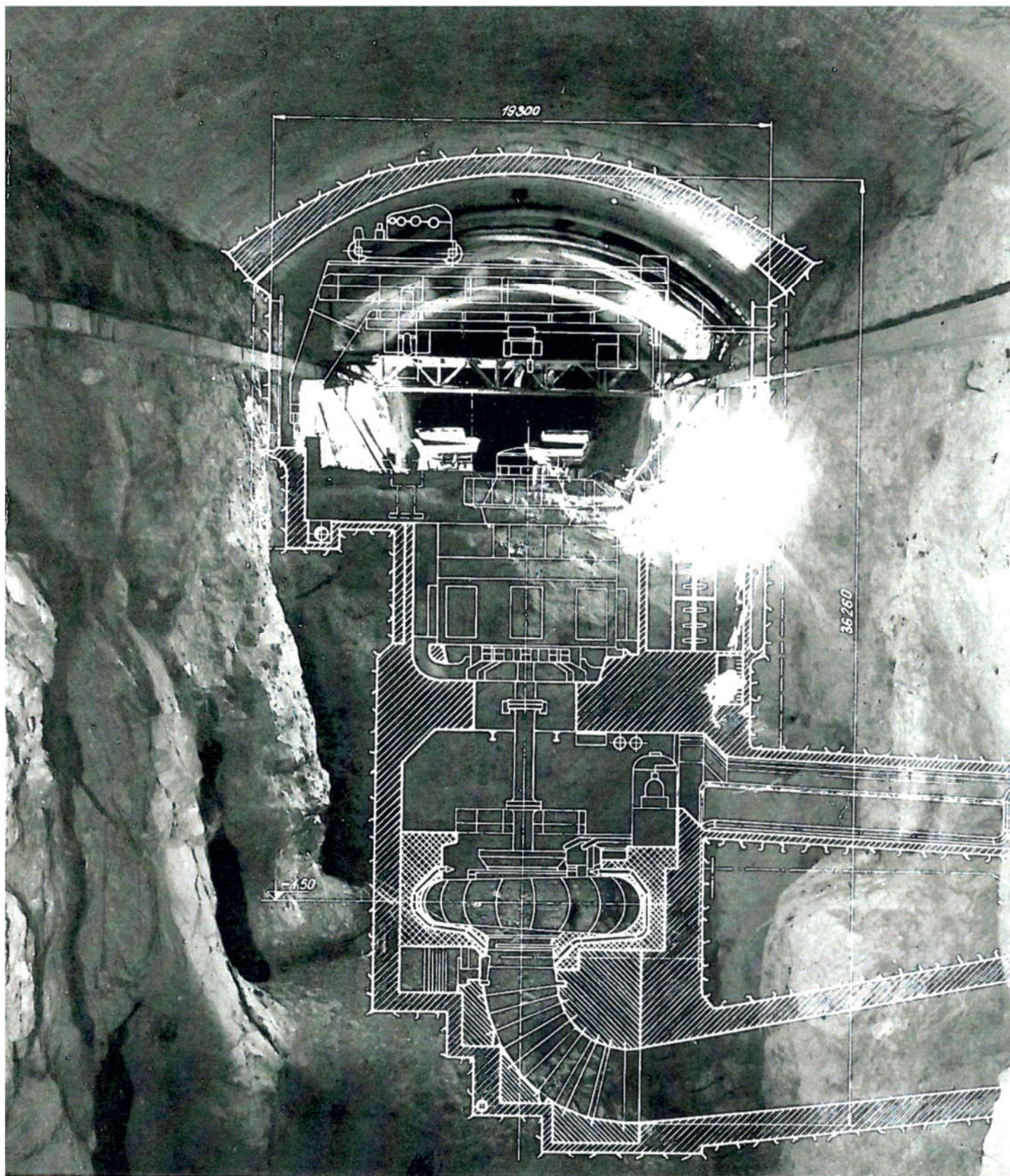




HIDROELEKTRANA »SPLIT«

HIDROELEKTRANA SPLIT

SPLIT 1962

DALMATINSKE HIDROELEKTRANE — SPLIT

A U T O R I

BEGOVIĆ ing KRUNOSLAV

BULIĆ ing IVO

ČERNELČ ing JOŽA

JANAČEK ing VALTER

KUZMANIĆ ing PAŠKO

NARANČIĆ ing VOJISLAV

OUTRATA ing VINKO

PLANČIĆ ing ŽARKO

POŽAR dr ing HRVOJE

REŠTAREVIĆ ing STJEPAN

RUMENOVIC ing JOSIP

SIROTIĆ ing ZVONKO

ŠAMEC ing BRANKO

ŠARF LUDVIK

VUKADIN ing NENAD

U R E D N I K

BUSATTO ing ANTE

T E H N I Č K I U R E D N I K

VIDOVIĆ IVO

Sadržaj

Uvodna riječ

Glavne karakteristike hidroelektrane Split

Širi sliv Cetine – koncepcija energetskeg, poljoprivrednog i rudarskog rješenja

Osnovna koncepcija rješenja hidroelektrane Split

- I Energetski udio prve izgrađene etape sliva Cetine
- II Karakteristike rijeke Cetine i bližeg područja
- III Opis objekata hidroelektrane
- IV Padovi i snaga elektrane
- V Elektromašinska oprema

Izvještaji građevinskih izvođača

- Konstruktor
- Hidroelektra
- Tunelogradnja
- Elektrosond – Geostrage – Geoistraživanja – Istražno

Izvještaji industrije

- Metalna
- Litostroj Titovi zavodi
- Rade Končar

Kretanje troškova izgradnje

Kronologija istražnih i glavnih radova

Spisak poduzeća-graditelja hidroelektrane

A brief Survey of the Split Hydro-electric Project



... Mi smo se sada vratili iz Omiša gdje smo danas pustili u pogon jedan nov veliki objekt, novo djelo stvaralačkih ruku naših radnika, tehničara i inženjera. Moram kazati da smo svi mi, koji smo tamo prisustvovali otvaranju rada hidroelektrane bili veoma impresionirani ovim zaista velikim i tehnički savršeno opremljenim objektom. S