirana u kraća »polja«, gotovo horizontalna, da se olakša manipulacija sa strojevima i stvore što pogodniji uvjeti za rad.

Na gradilištu je bio oformljen terenski laboratorij za kontrolu injekcione mase i za rješavanje pojedinih hitnih problema. Generalnu kontrolu i definitivno rješenje injekcionih masa davao je laboratorij u Zagrebu.

Pretežni dio strojeva i opreme bio je domaćo proizvodnje izveden po nacrtima konstrukcionog biroa poduzeća. Samo nužna, specijalna oprema nabavljena je iz inozemstva i za ovu svrhu investitor je osigurao iznos od 30.000 \$.

Investitor je sa svoje strane pokazao puno razumijevanje za standard radnika. Radničko naselje, sa svim životnim potrebama, bilo je smješteno u šumici na padini brda Derven, udaljeno od gradilišta 0,5 km.

Sva radna mjesta i radničko naselje bila su povezana solidnim cestama.

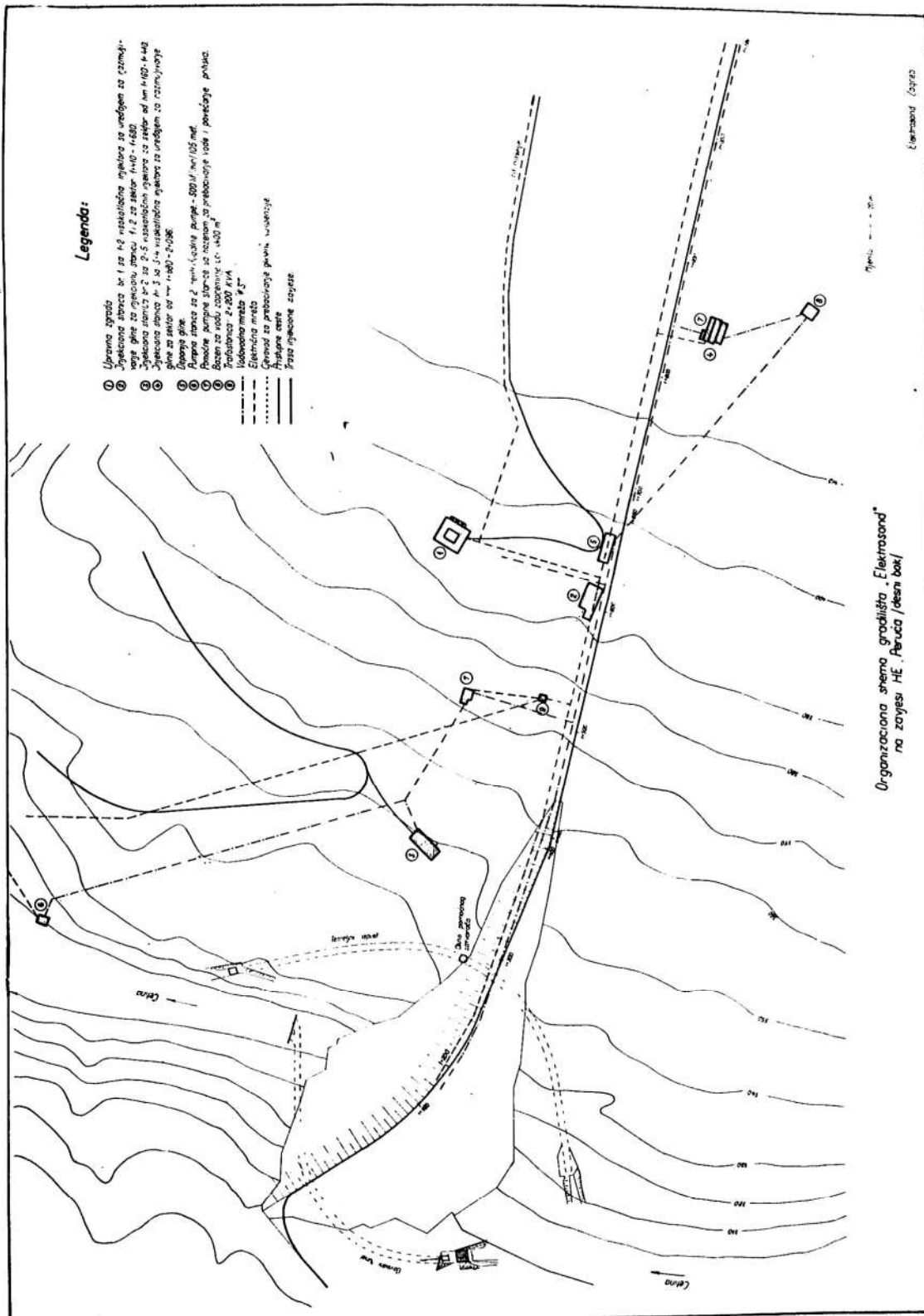
U toku najvećeg tempa radova na gradilištu je bilo angažirano 8 bušilica kapaciteta 300 m i 5 visokotlačnih injektora kapaciteta 60–100 l/min. U tom periodu broj angažirane radne snage iznosio je oko 250 radnika, među kojima 2 inženjera, 6 tehničara i oko 60 kvalificiranih radnika.

Iako se više od jedne trećine zavjese nalazilo pod branom, ipak je uspjelo uz pomoć nadzorne službe investitora omogućiti uzajamno i nesmetano odvijanje radova.

Bušenje

Bušenje za injektiranje je izvađano profilom 64 mm, klasičnim priborom (tankostijene vidia krune).

Osnovni problem kod bušenja je bio vrlo strogi kriterij, postavljen projektom, na dozvoljena odstupanja bušotina od vertikale. Strogo vodeći računa o ovom problemu, obzirom na prirodu terena i dubinu bušotina, uspjelo se je da 49% ukupne metraže bušenja bude unutar dopuštene granice



odstupanja od 2,5%. Mjerenja odstupanja od vertikale izvršena su na 66.140 m bušenja s instrumentom Eastman single shot, najpreciznijim instrumentom za ove svrhe, na 1.632 mjerne tačke. Ukupni prosječni otklon je iznašao 2,84%. Na mjestima najnepovoljnijih odstupanja bušotina od vertikale bušene su kontrolne bušotine. Ispitivanja vodopropusnosti tih bušotina su dala dobre rezultate. Smatramo da je, vrlo strogim kriterijem, ovom problemu dan suviše veliki značaj.

Svaki cca 25 m zavjese bušene su istražne t. zv. »reperske bušotine«, koje su provjeravale i upotrebljavale ranije dobivenu geološku sliku terena. Na temelju tih bušotina su davani definitivni elementi za injektiranje.

Nakon završenih svih radova, na pojedinim sektorima zavjese, bušene su na »sumnjivim« mjestima kontrolne bušotine.

Nizvodno od zavjese izveden je sistem piezometarskih bušotina za osmatranje efekta zavjese pri punjenju akumulacije i za osmatranje u kasnijem periodu.

Tabelarni prikaz radova po godinama i karakteristične specifične vrijednosti za injekcionu zavjesu (desni bok)

G o d i n a		Jed. mjere	1954	1955	1956	1957	1958	1959	Ukupno	Procentualni sadržaj	Po m. injektiranja m. m.	Po m. zavjesa m. m.
Vrst djelatnosti												
Bušenje za injektiranje (uključivo progušćenje i veze u galerij.)		m'	2 920	17.410	17.400	21.710	17.010	2.380	78.830	90	1,16	0,61
Bušenje geološko za VDP i piezometre u toku izvedbe zavjese		m'	—	560	420	80	220	290	1.570	2	0,02	0,01
Bušenje kontrolno		m'	—	—	—	3.060	1.730	1.710	6.500	8	0,10	0,05
Bušenje ukupno		m'	2.920	17.970	17.820	24.850	18.960	4.380	86.900	100	1,28	0,67
Injektiranje (sa pregušćenjem i veznim injektiranjem galerije)		m'	2.470	14.410	18 870	17.730	11.950	2.630	68.060	—	—	0,52
Suha tvar injekcione mase	cement	T	165	1.228	725	1.768	2.318	245	6.449	32	94	50
	glina	T	417	3 083	1.744	3.217	4.273	504	13.238	66	194	103
	bentonit	T	—	108	19	163	160	2	452	2	7	4
	soda	T	—	5,6	0,8	9,5	8,4	—	24,3	—	—	—
	Ukupno	T	582	4.425	2.489	5.157	6.759	751	20.163	100	295	157

Primjedba: Površina zavjese računata po uzvodnom redu iznosi 128.675 m²

Injektiranje i ispitivanje vodopropusnosti

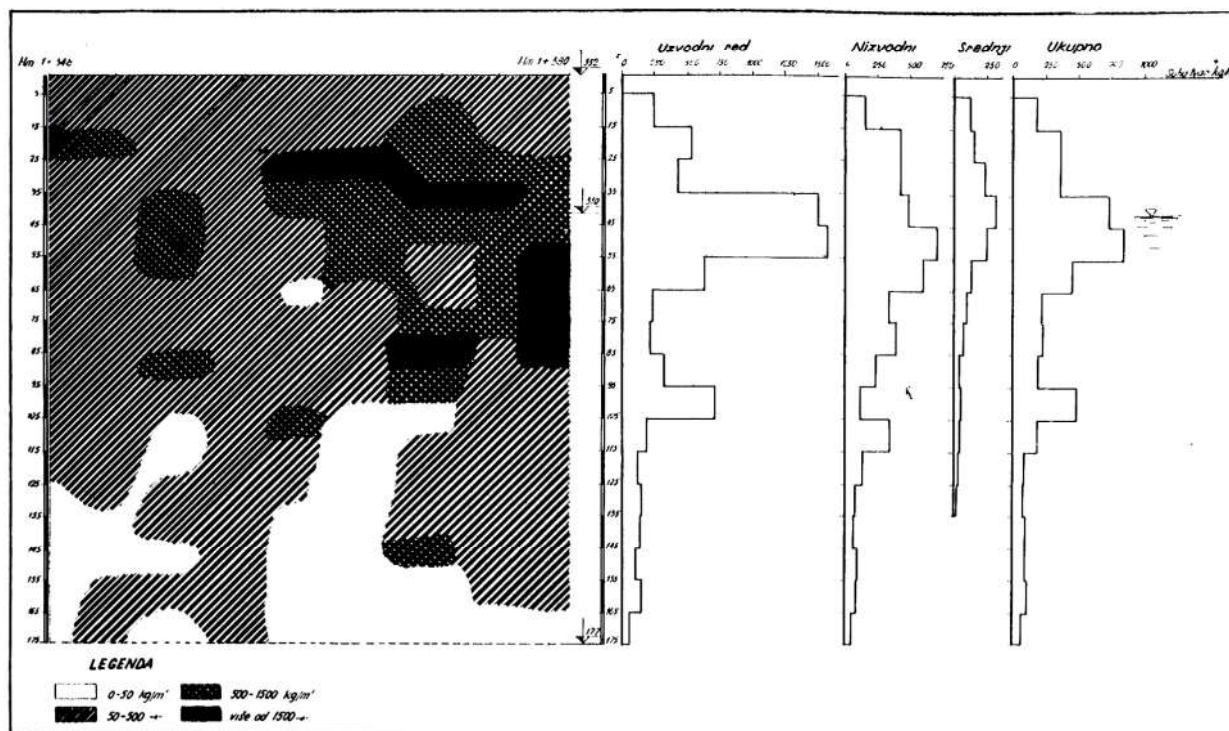
U principu je primjenjivana uzlazna metoda injektiranja, ukoliko nisu uvjeti terena u radnom procesu zahtijevali silaznu metodu. Vodopropusnost prije injektiranja se je mjerila samo na reperskim bušotinama, na cca 25% bušotina za injektiranje, a kao »finale« na kontrolnim bušotinama. Vodopropusnost iza injektiranja (ponovni VDP) mjerena je na svim bušotinama. Mislimo da se praksom pokazalo, da je ovo bila prevelika mjera predostrožnosti.

U slučaju, kada se s osnovnim masama do određenih graničnih utrošaka, koji su se postavljali od slučaja do slučaja, nije postizavao završni kriterij (refus), injektiranje se nastavljalo visokotropsotroprnim smjesama na bazi bentonita. Bilo je vrlo malo slučajeva da se ni bentonitnim masama s razumnim utrošcima nije mogao postići refus. U takvim slučajevima se injektiranje prekidalo i nastavljalo nakon 2—3 dana.

Komunikacije među bušotinama su bile vrlo česte; one su bile indikator lijepog rasprostiranja mase i ukazivale su na smjer pružanja pukotina i kanala.