ovoga mjesta najtoplije zahvaljujem, u ime vlade Federativne Narodne Republike Jugoslavije, u ime naroda Jugoslavije, u ime svih nas, svim radnicima, tehničarima i inženjerima, svim graditeljima te hidroelektrane na njihovom zaista požrtvovnom radu, blagodareći kome su uspjeli da taj veliki objekt, tako važan za našu zajednicu, izgrade skoro godinu dana prije roka. Ova hidroelektrana ima ogroman značaj za narod ovoga kraja, ali isto tako ima veliki značaj i za čitavu našu socijalističku zajednicu, za sve naše narode. Naša zajednica je ovim mnogo dobila, jer hidroelektrana je po svojim dimenzijama, po proizvodnji elektroenergije veća nego što je bila proizvodnja cjelokupne elektroenergije u staroj Jugoslaviji. Veća je za skoro 600 milijuna kWh...

(Iz govora druga Tita na velikom mitingu u Splitu dana 6 maja 1962)

Govor Milutina Baltića, predsjednika Odbora za privredu Izvršnog vijeća Sabora NR Hrvatske, na proslavi puštanja u pogon HE Split u Zakučcu, dana 6. maja 1962.

Druže predsjedniče, drugovi i drugarice!

Danas smo se ovdje okupili, da na svečan način obilježimo uspješan završetak radova i puštanje Hidroelektrane Split u redovnu proizvodnju.

Ova elektrana u energetskeg sistemu Jugoslavije i Hrvatske, predstavlja do danas, sa svojom snagom od 216 MW u I etapi i svojom proizvodnjom od cca 1.500 milijuna kWh godišnje, najveći objekt u našoj zemlji po instaliranoj snazi i proizvodnji. Isto tako ova elektrana po vremenu izgradnje — nešto ispod četiri godine — i troškovima od 21,5 milijardu — spada u red do sada najjeftinijih i najbrže izgrađenih elektrana u odnosu na instaliranu snagu i proizvodnju.

Naročiti značaj ove elektrane je u tome, što ona na osnovu izgrađenog velikog akumulacionog jezera u Perući od oko 500 milijuna m³ vode može dati elektroenergetskom sistemu Jugoslavije, a posebno zapadnim krajevima zemlje, velike količine jeftine elektroenergije, približno u jednakim količinama kroz cijelu godinu, a naročito može dati veliku proizvodnju baš u ono vrijeme kad ostale protočne elektrane bilo u ljetnim ili zimskim mjesecima nemaju dovoljno vode. Ova njena prednost ispoljila se već u prošloj godini. Hidroelektrana Split, sa ranije dovršenom elektranom Peruća na Cetini i sa ostale dvije velike elektrane na području jadranskog sliva, Trebišnjica i Senj, koje se nalaze u izgradnji sa proizvodnjom u I etapi od cca 5 milijardi kWh godišnje, predstavljat će solidnu elektroenergetsku bazu u cjelokupnoj jugoslavenskoj privredi.

U isto vrijeme, ovaj veliki energetskeg objekt predstavljat će snažnu podršku i osnovu daljnjem industrijskom i privrednom razvoju dalmatinskog područja, koje sve više zauzima vidno mjesto u privrednom razvoju naše zemlje. Izgradnjom dalekovoda Split — Zagreb od 220 kV u dužini od 400 km, omogućen je prijenos velikih količina električne energije iz dalmatinskih basena na kritično konzumno područje na zapadnom dijelu Jugoslavije. Uz ovaj dalekovod i ranije izgrađeni dalekovod Jajce — Zagreb, udareni su na ovom području, čvrsti temelji jedinstvenom jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu.

Sa ekonomskog gledišta hidroelektrana Split, sa svojom proizvodnjom smanjit će angažiranje neekonomičnih i starih termoelektrana i na taj način dati povoljnije uvjete proizvodnje i cijena u čitavom elektroenergetskom sistemu.

Ističući veliki značaj ovog objekta, potrebno je, i pored onog što je rekao drug Šegvić, nešto reći i o njegovim projektantima i graditeljima, iako sam objekt, kojeg su izgradili, o njima najbolje i najljepše govori. Od prvih dana priprema, kao i u toku čitave izgradnje, pristupilo se svim radovima na osnovu detaljnih studija i naučnih ispitivanja svih problema koji su se na ovom objektu pojavljivali. Može se reći, da je to školski primjer kako organizirano i studiozno treba pristupati izgradnji i ostalih industrijskih objekata kod nas, kada tehnički proračuni i projekti i dobro organiziran rad na osnovu njih unaprijed eliminira loše improvizacije i nesolidnosti, koje obično nastupaju svuda tamo gdje nema dobrih

Govor Miroslava Šegvića, direktora poduzeća »Dalmatinske hidroelektrane«

i bude dozvoljeno, da najprije po-

li Vašim prisustvom i što ste odlučnost i značaj za jugoslavensku lovali u njegovoj izgradnji.

li, biti snažan poticaj da još jače pljao Savez komunista s Vama na

te uzidali u temelje ove elektrane.

agustu 1957. godine odluka o izgradnji iste godine proizvede 339 mili-

datak. Ovaj zadatak bio je tim teži, ličnim objektima, proizlazilo da se

ostavljeni rok, dapače i skratiti ga,

goslavije, vjerovali su da će naši iste rezultate, dapače još i bolje od tim pretpostavkama, a oslanjanja skraćivanje rokova.

skih malodušnih stručnjaka, jer se predočena je SIV-u, čiji su je pred-

ripremnosti, a polovinom 1958. godine

omogućilo koncentraciju najboljih radila poduzeća i tvornice sa pod-

godina, što je pored ostalog i omo-

eci rezultati:

linu dana, jer je I agregat pušten e, dok je drugi pušten u pogon

već do danas 603 milijuna kWh. e godine, te da se do kraja 1962. to 1.300 milijuna kWh. Ostvarena ina dinara i donijeti zajednici čistu

0 milijuna dinara, dok stvarni tro- 2.500 milijuna dinara ne može se stacionirani radova u razdoblju 1954.