Injektiranje u sektoru troredne zavjese izvedeno je najprije na vanjskim redovima, dajući prioritet uzvodnom redu. Srednji red je izvođen naknadno, sa svrhom, da dopuni efekt injektiranja vanjskih redova i da pod zaštitom ovih redova još više komprimira prirodne glinovite ispune.

Maksimalni su pritisci injektiranja bili na vanjskim redovima do 40 atmosfera, a na srednjem redu do 50 atmosfera manometarskog pritiska na vrhu bušotine.



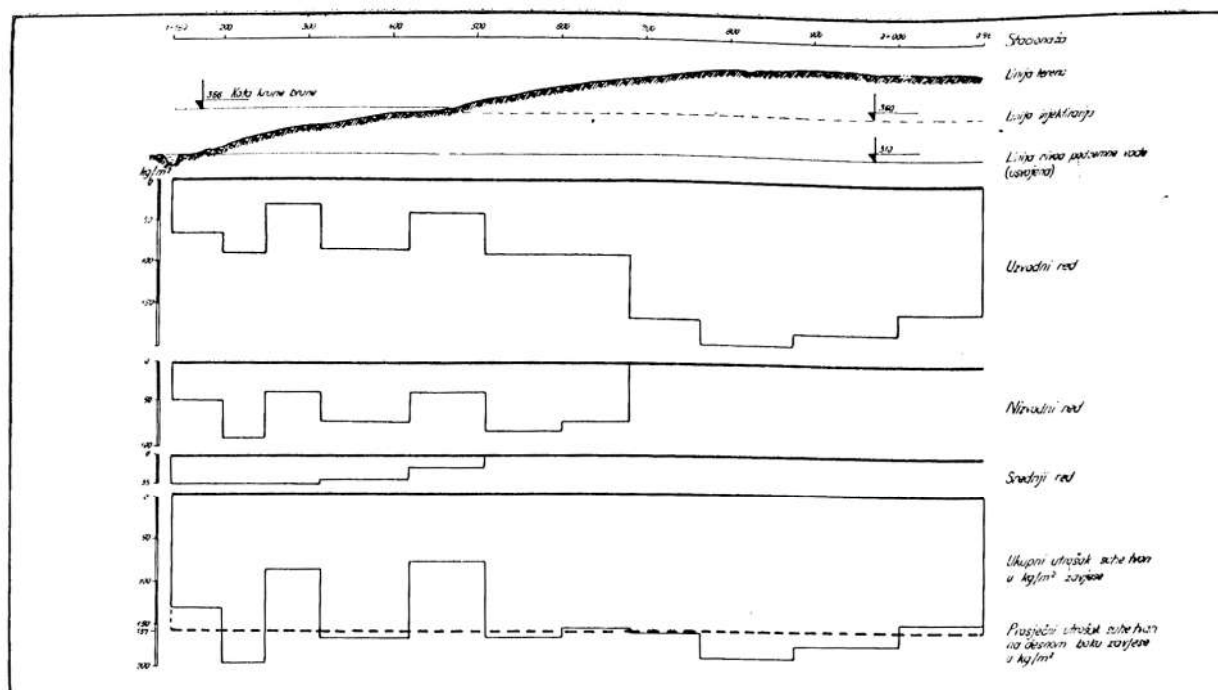
Prosječni utrošak suhe tvari u kg/m³ prikazan po redovima i reljefni prikaz utroška suhe tvari za sektor zavjese od Hm 1+348 do Hm 1+380

Iznašamo neke karakteristične rezultate:

Skica prikazuje sektor zavjese od Hm 1+348 do 1+380. Prikazan je ukupan prosjek utroška suhe tvari po metru injektiranja i to po redovima. Do stanovite dubine utrošak raste, da se iza toga prema većim dubinama osjetno smanjuje. Ovo lijepo karakterizira raspucanost i karstifikaciju terena i ilustrira dubinu zavjese. Početno povećanje utroška rezultira iz povećanih pritisaka injektiranja. U sektorima velikih hidrauličnih gradijenata ova površinska područja su dodatno injektirana zasebnim sistemom plitkih bušotina, da se dopuni efekat injektiranja u površinskoj zoni, koja radi malog nadsloja nije mogla biti injektirana s velikim pritiscima. Veći utrošak na uzvodnom redu rezultira iz vremenskog prioriteta koji mu je dan.

Mali utrošak na srednjem redu govori o efikasnosti brtvljenja vanjskih redova, pa je prema tome glavna uloga srednjeg reda bila komprimiranje jalovina. Na lijevoj strani skice reljefno je prikazan utrošak mase, što nam zorno prikazuje njeno rasprostiranje po površini zavjese.

Slijedeća skica prikazuje utrošak suhe tvari injekcijske mase po m² površine zavjese i to po njenim karakterističnim odsjecima. Utrošak je dan po pojedinim redovima ukupno i u prosjeku. Vidi se smanjenje utroška na nizvodnom redu i još očitije na srednjem redu. Vrlo je interesantan odnos utroška među redovima, a naročito na sektorima dvoredne i jednoredne zavjese. Podsjećamo da troredna zavjesa ide do cca Hm 1+500, a dvoredna do Hm 1+700. Nadalje podvlačimo da sektor jednoredne zavjese obuhvaća više kote, da je po cijeloj površini injektiran s visokim pritiscima (veliki nadsloj), a i utrošci su forsirani. Usprkos tome, evidentan efekat jednoredne zavjese se ne može umanjiti, te smatramo, da je bilo sretno rješenje izmjene projekta skraćanjem dvoredne i produženjem jednoredne zavjese. Ovo potvrđuju kako geološke tako i kontrolne bušotine na produženju sektora jednoredne zavjese.



Grafički prikaz utroška suhe tvari reduciran na m^2 površine zavjese na pojedinim sektorima na desnom boku

Bušotinom 18-U-16 i sa dvije kontrolne bušotine 18-K-12 i 18-K-19 želimo prikazati odnos vodopropusnosti i utroška suhe tvari injektione mase, efekat injektiranja i dopuniti objašnjenja za jednorednu zavjesu.

Po pitanju odnosa vodopropusnosti i utroška suhe tvari injektione mase, možemo reći, da nam i Peruća govori, da su ovo 2 indikacije i to kako radi volumena, tako i radi penetrabilnosti injektione mase pod povećanim pritiskom.

Radi toga u pogledu kompletiranja istražnih radova, za svaki iole veći i karakterističniji objekat, iste je potrebno dopuniti probnim injektiranjem. Nadalje vidimo i ovdje tendenciju smanjenja utroška na većim dubinama. Efekat injektiranja je vidljiv iz podataka o vodopropusnosti na kontrolnim bušotinama u injektiranom području i ispod njega. U sektoru dvoredne, a pogotovo troredne zavjese, vodopropusnost na kontrolnim bušotinama je u zonama injektiranja praktički $0,0 \text{ l/min/m'}$ kod 10 atmosfera. Nadalje, vodopropusnost na bušotini 18-U-16 pokazuje, da se ne može govoriti o naročito nehomogenoj zoni u području jednoredne zavjese, što još više potkrepljuje naše naprijed iznijete konstatacije.

Skučenost prostora nas onemogućuje da se upuštamo u daljna i detaljnija obrazloženja.

Od poteškoća, koje smo imali u radu, spominjemo manipulaciju sa glinom, naročito za kišnih perioda, rad sa pritiscima injektiranja koji su prelazili 40 atmosfera i rad s masama visokih viskoziteta. Ove poteškoće su bile uglavnom vezane na same strojeve i to u početnom periodu radova.

Ispitivanja i kontrole injekcionih masa

Definitivne injektione mase imale su slijedeći sastav: 30% cementa N-400 (kasnije PC-250) i 70% gline »Trulin Brijeg«, mehanički aktivizirane.

U priloženim diagramima prikazana su neka svojstva injekcionih masa:

Iz diagrama su vidljivi dekantacioni volumeni za primjenjivane odnose suhe tvari prema vodi. Prikazane su i čvrstoće na pritisak u kilogramima po cm^2 injekcionih masa sa raznim sadržajem gline nakon 52 dana čuvanja u vlagom zasićenom prostoru. Uzorci su odfiltrirani iz matične injektione mase (1:1) do raznih odnosa suhe tvari prema vodi.

Kontrolne probe mehaničkih svojstava injekcionih masa vršene su svaki puta kad je došlo do promjene u kvaliteti komponenata injekcionih masa, a najmanje dva puta godišnje (brzina vezanja, čvrstoća na pritisak i savijanje, vodopropusnost i kontrakcija).

U terenskom laboratoriju, na samom gradilištu, svaki dan je kontrolirana prirodna vlažnost gline i postotak vode u bazičnoj glinenoj suspenziji kao i u pojedinim kombinacijama injekcijske mase. Pored toga dnevno je kontrolirana injekcijska masa na brzinu vezanja, određivanje dekantacionog volumena i ispitivanje viskoziteta pomoću Mohr-ovog lijevka.

Povremeno su vršene kontrole gline određivanjem Atterbergovih granica plastičnosti po Casagrande-u, specifične težine i granulometrijskog sastava Andrasenovom pipetom.

INJEKCIONI RADOVI U TUNELIMA

Pored zadatka na izvedbi injekcijske zavjese u desnom boku pregradnog profila, poduzeće Elektrosond izvelo je i sve injekcijske radove u tunnelima. U sklopu hidrotehničkog postrojenja na Perući izvedena su dva tunela: desni, ili temeljni ispust, probijen je kroz isključivo krečnjački masiv, dosta razdobljen i karstificiran. Ovaj tunel ima svijetli profil 4,5 m sa debljinom betonske stijenske od 30,0 cm. Lijevi tunel izveden je u težim geološkim uvjetima i dobrim dijelom u boksitičnim naslagama. Njegov svijetli promjer iznosi 6,9 m, a debljina betonske stijenske kreće se oko 90,0 cm. Ukupna dužina injektiranih dionica u oba tunela iznosi 650 m.

Veće šupljine i pukotine u masivu kroz koji su probijani tuneli, kao i sam građevinski zahvat u stijeni, prouzrokovali su mjestimična jača odstupanja od idealnog profila izbijanja. Na pojedinim mjestima dolazilo je i do jačeg otvaranja kamina, pa su ovi geološki i lokalni uvjeti nagovještavali da predstoji veći obim injekcijskih radova na zapuni iza betonske obloge. Beton u oblozi ugrađivan je nabijanjem, džepovi i kamini iza betonske oplate prethodno su ispunjeni ili ozidani. Međutim, kako nije moguće izvršiti potpunu ispunu ovih šupljina betonom, potrebno je naknadno injektiranje neispunjenih međuprostora (vezno injektiranje).

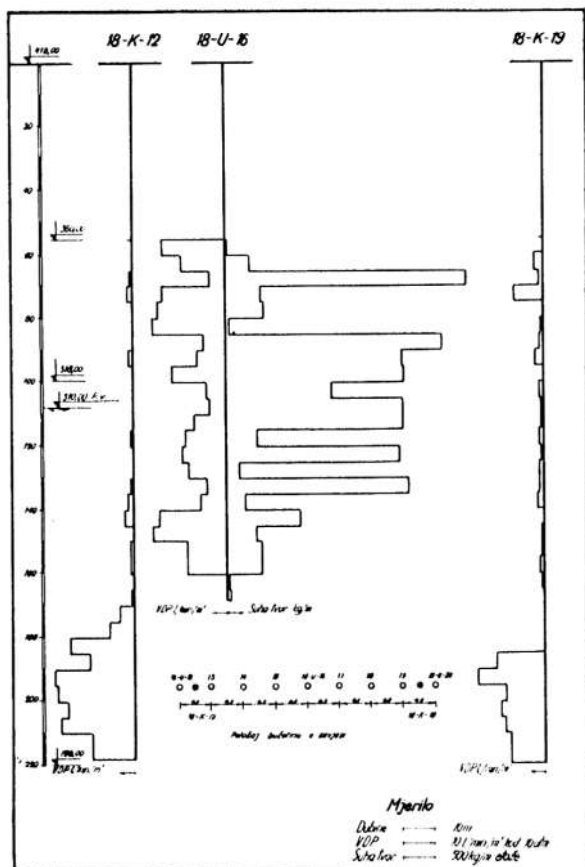
Zadaci i način rada

Projektom i tehničkim uvjetima izvedbe postavili su se pred izvođača injekcijskih radova slijedeći osnovni zadaci:

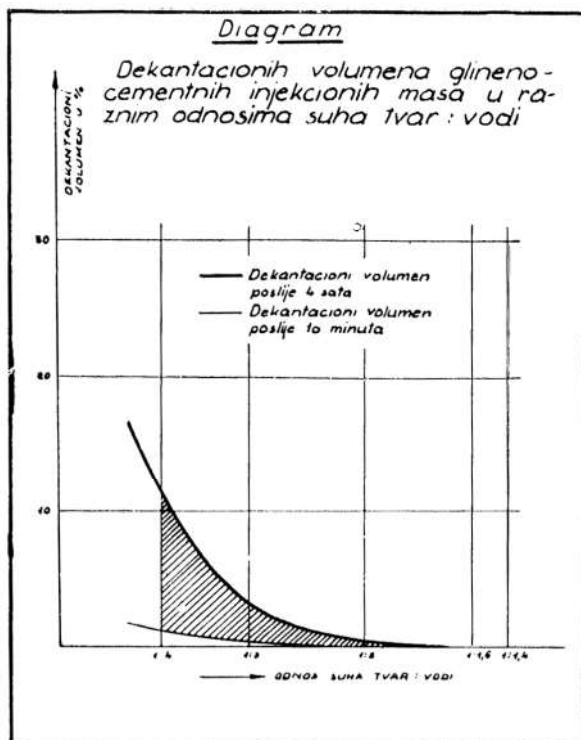
- da se uspostavi veza između betonske obloge tunela i stijene,
- da se izvrši konsolidacija okolne stijene koja je probijanjem tunela osjetno oslabljena u svojoj užoj zoni i
- da se uspostavi i ojača nepropusna veza sa injekcijskom zavjesom u ravnini gdje ova siječe tunele.