Peruće) iznosi 1,06 dinara, a prosje- ra, što je ispod polovine prosječne

jali su građevinski radovi. Moralo i podzemna postrojenja u ukupnoj u stijenj Mosora i ugradnju oko

ne učinke, na način da se izmijeni njem radnog procesa.

Društvena zajednica stavila je na raspolaganje potrebna sredstva, a građevinski radnici, iako bez dovoljnog iskustva, zadivljujućom upornošću i požrtvovanjem u vrlo kratkom roku ovladali su savremenom mehanizacijom i u proizvodnji ostvarili nov kvalitetan skok. To očito ilustriraju rezultati i napredovanja, koja su postizavana, kao npr. iskop tunela sa prosječnim dnevnim napredovanjima od 8 – 10 metara, a betoniranje obloge sa 20 m/dan što je ravno evropskim rezultatima.

I proizvođači opreme izvršili su svoj zadatak i opravdali povjerenje te uspješno svladali i takove objekte koji predstavljaju do sada jedinstvene i najveće jedinice ne samo u Jugoslaviji nego i u nizu razvijenih zemalja kao što su npr. generatori snage 108 MW u cijelosti konstruirani i proizvedeni u tvornici »Rade Končar«.

Preorijentacijom na domaću opremu, uprkos skepsi i nepovjerenju ponekih faktora, postignuta je ušteda u deviznim sredstvima od 2.300 hiljada dolara jer je umjesto predviđenih 4 milijuna utrošeno svega 1.700 hiljada dolara te uvoz sveden od predviđenih 55% na 26% cjelokupne opreme. I ovdje je došla do izražaja volja i spremnost naših radnih ljudi da s punom vjerom u vlastite snage rješavaju najteže zadatke.

Tokom izgradnje povremeno su se javljale razne objektivne smetnje i poteškoće, a isto tako i subjektivne slabosti i greške, koje su otežale radove i često iziskivale veće napore i usporavale još bržu izgradnju.

Postignuti rezultati uvelike su ovisili i o pomoći, podršci i saradnji nadležnih državnih i lokalnih organa. Ta pomoć i podrška stalno je ukazivana. Dužnost nam je, da se i sa ovoga mjesta još jednom zahvalimo svim organima, organizacijama i pojedincima na saradnji i pomoći, ističući pri tome da su postignuti uspjesi rezultat zajedničkih napora svih učesnika u izgradnji ovog značajnog objekta.

Stvaralačka sposobnost naših ljudi, došla je do punog izražaja i ovom prilikom i nećemo pogriješiti ako ka-
žemo da bez tog svijesnog napora i jasne perspektive i spoznaje radnih ljudi naše zajednice da stvaraju za sebe i pokoljenja nove vrijednosti, ne bi bilo moguće postići takove rezultate. Na ovom djelu samoprijegorno su radili svi, znajući da tako ostvaruju program Saveza komunista i izražavaju svoju odanost socijalističkoj domovini i drugu Titu. Ta vrijednost svijesnog rada i pregaralaštva bila je odlučujući faktor u ovoj radnoj pobjedi.

Druže Predsjedniče, drugovi i drugarice,

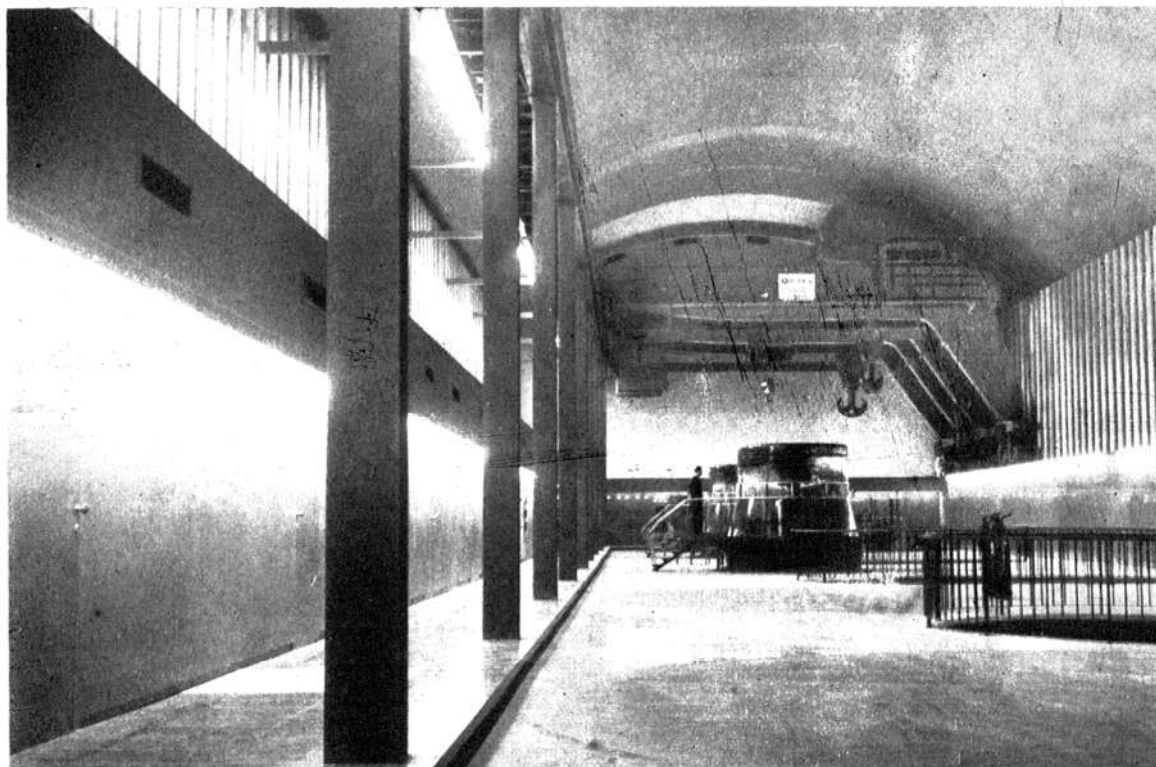
Današnjim puštanjem u pogon ova dva agregata dovršena je prva etapa izgradnje sliva Cetine, kojeg će proizvodnja iznositi oko 1.800 milijuna kWh godišnje, što predstavlja nešto više od 50% ukupnog energetskog potencijala ove rijeke.

Podaci kojima se već danas raspolaže, ukazuju da postoji mogućnost ekonomične izgradnje daljnjih centrala na Cetini i aktiviranja čitavog sistema sliva Cetine sa ukupnom proizvodnjom od preko 3 milijarde kWh uz nisku cijenu koštanja.

Na nama sada leži neposredni zadatak, da dovršimo već započete studije i projekte, nademo najpovoljnije mogućnosti iskorištenja do sada neiskorištenih voda i energetskog potencijala rijeke Cetine, kako bi bili spremni da u momentu kada to ustreba, pristupimo njegovoj realizaciji i tako našoj zajednici osiguramo novu i jeftinu energiju.

Druže Predsjedniče,

Mi smo sretni i ponosni što smo naš osnovni zadatak, izgradnju prve faze HE Split izvršili i što danas možemo ovu elektranu predati Vama, druže Predsjedniče, a preko Vas čitavoj jugoslavenskoj zajednici, pak Vas molim da je izvolite pustiti u pogon.



priprema i odgovarajuće organizacije. I ovoga puta se pokazalo da mi raspolazemo građevinskim poduzećima na izgradnju svih vrsta ovakvih elektroenergetskih objekata na nivou savremenih tehničkih dostignuća u svijetu. Na ovom objektu oni su savladali normative i rokove gradnje i završili ga skoro nepunu godinu dana prije predviđenog roka. Na osnovu iskustava sa ovog objekta, sa ovog gradilišta, već se primijenjuju isti normativi na tunelskim i ostalim radovima na hidroelektranama u Dubrovniku i Senju.