Ovi zahtjevi na injekcijske radove trebali su s jedne strane da spriječe jača procurivanja uz betonsku oblogu i da na taj način smanje gubitke u akumuliranoj energiji, a s druge strane, da se popunjavanjem šupljina i korekturom mehaničkih karakteristika okolne stijene, ostvari bolje uzajamno statičko djelovanje obloge i stijene u oba pravca.

Oba zadatka rješavala su se u dovodnom tunelu injektiranjem u dvije faze, a u temeljnom ispustu u jednoj fazi. U prvoj fazi bušene su pliće vezne bušotine kroz betonsku stijenu. U temeljnom ispustu bušene su bušotine jedan metar duboko i položene u zoni svoda naizmjenično po 3 u profilima na razmaku profila od 4,0 m. Ti profili označavani su neparnim brojnim nizom. Između neparnih profila ubačeni su međuprofil s parnim brojnim oznakama na istoj dužini razmaka, sa po dvije bušotine u zoni svoda i sa kutnim pomakom u odnosu na bušotine neparnih profila. U donjem dijelu svoda (zolni) u parnim profilima zrcalno su položene još po dvije bušotine koje su imale kontrolni karakter i osiguravale ispunu kontakta u pod-



Komparativni prikaz rezultata vodopropusnosti prije i poslije injektiranja terena s dijagramom utroška suhe tvari



ručju donjeg dijela tunelske obloge. Ovaj kontakt, normalno gledano, nije mogao biti problematičan.

Završni pritisci u ovom tunelu određeni su na 6 Atm. time, da se nije izvodila dublja konsolidacija okolne stijene, jer je funkcija objekta takva, da stupa u pogon samo povremeno t. j. prilikom pražnjenja akumulacije ili propuštanja prelivnih voda.

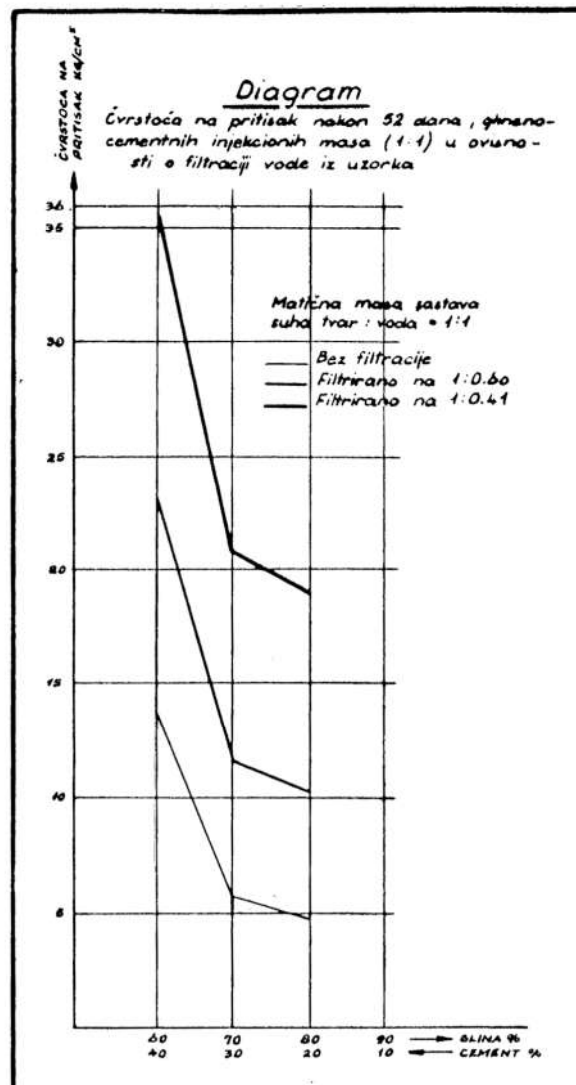
Na mjestu gdje tunel siječe injekcionu zavjesu izvedena je u ravninama svih triju redova zavjese solidna troredna rozeta. Ovo je izvedeno sa bušotinama koje su išle do 10,0 m u dubinu stijene. Rozeta pojačava injekcionu zavjesu, koja je oslabljena baš na ovom mjestu presjeka sa tunnelom. S jedne strane, već samo izbijanje tunela omogućava formiranje vodnog drena, dok je naprotiv zavjesa tu najslabija, jer se pritisci injektiranja moraju smanjiti radi opasnosti oštećenja betonske obloge.

U dovodnom tunelu izvodili su se radovi prve faze odnosno ispunjena kontakta beton-stijena sa 5 bušotina u neparnim profilima i po 4 u parnim, do dubine 1,5 m bušenja i sa rasporedom oko cijele obloge tunela. Nakon injektiranja u profile su ubacivane po dvije kontrolne bušotine koje su pokazale zadovoljavajuće rezultate u vezi sa gornjom dispozicijom i obimom radova. Razmaci među profilima iznosili su i ovdje 2,0 m. Završni pritisci na ispuni kontakta između betona i stijene iznosili su 5 atmosfera.

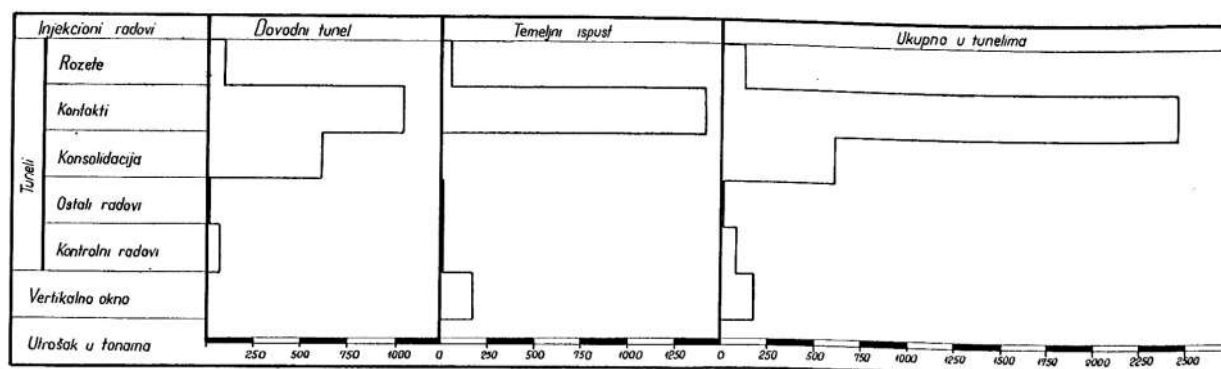
U drugoj fazi radova ponovno se je bušilo kroz ispunjene kontaktne bušotine do 4,5 m u dubinu u cilju konsolidacije. Pri ovoj fazi injekcionih radova pritisci su mogli biti povećani do 10 atmosfera.

I u ovom tunelu izvedena je injekciona rozeta na mjestu gdje tunel prolazi kroz injekcionu zavjesu. Dubine bušotina iznosile su do 16 m, a pritisci do 18 Atm.

Na veznim injekcijama primjenjene su injekcione mase na bazi cementa sa dodatkom pijeska, koji je kod velikih utrošaka dosizao i do 70%. Na konsolidacionim injekcijama primjenjene su čiste cementne injekcije, a na rozetama glina do 50%.



Pregled utroška suhe tvari na pojedinim fazama injekcionih radova u tunelima

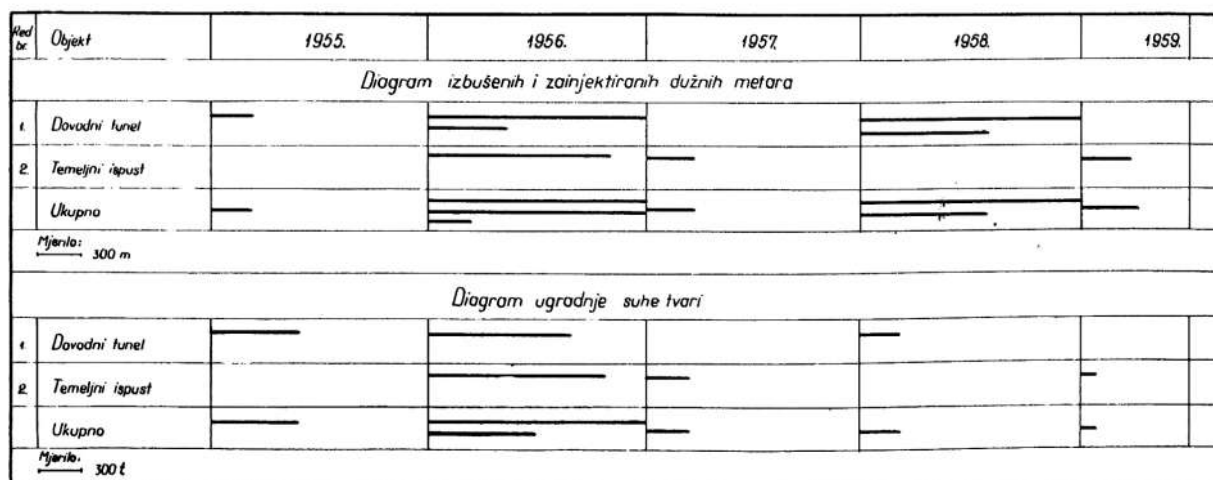


Ostali podaci		Dovodni tunel	Temeljni ispust	Ukupno u tunelima
Utrosak suhe tvari u kg po jedinici	m ² obloge	330	230	273
	m' tunela	7800	4000	5350
	m' bušotine	385	835	515
	m ² rozete	333	91	171
Ukupne dužine radnih dionica		230 m	412 m	642 m
Nutarnji promjer tunela u cm		690	450	—

Opseg izvedenih radova

Količina izvedenih radova, intenzitet i redoslijed izvedbe prikazani su na skicama. Iz prikaza o utrošku suhih komponenata injekcione mase vidi se da su ovi utrošci bili značajni. Ovo se još oštrije ističe, kad se podaci reduciraju na 1 m² obloge tunela ili na njegov dužni metar. Kroz rezultate injekcionih radova pokazuje se, da su geološke karakteristike i režimi rada na izbijanju i betoniranju tunela bili takvi, da je opseg injekcionih radova znatno premašio predviđeni obim.

Dijagram intenziteta injekcionih radova u tunelima



Organizacija izvođenja radova

Injekcioni radovi izvođeni su pod zaštitom betonske obloge tako, da u toku izvođenja nije dolazilo do kolizije sa građevinskim radovima. Međutim, radi kontinuiteta radova na objektu kao cjelini, injekcioni radovi bili su prekidani, jer su tuneli naizmjenično služili kao optočni propusti za protoke rijeke Cetine. U organizaciji izvođenja bile su improvizirane manje injekcione stanice na ulazu i izlazu iz tunela odakle se je injektiralo. Pri većim utrošcima i kod primjene gušćih masa i pijeska ubacivane su u same tunele pojedine pokretne injekcione baterije većeg kapaciteta. Mehaničacija ovih radova bila je domaće izvedbe. Bušenje za injektiranje izvođeno je pneumatskim bušilicama sa profilima bušenja 36 mm, a dublje bušotine i veći profili bušili su se rotacionim bušilicama. U toku kampanje na injektiranju tunela bilo je angažirano cca 100 ljudi, dok je tehničko osoblje i neposredni nadzor izvođača uglavnom bio zajednički, na radovima na zavjesi i sa ovima je međusobno koordiniran.

ZAKLJUČAK

Na temelju izloženog prikaza, danog projekta kao i obzirom na dosta rezervirana mišljenja pojedinih renomiranih eksperata, vidi se, da su radovi na otješnjenju desnog boka akumulacije Peruća pomoću injekcione zavjese izvođeni u obimu manjem od predviđenoga. Ovo dolazi do naročitog izražaja u prosječnom utrošku suhe tvari injekcione mase, koji iznosi svega 295 kg/m' injektiranja i 157 kg/m² zavjese. Nadalje ističemo značajne uštede ostvarene primjenom cementno-glinenih injekcija. Pri svemu ovom podaci na kontrolnim radovima, kao i podaci o prvim registriranim gubicima, dali su rezultate iznad očekivanja.

Rezimirajući prednje, možemo reći, da su injekcioni radovi na akumulaciji Peruća, kako po obimu, tako i po značaju, okvira svjetskih razmjera. Akumulacija Peruća danas je ostvarena, a gubici se pokazuju daleko ispod pretpostavljenih. Temeljne predradnje, pripreme, solidna izvedba i uska suradnja investitora, projektanta i izvođača, pokazuju da se na krške akumulacije može danas gledati i s velikom tehničkom smjelošću.



Pogled na bušanje garniture na gradilištu Peruća

Uloga i značaj HE Peruća u našem elektroenergetskom sistemu

Ing. Milan Šodan, Zajednica elektroprivrede Hrvatske – Zagreb

Smještaj HE Peruća u neposrednoj blizini jakog potrošačkog područja, a koje se uglavnom sastoji iz splitskog i šibenskog basena, imaće bitnog utjecaja na energetske prilike u visokonaponskoj mreži Dalmacije. Njena blizina najvažnijim potrošačima i gotovo stalna raspoloživa snaga, znatno će pridonijeti povećanju sigurnosti snabdijevanja električnom energijom. Proizvodnja, koju će dati HE Peruća, kao i povećanje proizvodnje na nizvodnim stepenicama (Sada HE Kraljevac, a kroz godinu dana HE Split I), pretvorit će Dalmaciju iz dosada izrazito deficitarnog područja u izbalansirano odnosno suficitno područje.

Karakteristike proizvodnje HE Peruća, koja predstavlja akumulaciono postrojenje, imaće osjetnog utjecaja ne samo na uže područje, već i na cjelokupni jugoslavenski elektroenergetski sistem. Relativno veliki volumen akumulacije odnosno 28,2% od ukupnog godišnjeg dotoka omogućuje dobro izravnane protoka, tako da se u prosjeku dobije potpuno vodno izravnane. Te izravnate vode osiguravaju povećanu proizvodnju energije na samoj HE Peruća i na nizvodnim stepenicama u ljetnim i sušnim mjesecima te na taj način smanjuju potrebnu dopunu termoelektranama u jugoslavenskoj mreži.

U Dalmaciji se očekuje u 1960. godini potrošnja električne energije od oko 900 GWh. Vlastita proizvodnja iznosit će oko 680 GWh pa je potrebno da se prenese iz drugih područja, t. j. iz Bosne i Hercegovine, oko 220 GWh. U prošlim godinama bile su još nepovoljnije prilike, jer je akumulacija Peruća već ove godine omogućila djelomično povećanje proizvodnje u HE Kraljevac. Veza Dalmacije sa HE Jablanicom, preko dva dalekovoda 110 kV omogućuje redovan prijenos potrebne energije u Dalmaciju, ali duljina vodova od oko 130 km uzrok je brojnih njihovih ispada, a time i raspada 110 kV mreže u Dalmaciji. Ulaskom u pogon HE Peruća sa instaliranom snagom od 41,6 MW, u pogledu snage, mreža Dalmacije uglavnom će biti izbalansirana tokom većeg dijela godine, pa ispadi spojnih dalekovoda ne će imati težih posljedica. Naime, maksimalna snaga elektrana u Dalmaciji je slijedeća:

HE Kraljevac	64	MW
HE Peruća	41,6	MW
HE Manojlovac	21	MW
HE Jaruga	5,5	MW
TE Jugovinil	16	MW
Ostale	6	MW
Ukupno:	154,1	MW

Budući da se maksimalno opterećenje Dalmacije kreće oko 130 MW, veći dio godine će ga Dalmacija pokrivati i na taj način će spojni dalekovodi služiti povećanju sigurnosti, kao i kod razmjerno manjih snaga izmjeni sa Bosnom i Hercegovinom.

Veza HE Peruća sa mrežom 110 kV Dalmacije ostvarena je za sada jednim dalekovodom 110 kV HE Peruća – TS 110/30 kV Split, što je dovoljno u pogledu mogućnosti plasmana energije iz same elektrane. Da bi se povećala sigurnost, kako plasmana energije iz HE Peruća tako i opskrbe potrošača šibenskog basena, predviđeno je da se u budućnosti ostvari i druga veza dalekovodom HE Peruća – TS 110/30 kV Knin – TS 110 kV Šibenik.

Prema tome značaj HE Peruća za dalmatinsko područje je u svakom pogledu velik, jer uglavnom u ovom momentu rješava Dalmaciju deficitarnosti u električnoj energiji i pridonosi sigurnijoj i kvalitetnijoj opskrbi njenih potrošača. Kod toga treba imati u vidu da se radi o području koje po površini nije toliko veliko, ali predstavlja oko 10% potrošnje cijele Jugoslavije, odnosno 40% potrošnje Hrvatske, pa je potrebno da se takvom području osigura kvalitetna dobava električne energije, što često u prošlosti nije bilo.

Puštanje u pogon svake elektrane u Jugoslaviji ima odgovarajući značaj za elektroenergetski sistem. Broj elektrana u jugoslavenskoj mreži danas je prilično velik (preko 30 sa snagom iznad 10 MW), tako da svaka nova elektrana relativno sve manje predstavlja u ukupnoj cjelini. Prema tome ne treba tražiti pravi značaj ni HE Peruća u njenoj godišnjoj proizvodnji, koja iznosi u prosjeku 155,7 GWh, jer to predstavlja tek oko 1,7% od ukupne godišnje proizvodnje u Jugoslaviji. Jednogođišnji porast potrošnje već danas iznosi za Jugoslaviju oko 1 milijarde kWh, pa je prema tome

potrebno da se godišnje pusti u pogon oko 6 elektrana sličnih Peruća u pogledu proizvodnje. No ipak jedna od tih je HE Peruća, koja svojom proizvodnjom treba da pokrije dio tog jednogodišnjeg porasta u Jugoslaviji.

Od većeg će značaja međutim biti za jugoslavensku mrežu sama akumulacija Peruća i njena energetska vrijednost na samoj pribranskoj elektrani i nizvodnim stepenicama.

Da bi se bolje uvidio taj značaj, iznijet će se neki podaci o karakteristikama jugoslavenskog elektroenergetskog sistema, zatim karakteristike proizvodnje HE Peruća i iz toga će se dobiti neki pokazatelji.

Kako je poznato u Jugoslaviji se potrošnja električne energije podmiruje iz hidroelektrana i termoelektrana. Momentalno je odnos proizvodnje 2 : 1 u korist hidroelektrana. Termoelektrane mogu čati proizvodnju, odgovarajući svojoj snazi, u svakom momentu, ako su pripremljene za proizvodnju. Proizvodnja hidroelektrana je međutim, ovisna o raspoloživoj vodi. Kod protočnih hidroelektrana proizvodnja je direktno ovisna o trenutnim protokama, dok je kod akumulacionih ovisna o količinama vode u akumulacijama, koja se međutim može proizvoljno koristiti. Većina izgrađenih hidroelektrana u Jugoslaviji je protočnog karaktera, a samo nekoliko između njih ima veće akumulacione basene i to:

Hidroelektrana	Akumulacija korisna u hm ³	Energetska vrijednost akumulac. na samoj elektrani GWh	Energetska vrijednost akumulac. na nizvodnim elektranama GWh
HE Vrutok	274	344	387,1
HE Vlasina	107	82,2	204,8
HE Jablanica	297	67,1	67,1
HE Vidonol	31,7	43,2	43,2
HE Peruća	509	45	119 HE Kraljevac 340 HE Split

Ove elektrane mogu da udese svoju proizvodnju unutar granica svojih mogućnosti onako kako to najbolje odgovara cijelom elektroenergetskom sistemu. Stoga one u periodima nestašice električne energije kroz duži period povećavaju svoju proizvodnju, a kada ima dovoljno energije u sistemu one smanje proizvodnju i akumuliraju vodu. Među ostalim hidroelektranama ima ih veći broj koje raspolažu manjim akumulacijama koje služe za regulaciju proizvodnje tokom dana, ali su im one nedovoljne da bi to mogle činiti kroz duži period.

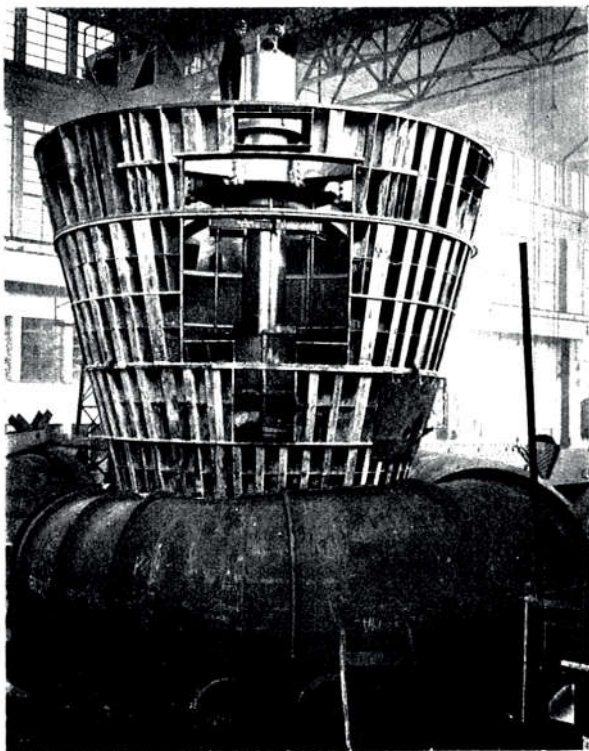
Potrebe za električnom energijom uglavnom su konstantne u pojedinim mjesecima godine, a postoje samo manje varijacije oko jedne prosječne veličine. Pošto je većina hidroelektrana protočnog karaktera, sa znatno nižom proizvodnjom uglavnom u periodu srpanj-listopad, potrebno je da se grade termoelektrane koje će nadopuniti tu razliku u sušnom periodu. Druga jedna mogućnost jest u forsiranoj proizvodnji akumulacionih elektrana u tom periodu, pa na taj način takove elektrane zapravo smanjuju potrebu izgradnje termoelektrana, kao i potrebu proizvodnje termoelektrana i to u prvom redu onih skupljih. Osim toga ovakove elektrane znatno su elastičnije u pogonu nego termoelektrane.

Da se vidi karakter proizvodnje hidroelektrana u Jugoslaviji, u drugoj tabeli su prikazane proizvodnje po mjesecima u prosječnoj godini, a sa stanjem u 1962 g. U prvom stupcu su date srednje mjesečne proizvodnje sa protočnim korištenjem svih elektrana u Jugoslaviji, a u drugom sa korištenjem akumulacija. Kako se iz tabele vidi, omjer najveće mjesečne proizvodnje — listopad i najmanje mjesečne proizvodnje — august, iznosi u slučaju protočnog korištenja 2,58. Još veći omjer bi se dobio kad se ne bi uzele prosječne mjesečne proizvodnje, nego stvarne mjesečne proizvodnje iz niza godina. Tako na pr. za 30 godišnji period 1925—1955 g. omjer između maksimalne i minimalne mjesečne proizvodnje iznosi 5,14. Iz ovoga se jasno razabire varijabilnost proizvodnje protočnih hidroelektrana, kao i poteškoće da se smanjena proizvodnja u sušnim mjesecima nadoknadi iz drugih izvora. S druge strane iz tabele se vidi utjecaj akumulacija na povećanje proizvodnje u sušnom periodu, tako da je sada omjer između maksimalne i minimalne prosječne mjesečne proizvodnje 1,42, što je znatno manje nego u prethodnom slučaju. U apsolutnom pogledu povećanje u pojedinim mjesecima iznosi gotovo 100%. Tako na pr. u kolovozu proizvodnja hidroelektrana uz prosječni rad iznosi 432 GWh, a uz korištenje akumulacije 828 GWh, odnosno povećanje za 396 GWh.

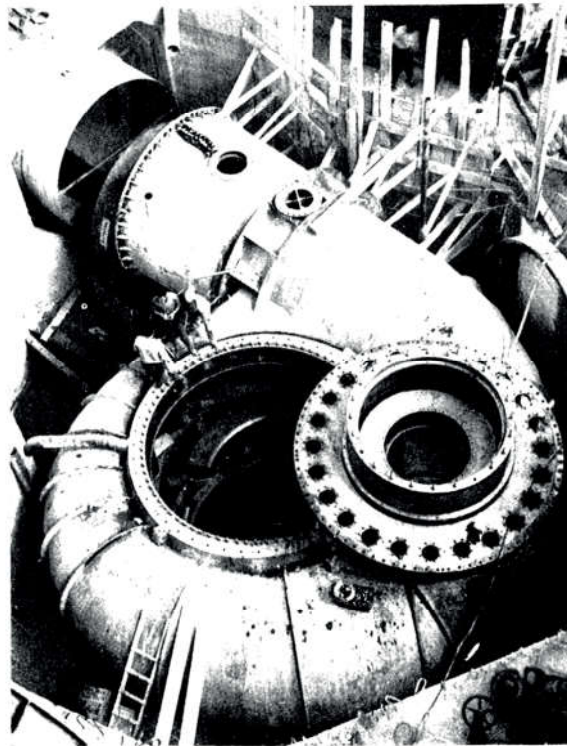
Mjeseci	HE Jugoslavije u 1962			HE Peruća			HE Peruća + HE Split I		
	Protočno P	Akum. A	Razlika A-P	Protočno P	Akum. A	Razlika A-P	Protočno P	Akum. A	Razlika A-P
I	922	895	- 27	16,1	14,9	- 1,2	153,3	161,4	+ 8,1
II	881	894	+ 13	15,4	14,7	- 0,7	145,4	161,2	+ 15,8
III	1025	960	- 65	17,5	14,4	- 3,1	160,2	163,3	+ 3,1
IV	1099	1005	- 94	18,0	14,6	- 3,4	168,5	161,4	- 7,1
V	1079	1046	- 33	17,4	14,5	- 2,9	158,9	152,8	- 6,1
VI	806	986	+ 180	10,1	14,3	+ 4,2	113,6	131,2	+ 17,6
VII	560	894	+ 334	5,6	15,7	+ 10,1	63,1	127,2	+ 64,1
VIII	432	828	+ 396	3,7	15,1	+ 11,4	39,3	126,6	+ 87,3
IX	458	794	+ 336	4,6	11,0	+ 6,4	48,1	122,5	+ 74,4
X	796	867	+ 71	10,0	5,7	- 4,3	100,0	114,5	+ 14,5
XI	1114	982	- 132	21,4	9,4	- 12,0	164,8	150,6	- 14,2
XII	1049	951	- 98	19,9	11,7	- 8,2	159,1	158,3	- 0,8

Da bi se vidio utjecaj akumulacije Peruća na povećanje proizvodnje u sušnom periodu, u tabeli su dati podaci za proizvodnju HE Peruća protočno i akumulaciono. Proizvodnja u periodu lipanj-listopad gotovo je dvostruko veća uz akumulaciono korištenje nego u slučaju protočnog korištenja. Međutim da se dobije prava slika o utjecaju akumulacije Peruća potrebno je da se uvažava i nizvodne stepenice, jer akumulacija i na njima povećava proizvodnju u sušnom periodu. Stoga su u tabeli date proizvodnje sumarno za HE Peruća i HE Split uz protočno i akumulaciono korištenje. Ukupno povećanje proizvodnje za period lipanj-oktobar iznosi 257,9 GWh. Budući da ukupno povećanje zbog akumulacija u Jugoslaviji za isti period iznosi 1317 GWh izlazi kao rezultat da akumulacija Peruća sudjeluje sa 19,6%, odnosno da $\frac{1}{5}$ povoljnih utjecaja akumulacija u Jugoslaviji u 1962 god. dolazi iz Peruće. Iz toga se najbolje vidi značaj HE Peruća u elektroenergetskom sistemu.

Prema tome nova hidroelektrana i akumulacija Peruća predstavlja za dispečersku službu elastično i veoma pogodno novo postrojenje.



Probna montaža turbine 29.000 KS u tvornici 1959.



Montaža turbine u strojarnici III. 1960

Eksproprijacija naplavnih površina i objekata

Ivo Mrčić, sudac Kotarskog suda — Sinj

Akumulacioni basen se proteže od dolinske pregrade na Perući uzvodno u dolini od oko 22 km u pravcu Vrlike, pa doseže kod maksimalnog uspora vode skoro tzv. Balački most kod sela Vina-lica na početku Paškog polja. Širina mu obzirom na konfiguraciju naplavljenе doline varira, pa je naj-uzi u Dargovičkom prosjeku kod bivšeg dragovičkoga mosta (oko 70 m), a najširi na potezu između sela Podosoja — zaseoka Racići i sela Gorjaka — zaseoka Plazonići (cca 2,5 km zračne linije). Kod brane je dubok oko 60 m, a uzvodno tokom Cetine dubina se smanjuje adekvatno nagibu tla pod vodom. Maksimalni uspor vode u jezeru je kota 361 m nadmorske visine.

Važan opći interes izgradnje čitavog sistema hidroelektrana u slivu rijeke Cetine nalagao je eksproprijaciju — izvlaštenje zemljišta u privatnom vlasništvu u korist korisnika eksproprijacije poduzeća u izgradnji »Dalmatinske hidroelektrane« Split. To oduzimanje nepokretne imovine vlasništvu građana i njen prelazak u društveno vlasništvo izvršeno je aktom o eksproprijaciji nadležnog državnog upravnog organa, a rješenjima o naknadi istog organa velika većina izvlaštenika je dobila naknadu u novcu, a manjina zamjenu u drugim odgovarajućim nekretninama.

Sveukupna površina obradivog i neobradivog zemljišta kako vlasništva pojedinih građana tako i općenarodne imovine, koja ulazi u sastav akumulacionog jezera Peruća iznosi 19,210.725 m², a od toga obradivo zemljište (oranice, vrtovi, sjenokoše i vinogradi) zaprema površinu od 12,695.306 m², a neobradivo (pašnjaci, kamenjar, putovi, potoci, šume i drugo) 6,515.419 m². U privatnom posjedu ima obradivog 12,695.306 m², a neobradivog 1,205.958 m², dok neobradivo zemljište općenarodne imovine (putovi, potoci, rijeke, krš i pustopašica) zaprema 5,309.461 m². Nominalni broj osnovnih katastarskih čestica iznosi 9.733, ali uslijed provedenih privatnih (vansudskih) materijalnih dioba neregistriranih u katastarskim operatima ili rijetkih fizičkih dioba izvršenih u redovitom sudskom vanparničnom ili izvršnom postupku koje nisu provedene kroz zemljišnik (za područje Kotarskog suda u Vrlici zemljišnik je uništen tokom prošlog rata), taj se broj stvarno penje na dvostruko, jer premda parcelacije čestica i shodno tome korekture katastarskih planova nisu izvršene, u naravi na terenu su obavljena odcjepljenja i omeđашenja dijelova podijeljenih čestica.

Direktno pod vodu došli su slijedeći objekti: stambenih zgrada 175, gospodarskih zgrada (štale, sjenici, kukurušnjaci itd.) 199, vodenice mlinovi i stupe 28, crkve — manastiri 3, groblja 3, pošte 2, narodnih škola 2, industrijski objekt (hidroelektrana Garjak) 1 ili ukupno 413 građevinskih objekata. Od trajnijih zemljišnih kultura potopljeno je oko 700.000 čokota loze, oko 25.000 plodonosnih voćaka, te 10.000 m³ drvne mase — ogrjevnog i tehničkog drva.

Akumulacioni basen Peruća zahvaća samo parcijalno 11 katastarskih općina i to K.O. Bitelić Donji, Satrić, Vučipolje, Potravlje, Dabar, Otišić, Koljane, Podosoje, Garjak, Ježević i Vinalić, a u njemu su inkorporirani zemljišni posjedi ne samo žitelja spomenutih sela, nego još i sela Maljkova i Laktusa koja su u sastavu K.O. Potravlje i Dabar. Potopom je bilo ugroženo 1451 zemljoradničkih domaćinstava, a zemlja koja je došla pod udar eksproprijacije za rečeni basen predstavlja jedini izvor egzistencije za preko tisuću domaćinstava, dok je preostalim 450 domaćinstava eksproprijirana neznatna površina zemlje do 1000 m² ili nešto preko toga, pa se ne smatraju ugroženima, jer od tako male količine zemlje, makar bila i najkvalitetnija, nisu bili ovisni. To bi bili podaci koji su najbliži optimalnoj točnosti.

Narodni odbor kotara Split formirao je ad hoc eksproprijacionu komisiju u smislu osnovnog zakona o eksproprijaciji, koja je imala zadatak, da na licu mjesta identificira i procijeni sve nekretnine u sastavu akumulacionog basena Peruća, a potom da odredi naknadu za eksproprijiranu imovinu t. j. izradi i zainteresiranim strankama (korisniku eksproprijacije i eksproprijatima) dostavi rješenja o naknadi.

Postupak eksproprijacije je započet za vrijeme važnosti Osnovnog zakona o eksproprijaciji i vođen u skladu sa njegovim propisima sve do stupanja na snagu novog Zakona o eksproprijaciji, kad je postupak nastavljen u smislu novih propisa. Jedino je za čitav basen primijenjena radi jednoobraznosti i pravičnosti Odluka o tarifi, koja je bila sastavni dio derogiranog osnovnog Zakona o eksproprijaciji, a koja je u pogledu naknade bila za eksproprijate povoljnija od adekvatnih propisa sada važećeg Zakona o eksproprijaciji. Prije početka eksproprijacionog postupka NOK — Split je u skladu sa zakonskim ovlaštenjima povicio još za 30% propisane cijene za oranice i livade u sastavu

istog jezera, smatrajući da se radi o rajonu sa malo obradive zemlje, kakav rajon i jest kraško polje dinarskog krša, kroz koje protiče Cetina u svom gornjem toku.

Spomenuta eksproprijaciona komisija, koja je sinonim komisije za određivanje naknade za eksproprijiranu imovinu u smislu Zakona o eksproprijaciji, započela je svoj posao koncem mjeseca svibnja 1956. godine. Njoj je stajao na čelu jedan od sudaca Kotarskog suda u Sinju, a u svom sastavu imala je suradnike — stručnjake: geometra, agronoma i građevinskog tehničara, te administratora. Ta ekipa skoro uvijek u istoj formaciji, obavila je kroz razdoblje od dvije godine, ne računajući zimske cikluse i periode kiša, ogroman rad i dovršila zadatak u planiranom roku. Ova je komisija pri svom terenskom radu trebala pristupiti na svaku česticu zahvaćenu eksproprijacijom, izvršiti točnu identifikaciju pomoću odgovarajuće katastarske mape, zatim u prisutnosti isključivog stvarnog vlasnika ili više suvlasnika održati raspravu po sumarnom postupku, utvrditi pravog faktičnog vlasnika odnosno razriješiti često puta vrlo zamršene suvlasničke odnose naročito kod livada, ustanoviti kulturu i klasu dotične zemlje, prebrojiti čokote loze, plodonosne voćke, te ocijeniti njihovu starost i prosječni godišnji prinos, a istodobno obaviti procjenu zemlje po njenom bonitetu. U ovom postupku eksproprijacije vođen je radi ekspeditivnosti i jeftinoće posla simultano i postupak priznavanja odnosno nepriznavanja uzurpacija općenarodne imovine u sklopu basena. Kod mnogih čestica stanje u mapi i katastarskim operatima nije se poklapalo sa stanjem u naravi, što je često i bez stručnog mjerenja ili zahtjeva izvlaštenika bilo evidentno na prvi pogled. To je rezultat dugogodišnjih neprimjetnih zahvaćanja (uzurpacija) vlasnika susjednih čestica. Tada je trebalo vršiti stručna, mnogo puta opsežna mjerenja skopčana sa traženjem poligonih ili orijentacionih točaka radi pravilnosti izmjere. Trebalo je uz tok rijeke Cetine mjeriti i izračunati površinu aluvijalnih nanosa, a isto tako uzimati u obzir snagom vode otrgnute površine (avulzije). Sa eksproprijacijama se postupalo nadasve obazrivo, poštujući njihove osjećaje i uzimajući u razmatranje njihove prigovore.

Na izradi rješenja o naknadi radilo se periodično, ali vrlo intenzivno kroz redovito radno vrijeme i prekovremeno u popodnevnim satima. Na tom poslu je povremeno bilo angažirano 5 do 6 pravnika većinom sudaca.

Eksproprijati su za oduzete nekretnine bili uglavnom oštećeni u gotovu novcu, jer korisnik eksproprijacije nije uspio dobiti potrebite površine zemlje, da bi eksproprijacijama kao naknadu pružio u zamjenu odgovarajuće nekretnine. Jedino mu je bio stavljen na raspolaganje jedan pogon Poljoprivrednog dobra Sinj na Čitluku i Demerovcu cko 3 km daleko od Sinja sa oko 100 hektara obradivog zemljišta, sa stambenim i gospodarskim zgradama. Prethodno je korisnik eksproprijacije o svom trošku izvršio potrebitu adaptaciju stambenog i gospodarskog prostora na Čitluku i Demerovcu, gdje je naseljeno 25 zemljoradničkih domaćinstava koja su tu dobila uz stambene i gospodarske zgrade oranice, livade i ponešto pašnjaka, dok je drugih četrdesetak domaćinstava dobilo zemlju, te skloništa za poljoprivredni alat, ljude i stoku za vrijeme obrade ili vremenskih nepogoda. Ostali izvlaštenici, kojima je korisnik eksproprijacije na temelju pravomoćnih rješenja o naknadi isplatio naknadu u gotovu novcu, ostavili su, iako teška srca, pradjedovska ognjišta i stari kraj, te odselili u sjeverne predjele države slobodno odabравši mjesto novog prebivališta. Hrvatski živalj se pretežno naselio u Slavoniji, kotarima Osijek i Slavonski Brod, te oko Vinkovaca i Vukovara, a srpski u Srijemu, na području Ruma — Zemun, te oko Indije i Novog Sada. Nešto miješanog življa naselilo se je u zapadnom dijelu Istre, a nešto u Banatu i Bačkoj.

Koristeći se blagodatima čl. 9 Zakona o eksproprijaciji, mnogi zemljoradnici, kojima je za potrebe akumulacionog jezera Peruća bio eksproprijiran veći i daleko vredniji dio njihovog poljoprivrednog stanja, podnijeli su zahtjev i za eksproprijaciju preostalog dijela njihove nepokretne imovine izvan tog jezera, za koju više nemaju privrednog interesa, jer im ona ne predstavlja ni minimum ekzistencije. Naime, eksproprijacijom za basen Peruća je zahvaćeno srce njihove zemlje uz tok rijeke Cetine i baš oranice s velikim procentom humusa i plodonosnog fluvijalnog mulja te livade sa gustim travnim pokrivačem sočnih i slatkih trava. Gubitkom livada njima je kao poluzemljoradnicima, a polustočarima prestao i *raison d'être* svog daljnjeg opstanka u ovom kraju, jer bez zalihe sijena nisu u stanju da prehrane kroz zimski period svoju stoku sitnog i krupnog zuba, kada se ona isključivo stajski hrani. N.O. Kotara Split razmotrio je sve podnesene zahtjeve, te svaki opravdani slučaj uvažio i dozvolio eksproprijaciju preostale imovine takovih eksproprijata.

Kretanje investicionih sredstava kod građenja kompleksa Peruća

Ing. Ivo Bulić, Dalmatinske hidroelektrane – Split

EKONOMSKI POKAZATELJI

Prosječna godišnja produkcija	155.700 MWh
Instalirana snaga	41.600 kW
Utrošena investiciona sredstva	12.408,6 milj. Din
Specifična investicija po godišnjem kWh	80,0 Din
po instaliranom kW	300.000 Din
Cijena po kWh u prosječnoj godini uz kalkuliranje otplate zajma iz amortizacije	4,90 Din

Kod analiza izvršenih prigodom podnašanja računa rentabiliteta Jugoslavenskoj investicionoj banci, predviđa se, da se dio investicija na HE Perući koji se odnose isključivo na akumulaciju prebaci teoretski na investicije HE Split i to u omjeru predviđene proizvodnje u prosječnoj godini t. j. u omjeru 91,5% : 8,5%.

Po tom ekonomski opravdanom obračunu smanjuju se investicije koje terete pogon HE Peruće za 6,577 milijuna dinara.

Uzevši gornju postavku u obzir, dobivaju se slijedeći ekonomski pokazatelji HE Peruće:	
Utrošena investiciona sredstva	5.831,6 milj. din.
Specifične investicije po godišnjem kWh	37,5 Din
po instaliranom kW	140.000 Din
Cijena po kWh u prosječnoj godini uz kalkulaciju otplate zajma iz amortizacije	2,88 Din

Tabela I Stvarno utrošena sredstva u odnosu na potrebna sredstva (u milj. din)

	Potrebna sredstva		Stvarno utrošena sredstva		
	Idejni projekat 1	Ugovor sa JIB-om 2	3	3:1	3:2
1 Studije, istražni radovi i projekti	425,0	367,6	414,2	97,5	112,7
2 Pripremni radovi	387,8	365,8	395,6	101,7	108,2
3 Brana i organi brane	3.540,8	3.240,0	3.464,7	97,8	106,9
od toga: a) građevinski radovi	3.168,2	2.910,0	3.091,6	97,6	106,2
b) oprema	372,6	330,0	373,1	100,1	113,1
4 Zavjesa	4.131,8	3.139,0	3.364,2	81,4	107,2
5 Strojarnica	2.513,6	2.506,1	2.806,3	111,7	112,0
od toga: a) građevinski radovi	319,5	389,0	708,6	221,7	182,1
b) oprema	2.194,1	2.117,1	2.097,7	95,6	99,1
6 Eksproprijacije	993,2	1.798,8	1.802,2	181,5	100,2
7 Troškovi investiranja	1,0	147,5	161,4	161,4	109,4
UKUPNO:	11.993,2	11.564,8	12.408,6	103,5	107,3
A Građevinski radovi	7.638,0	6.438,0	7.164,4	93,8	111,3
B Domaća oprema	2.566,6	2.410,0	2.431,1	94,7	100,9
C Uvozna oprema	1,0	37,1	39,7	37,1	107,0
D Ostalo	1.788,6	2.679,7	2.773,4	155,1	103,5

TROŠENJE SREDSTAVA PO STRUKTURI INVESTICIJA

Ocjenu o trošenju investicionih sredstava za HE Peruću teško je definirati iz razloga što:

- investicioni program nije prošao reviziju u smislu današnjih detaljnih revizija kod Zajednice jugoslovenske elektroprivrede,
- idejni projekat iz 1954 nije bio toliko obrađen da bi mogao da služi kao tačna podloga za usporedbu trošenja sredstava,
- ugovor sa Jugoslovenskom investicionom bankom je sklopljen na temelju jedne ocjene komisije Saveznog izvršnog vijeća iz 1954 godnie koja nije bila bazirana na detaljnijoj analizi.

U tabeli I su dani podaci potrebnih sredstava za izgradnju HE Peruća prema idejnom projektu i ugovoru sa bankom, te uspoređeni sa podacima stvarno utrošenih sredstava.

Napominjemo, da su podaci stvarno utrošenih sredstava uneseni i u naknadno odobrenim sredstvima za prekoračenje od bančnih komisija.

Iz tabele proizlazi, da su stvarni troškovi bili niži od predviđenih za građevinske radove i opremu u odnosu na idejni projekat, dok su bili izrazito viši za troškove eksproprijacije i investiranja. Naročito su bili niži troškovi na osnovnim građevinskim objektima, na samoj brani i zavjesi.

U odnosu na ugovorena sredstva sa bankom, troškovi su bili uglavnom ravnomjerno povećani osim kod građevinskih radova strojarne gdje se osjetljivo prekoračilo predviđene iznose. Kod opreme su bili u okviru predviđenog. Do te ravnomjernosti je došlo radi naknadnih virmana u ugovoru.

Prema tome se može slijedeće utvrditi:

— Stvarni troškovi izgradnje su prekoračili: predviđene troškove idejnog projekta za 3,5%
ugovorene sa JIB-om za 7,3%

— Izgradnja je snizila troškove na osnovnim građevinskim objektima, brani i zavjesi i to iz razloga, što je brana izgrađena modernom mehanizacijom, a troškovi zavjese su smanjeni studiozno izabranom jeftinijom smjesom za injektiranje. Osim toga i nalazišta osnovnih sirovina kamena i gline su bila povoljno locirana u neposrednoj blizini brane,

— Izgradnja organa brane je bila skuplja od predviđenog u idejnom projektu, radi izmjene koncepcija građenja koju je uvjetovala geologija terena,

— Izgradnju građevinskih radova na strojarici otežala su poplavljanja građevne jame, te je došlo do povećanog utroška sredstava,

— Oprema, praktično isključivo domaće proizvodnje, ugovorena je po realnim cijenama i montirana u kratkom vremenu.

REALNA UŠTEDA NA GRAĐENJU OBJEKTA

Na osnovu »Dokumentacionih materijala« — Investicije 1947—1958 izdanje Jugoslovenske investicione banke, kod baze 1954 = 100 dobiva se porast cijena prema tabeli II:

Tabela II Realni porast cijena (u mil. din)

Godina	Građevinski radovi	Oprema	Ostalo
1954	100,0	100,0	100,0
1955	104,0	102,0	101,0
1956	106,2	102,0	109,4
1957	112,0	98,5	125,0
1958	123,0	101,0	126,0
1959	130,0	104,5	128,0

(1959 je ocjena stručnjaka Saveznog zavoda za privredno planiranje).

Na temelju ovih podataka, te uzevši u obzir dinamiku investiranja u pojedinim godinama, trebalo bi povisiti potrebna sredstva u odnosu na ugovorena sa Jugoslovenskom investicionom bankom. Kod pregleda ocjene tog povišenja u tabeli III raspored sredstava je izmijenjen utoliko što se iz »Ostalog« prebacilo na »Građevinske radove« one radove koji stvarno predstavljaju građevinske radove kao što su cesta Vrlika—Sinj i pripremni radovi, a bez obzira što se formalno u strukturi investicija kod banke nalaze pod »Ostalo«.

Tabela III Pregled potrebnih investicija kod povišenja cijena (u mil. din)

Struktura investicija	I n v e s t i c i j e			Stvarno utrošeno	% povišenja
	Po ugovoru sa JIB	Sa porastom cijena	% povišenja		
građevinski radovi	7.413,6	8.438,0	114,0	8.173,2	110,0
oprema	2.447,1	2.536,0	103,5	2.470,8	101,0
ostalo	1.704,1	2.064,0	121,0	1.764,6	103,0
UKUPNO:	11.564,8	13.040,0	112,5	12.408,6	107,3

Iz podataka tabele III proizlazi, da uzevši u obzir samo element realnog povišenja cijena bila bi postignuta ušteda u odnosu na ugovorena sredstva sa bankom od cca 5%.

Iz tabele I proizlazi, da je idejni projekat podcijenio troškove eksproprijacije i zanemario troškove investiranja, te se to tim više uočava pravilnost trošenja sredstava na ovom objektu.

Pored rezultata postignutih modernim sredstvima građenja, kao korištenje dovoljne i pravilno odabrane mehanizacije, ispravne tehničke koncepcije injektiranja zavjese te realnih rezultata u ugovaranju i montaži opreme, mislimo da je i pravilno usmjerena organizacija građenja uz disciplinu trošenja sredstava, dala svoj udio u postignutom rezultatu.

Kronologija istražnih i glavnih radova na kompleksu Peruća

Ing. Žarko Plančić, Dalmatinske hidroelektrane – Split

1948–1949

Razdoblje studija i prethodnih radova šireg područja sliva Cetine

Sredinom 1948 g. stvorena je unutar resora elektroprivrede projektantska grupa sa zadatkom da rukovodi istražnim i prethodnim radovima kao i izradom prethodnih energetske i poljoprivrednih studija.

Rezultat ovog rada bilo je »Idejno vodoprivredno rješenje šireg područja Cetine«, te »Osnovni projekat akumulacije u dolini Cetine«.

Rješenjem Revizione komisije za osnovne projekte u VII mjesecu 1951 g., odbačena je varijanta Obrovac i usvojena varijanta Peruća kao buduća akumulacija.

1951–1953

Razdoblje neposrednih istraživačkih radova na području HE Peruća

Vršeni su radovi na istražnim potkopima i oknima u području samog pregradnog profila, ukupno oko 350 m. Ove radove je izvodilo poduzeće Hidroelektra – Zagreb. Poduzeće Elektrosond – Zagreb vršilo je geološka bušenja sa vađenjem jezgre i mjerenjem vodopropusnosti u širem području pregradnog profila, ukupno oko 14.000 m bušotina.

Izvršena su nadalje injekciona polja i to cca 2.000 m pokusnih injektiranja. Ove radove su izvela poduzeća Elektrosond i Geoistraživanja.

Na osnovu rezultata izrađen je »Idejni projekat HE Peruća« koji je nešto kasnije, upotpunjen »Dopunom idejnog projekta HE Peruća«.

1953–1954

Razdoblje priremnih radova

Pristupa se smišljenoj izvedbi pripremnih radova. Izgrađena je cesta do buduće elektrane kao odvojak ceste Split–Knin. Uz spomenutu cestu izgrađeno je definitivno stambeno naselje sa domom koji je služio za vrijeme gradnje. Otpočelo se izradom III dionice ceste Peruća–Vrlika umjesto stare ceste koja je došla pod vodu. Istovremeno je i bagerovano korito Cetine na potezu nizvodno od buduće brane i uređena najakutnija bujična žarišta (Čorina Draga).

Sve ove radove izvodilo je građevinsko poduzeće Konstruktor – Split.

Pristupa se i izradi pokusnih polja u samoj injekcionoj zavjesi, te je tokom 1954 g. ukupno injektirano preko 8.400 m bušotina.



Ulazna građevina dovodnog tunela u toku gradnje

Razdoblje izvedbe glavnih radova

1954—1960

Javno nadmetanje za branu, oba tunela i priključne ceste održano je 29. V. 1954 g., te su radovi povjereni građevinskom poduzeću Konstruktor — Split.

Radovi na injekcionoj zavjesi ustupljeni su poduzeću Elektrosond i Geoistraživanja na osnovu neposredne pogodbe.

U VII. mjesecu otpočelo se iskopom za oba tunela, te izvedbom pripremnih radova. Radovi na bagerovanju korita Cetine se nastavljaju.

Temeljni ispušt. Skoro je u potpunosti završen iskop tunelskih cijevi, a isto tako i betonska obloga. U III. mjesecu otpočelo se iskopom vertikalnog okna, te su do konca godine skoro u potpunosti završeni radovi na iskopu i betoniranju okna. Otpočeta je i završena ulazna građevina sa dovodnim kanalom, osim kratkog dijela uz samo korito Cetine. Iskop izlazne građevine je uglavnom dovršen, dok se betoniranjem nije otpočelo.

1955

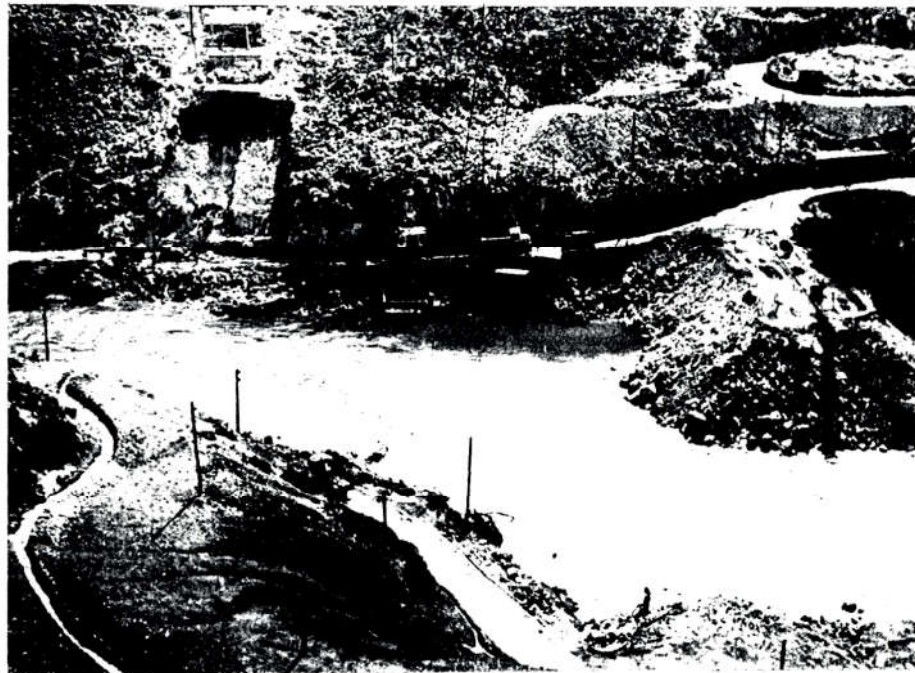
Dovodni tunel. Obzirom na veličinu profila izbijanja, materijal brda, kao i znatnu pojavu vode, ovaj je objekat iziskivao od izvodača velike napore. U tom je vremenu došlo i do aktiviranja jednog klizišta iznad same ulazne građevine što je također u mnogome otežalo daljnji rad. Ipak su do konca godine završeni radovi na iskopu, te izveden iskop ulazne građevine kao i dio betonske konstrukcije. U III. mjesecu je započeo i iskop privremene izlazne građevine, pa je do konca godine i taj rad bio završen.

Konsolidacija. Dopremljena je znatna mehanizacija, izrađene su i kompletirane injekcione stanice tako da su u toj godini izvršeni obimni radovi na injektiranju. Ukupno je injektirano oko 30.600 m bušotina od toga Elektrosond 14.400 m, a Geoistraživanja 16.200 m.

Ostali građevinski radovi. Izrađen je pristupni put sa desne strane za dovoz gline. Pristupilo se otvaranju kamenoloma za branu na lijevoj strani. Nastavljeni su radovi na bagerovanju korita kao i uređenju bujice Čorina Draga.

Temeljni ispušt. Završeno je betoniranje privremene izlazne građevine tako, da su do konca III. mjeseca bili završeni svi radovi I. faze. Pristupilo se zatim veznom injektiranju betonske obloge. Da bi se omogućilo izradu torkretna obloge, postavljene su koncem XI. mjeseca privremene tablaste zapornice na ulaznom grlu tunela. Velike vode su međutim primorale da se table skinu i voda pustí ovim tunelom.

1956



Početna faza gradnje nasutog uzvodnog zagata u Cetini nasipanjem krupnog kamena u vodu

Dovodni tunel. Tokom prve polovine ove godine završeno je betoniranje tunelske obloge, kao i ulazne i privremene izlazne građevine. Naročitu poteškoću je predstavljala izvedba ulazne građevine koja se radi pojave klizišta morala izvoditi metodom vertikalnih okna u lamelama. Istodobno se pristupilo i izvedbi veznih i konsolidacionih injekcija što je bilo završeno do početka VI. mjeseca kada je Cetina, uz prigodnu svečanost skrenuta iz svog korita, te potekla tunelskom cijevi.

Pomoćni zagati i brana. Sredinom godine otpočelo se nasipanjem uzvodnog pomoćnog zagata visine 10–15 m koji je istovremeno bio i sastavni dio tijela brane. Po uspješno izvedenom zagatu, te skretanju vode Cetine dovodnim tunelom otpočelo se izvedbom nizvodnog zagata. Pristupilo se tada crpenju vode iz građevinske jame. Priliv vode u prostor korita omeđen zagatima bio je neznatan. Odustalo se tada od izvedbe unutarnjih zagata na prvobitno predviđen način, a radi sigurnosti izvedena je samo betonska jezgra uzvodnog zagata. Paralelno sa navedenim radovima, a pošto je otvaranje kamenoloma na lijevom obronku dalo dosta loše rezultate, prešlo se otvaranju odnosno organizaciji kamenoloma na desnom boku gdje je nađen kamen znatno boljeg kvaliteta. U tom prostoru je smješteno postrojenje za drobljene i separaciju agregata. Na samoj kosini desnog boka uz korito, izrađena je nova betonara. Po završetku tih radova otpočelo se u VIII. mjesecu betoniranjem temelja jezgre kao i sukcesivnim iskopom prema bokovima. U roku nepuna 2 mjeseca ugrađeno je preko 6.500 m³ betona. Prosječni dnevni učinci iznosili su oko 140 m³ betona, dok se povremeno postizavalo i preko 300 m³ na dan. Po betoniranju izvršeno je vezno injektiranje kontakta betona sa temeljnom stijenom kao i injektiranje radnih fuga. U međuvremenu se nastavilo nasipanjem sa platoa uzvodne bankine u smjeru nizvodno. Početkom X. mjeseca otpočelo se nasipanjem sa komunikacije na desnom boku na koti 325 nizvodno u pravcu lijevog boka. Istovremeno je i čišćena temeljna ploha pred rastućim nasipom. Izvođač je već ovladao tehnikom eksploatacije kamenoloma i angažiranjem krupne mehanizacije tako da je u to vrijeme, bez nekog većeg naprezanja, ugrađivano i preko 3.000 m³ kamena i to radom u dvije smjene. Međutim, činjenica da se tempo nasipanja kamena morao prilagoditi odgovarajućem porastu glinene jezgre (naročito na višim kotama), uvjetovala je tokom rada i samo napredovanje kamenog nasipa. Sa ugradbom glinene jezgre otpočelo se u X. mjesecu, dakle u sasvim nepovoljnoj godišnjoj dobi tako da se dosegla kota 312, a ne 315 kako je predviđeno. Ukupno je ugrađeno 160.000 m³ kamena i 4.200 m³ gline.



Razlomljena stijena ispod temelja brane

Konsolidacija. Nastavljeno je sa injektiranjem oba krila injektione zavjese kao i izvedbom zavjese u samom koritu sa glinene jezgre na koti 312. Do kraja godine injektirao je: Elektrosond 18.900 m, Geoistraživanja 13.700 m, dakle ukupno 32.600 m.

1956

Ostali građevinski radovi. Osim pripremnih radova navedenih kod brane, izradene su trafostanice, novi vodovod pitke vode, te ostali manji radovi. Nastavljeno je radom na Vrličkoj cesti i to na II dionici.

Temeljni ispušt. U prvoj polovini godine izvedeno je, pod zaštitom uzvodno smještene armirano-betonske kupole, torkretiranje tunelske cijevi na dijelu nizvodno od presjecišta sa zavjesom. Završena je izvedba vertikalnog okna i kućice pomoćnog zatvarača tako da se sredinom godine otpočelo sa ugradnjom pomoćnog zatvarača. Pristupilo se rušenju betonske izlazne građevine, a minirana je i betonska kupola.

1957

Dovodni tunel. Na ovom se objektu vrlo malo radilo, pošto je skoro tokom cijele godine njime tekla voda. Radilo se na uređenju klizišta iznad ulazne građevine.

Brana. Bez većih neprilika nastavljeno je nasipanje brane tokom čitave godine, a naročito intenzivno od VII. mjeseca nadalje, kada je glinena jezgra dosegla potrebnu visinu, tako da se rad na nasipanju kamena i ugradnji gline uravnotežio. Ukupno je ugrađeno oko 326.000 m³ kamena i oko 45.000 m³ gline. Paralelno sa ovim radovima tekao je iskop i betoniranje kontrolne galerije kao i iskop za sam temelj glinene jezgre.

Preljev. Koncem godine otpočelo se iskopom kanala.

Strojarnica. Rad u građevinskoj jami strojarnice uvjetovan je zatvaranjem dovodnog tunela. Međutim, pošto je Savezni geološki zavod zahtijevao sve do sredine 1958 g., da maksimalna usporna kota uzvodno od brane ne pređe kotu 315, a radi osiguranja od preplavlivanja rudnika uglja Potravlje, to je trebalo skoro tokom čitave godine vodu propuštati dovodnim tunelom, pošto je temeljni ispušt zbog zakašnjelih radova na ugradnji pomoćnog zatvarača bio stalno zatvoren. Tek početkom X. mjeseca, kada je miniran betonski tampon u temeljnom ispustu, zatvoren je dovodni tunel pomoću privremenih tablastih zapornica što je ujedno i značilo početak radova za građevinsku jamu strojarnice. Izvršeno je tada nasipanje nizvodnog zemljanog zagata, crpenje vode iz građevinske jame kao i betoniranje nizvodnog betonskog zagata. Sredinom XI mjeseca naglo povišenje vodostaja je uvjetovalo ponovno otvaranje dovodnog tunela iz prije pomenatih razloga.



Duboki usjek ispred ulaza dovodnog tunela zahtijeva teške betonske zidove i razupiranje

1957

Konsolidacija. Injektiranje zavjese je u punom zamahu. Elektrosond je izvršio 17.300 m, a Geoistraživanja 17.100 m, dakle ukupno 34.400 m injektiranja, što je bio rekordan rezultat, evropskih razmjera.

Ostali građevinski radovi. Nastavljeno je sa uređenjem bujica Čorina draga i Zeleni vir, kao i sa bagerovanjem korita Cetine. Poduzeće Dinara — Knin pristupilo je i izradi I. dionice Vrličke ceste.

1958

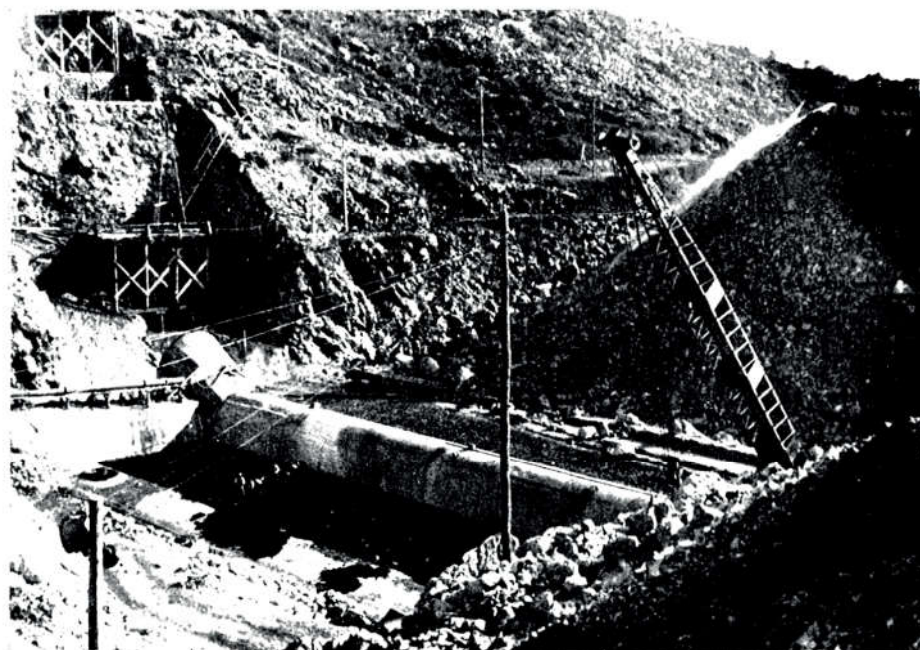
Temeljni ispušt. U IV. mjesecu završena je ugradnja pomoćnog zatvarača. Nastavlja se rušenjem privremene izlazne građevine, te je izvedena definitivna izlazna građevina, pa se koncem godine pristupilo ugradbi regulacionog zatvarača. Da bi se omogućio nesmetan rad na regulacionom zatvaraču, izveden je neposredno uzvodno tanki armirano betonski kupolasti tampon, dok je za propuštanje vode izrađen kratki bočni ispušt također providen cilindričnim tamponom. Pomoću ovih tampona bilo je moguće izjednačiti tlak vode u tunelskoj cijevi što je dozvoljavalo manipulaciju pomoćnog zatvarača a time i povremeno propuštanje vode iz akumulacije u jezeru, a u uvjetima zatvorenog dovodnog tunela. Ovo se postizavalo miniranjem tampona u bočnom ispustu, što je provedeno u nekoliko navrata.

Dovodni tunel. U II. mjesecu je tunelska cijev ponovo zatvorena pomoću privremenih zapornica, te se pristupilo montaži definitivnih zapornih tabli, kao i postavi rešetke. Izvršeno je nadalje konsolidiranje preostalog dijela tunelske cijevi sve do njenog kraja. Početkom V. mjeseca tunel je zatvoren definitivnim tablama.

Brana. Na izmaku zimskog perioda nastavljeno je u V. mjesecu nasipanje gline i filtera te kamenog nasipa, pa je koncem XI. mjeseca brana praktički bila završena.

Preljev. U toku su radovi na iskupu strmog žlijeba, završeno je betoniranje ulaznog objekta sa mostom, pristupilo se betoniranju horizontalnog dijela žlijeba i otpočeo je iskop ulazne školjke.

Strojarnica. Kao što je rečeno kod dovodnog tunela, početkom II. mjeseca zatvorena je tunelska cijev, te se nastavilo radovima na iskupu u građevinskoj jami, ali je koncem mjeseca voda prodrila preko pomoćnih tabli na ulazu, tako da je građevinska jama strojarnice poplavljena. Kasnije, kada je preplavlivanje prestalo, otpočelo se opet radom u samoj jami, ali se čitava stvar još jednom ponovila te je voda potekla ponovno dovodnim tunelom u IV. mjesecu. Kada je pak voda koncem IV. mjeseca opala, došlo je do kvara na pomoćnom zatvaraču temeljnog ispusta, pa se dovodni tunel nije mogao zatvoriti sve do početka V. mjeseca, kada je, kao što je



Početak nasipanja jezgre od gline na betonskom temelju u koritu Cetine. U pozadini desno prva visoka etaža nasipa od kamena. Jesen 1956.

pomenuto, zatvoren definitivnim tablama. To je ujedno značilo i početak radova na iskopu građevinske jame strojarnice. Koncem X. mjeseca trebalo je otpočeti betoniranjem, međutim je 20. X. prilikom otvaranja bočnog odvoda, voda preplavila preko lijevog ruba nizvodnog zagata, te je ponovno potopila građevinsku jamu strojarnice sa čitavim pumpnim postrojenjem. Nakon spašavanja pumpi uz pomoć ronoca i ponovne montaže istih, pristupilo se crpenju vode, pa se, poslije ovog prekida koji je trajao 15 dana, nastavilo u XI. mjesecu sa iskopom. Postavljen je i izravnavajući sloj betona na koti 294. Da se postigne veća sigurnost u radu, kao i ekonomičniji rad na crpenju, izveo se novi bunar na višoj koti na kojoj se montirala jaka niskotlačna pumpa, a koja je mogla u slučaju prekida struje da se priključi na gradilišni agregat. Nivo vode u ovom bunaru bio je toliki, da nije dozvoljavao preplavlivanje platoa baterije ostalih pumpi koje su crpile vodu sa nižih kota. Međutim, nekoliko dana prije nego je uređaj na gornjem bunaru počeo funkcionirati, uslijedile su velike kiše i obnovili su se jaki izvori na lijevom boku, te je ponovno dana 15. XII. voda poplavila čitavu građevinsku jamu, a time i onemogućila svaki daljnji rad u toj godini.

1958

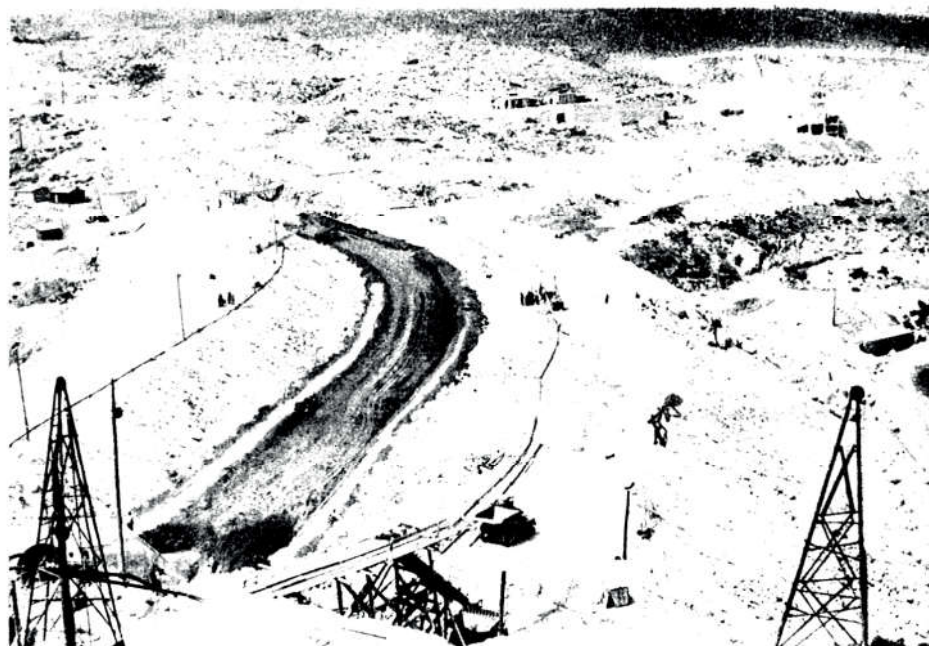
Konsolidacija. Radovi na injekcionoj zavjesi teku normalno. Pristupilo se izvedbi injekcija progušćenja i to iz galerije. Elektrosond je izvršio oko 9.000 m, a Geoistrživanja oko 12.000 m odnosno ukupno 21.000 m. Tako je do kraja godine ukupno završeno 128.000 m injekcione zavjese i pretežni dio injekcija za progušćenje.

Ostali građevinski radovi. Nastavljeni su radovi na bagerovanju Cetine i uređenju bujice Čorina draga. Rad na I. dionici donjeg stroja Vrličke ceste se nastavlja, a izvedena je i polupenetracija na svim dionicama osim oko 3 km na I. dionici.

Temeljni ispust. Ovaj je objekat završen osim manjih radova na krajnjem preljevnom pragu izlazne građevine i sanaciji greda razbijača energije kod regulacionog zatvarača.

1959

Dovodni tunel. Tokom ove godine otpočeta je i završena kosa staza sa ozračnom cijevi, te kućicom zatvarača. Čišćena je ulazna građevina od nanešenog kamenja i mulja i to pomoću ronioca. Pojavile su se i nove pukotine na klizištu, te je izvršeno naknadno uklanjanje materijala. Svi radovi na torkretiranju su započeli u toku V. mjeseca. Rad se zbog jakog prokapljivanja dosta sporo odvijao. Do konca godine je izvršeno ukupno oko 132 m torkreta tunelske cijevi. Na uzvodnom dijelu tunela izveden je samo prvi sloj torkreta kako bi se niže partije zaštitile od vode.



Napredniji stadij nasipanja brane. Proljeće 1958.

1959

Brana. Završena je cesta na kruni brane. Postavljeni su kameni blokovi sa obe strane ceste. Također su završene obe pristupne ceste sa lijeve i desne strane. Time je ovaj objekat (osim rasvjete) potpuno završen.

Preljev. Dovođena je ulazna školjka (bez torkretne obloge), otpočeto je radovima na bučnici, ali ih je trebalo prekinuti uslijed preplavlivanja građevinske jame, kao i pojave klizanja terena na lijevom boku.

Strojarnica. U prvim mjesecima ove godine nastavilo se pokušajima da se sprovede u djelo zamišljeni raspored pumpanja sa dva nivoa što se međutim nije izvelo. U tom je vremenu izvedena i bočna injekciona zavjesa na lijevom kraju iznad građevinske jame strojarnice, a koja je imala zadatak da spriječi dotok vode sa lijevoga boka. Ni ovaj rad nije dao u potpunosti zadovoljavajuće rezultate. Glavni radovi započeli su tek sredinom godine, kada je zabetonirana donja temeljna ploča. Istovremeno je postignuto i od projektanta da učine izvjesne ustupke izvedbi s time, što su donju kotu iskopa lijevog crpnog bunara podigli. Radovi su tek tada uznapredovali, izašlo se iz vode, te je zgrada koncem godine stavljena pod krov. Istodobno su se odvijali i radovi na izgradnji rasklopnog postrojenja 30 kV i 110 kV. Otpočelo se i betoniranjem račve, odvodnog kanala i dovršenjem pristupne ceste.

Konsolidacija. Injekciona zavjesa je praktički završena osim sitnijih radova.

Akumulacija. Maksimalni uspor akumulirane vode za potrebe HE Kraljevac i ispitivanje stabilnosti brane i nepropusnosti zavjese bio je 347,30 m.

1960

Temeljni ispust. Završeno je betoniranje prednjeg praga izlazne građevine, te je izvršena sanacija razbijača energije. Time je ovaj objekat u potpunosti završen.

Dovodni tunel. Tokom VII. mjeseca završeno je torkretiranje preostalog dijela tunnelske cijevi. Isto tako je zabetonirana i račva. Time je i ovaj objekat u potpunosti završen.

Preljev. Završen je potpuni kosi dio žlijeba kao i čitava bučnica. U toku su bili još manji radovi na torkretiranju školjke pred ulazom.

Strojarnica. Završeni su u potpunosti radovi na strojarnici, rasklopnom postrojenju i račvi.

Montaža dizalice 100 t. u strojarnici otpočela je odmah početkom godine, 10. II. otpočeo je rad na spirali prve turbine, te je prvi agregat sinhroniziran sa mrežom 25. IX. Drugi agregat slijedio je 25. XI. Maksimalni postignuti uspor u akumulaciji bio je do jeseni 356,24 m.

Konsolidacija. Vršeni su neki manji radovi kao injektiranje kod preljeva i neke kontrolne bušotine.

Ostali građevinski radovi. Nastavljeni su radovi na regulaciji preostalog dijela korita Cetine pred strojarnicom.