Danas, kada tražimo način kako da još brže pokrećemo naš razvitak unaprijed, iskustva i solidnost u radovima »Konstruktora«, »Tunelogradnje«, »Hidroelektre«, »Rade Končara«, »Litostroja«, »Metalne«, poduzeća za geostraživanje i projektanata, zorno pokazuju da se samo upornim radom na vlastitom usvajanju i usvajanjem savremenih tehničkih dostignuća može osigurati brz razvitak izgradnje naše zemlje. Istina, to nije lak posao, ali on daje podstreka za stvaralaštvo svakome tko želi da nešto uči i stvara, on mobilizira vlastite snage, oduševljava i čini ponosnim naše radne ljude na djela koja stvaraju. Upravo te snage su i do sada, a i ubuduće, rukovodene Savezom komunista i drugom Titom, bile i bit će nosioci garancije naših uspjeha.

Na kraju želim da u ime Izvršnog vijeća Sabora Narodne Republike Hrvatske izrazim zahvalnost i čestitke graditeljima ovoga velikog objekta, sa željom da još uspješnije nastave radove na ostalim gradilištima, da stečena iskustva prenose i na ostale naše radne kolektive.

Govor Miroslava Segvića, direktora poduzeća »Dalmatinske hidroelektrane«

Drugovi i drugarice!

U ovom svečanom času, kada će biti puštena u pogon HE Split, neka mi bude dozvoljeno, da najprije pozdravim Predsjednika FNRJ druga Tita.

Druže Predsjedniče!

Mi smo beskrajno radosni i ponosni što ste ovu našu svečanost uzveličali Vašim prisustvom i što ste odlučili da osobno pustite u pogon ovaj objekt, označujući time njegovu važnost i značaj za jugoslavensku privredu, a dajući na taj način puno priznanje i nama koji smo sudjelovali u njenoj izgradnji.

Mi Vam zahvaljujemo i obećajemo da će nam ova Vaša briga i pažnja, biti snažan poticaj da još jače pognemo na izvršavanju daljnjih zadataka, koje bude pred nas postavljao Savez komunista s Vama na čelu, druže Tito.

Nadalje pozdravljam drugove:

Predsjednika Narodne skupštine NR Srbije, Jovana Veselinova

Predsjednika Sabora NR Hrvatske, dr Vladimira Bakarića

Predsjednika Izvršnog vijeća, Jakova Blaževića

Sekretara za industriju SIV-a, Danila Kekića

kao i ostale ovdje prisutne goste i uzvanike.

Minutom šutnje odajmo počast četrnaestorici drugova koji su svoje živote uzidali u temelje ove elektrane. Slava palim drugovima!

Radi usklađenja energetskih bilansa i pokrića deficita, donesena je u augustu 1957. godine odluka o izgradnji HE Split, s time da bude puštena u pogon 1. VIII 1962. i da do konca iste godine proizvede 339 milijuna kWh.

Izgradnja HE Split u navedenom roku predstavljala je složen i težak zadatak. Ovaj zadatak bio je tim teži, jer je prema dotadašnjim dostignućima i rezultatima postizavanim na sličnim objektima, proizlazilo da se mora računati na znatno duži rok izgradnje.

Međutim, detaljne analize i planovi ukazivali su da je moguće ostvariti postavljeni rok, dapače i skratiti ga, ukoliko bi se pri izgradnji primijenile najsavremenije metode rada.

Graditelji HE Split vjerovali su u stvaralačke snage radničke klase Jugoslavije, vjerovali su da će naši radni ljudi, uz odgovarajuća sredstva i organizaciju rada, moći ostvariti iste rezultate, dapače još i bolje od onih koji se danas ostvaruju u tehnički razvijenim zemljama, pa je pod tim pretpostavkama, a oslanjajući se isključivo na vlastite snage, postavljena i razrađena koncepcija za skraćivanje rokova.

Ta koncepcija, iako je smatrana nerealnom i neostvarivom sa strane nekih malodušnih stručnjaka, jer se tvrdilo da je i rok od 1. VIII o. g. u našim prilikama nemoguće ostvariti, predočena je SIV-u, čiji su je predstavnici odmah prihvatili i pružili svoju podršku.

Sa takovim planovima i namjerama započeti su po kraj 1957. godine pripremni, a polovinom 1958. godine glavni radovi.

Izgradnji HE Split prišlo se je sa općejugoslavenskog aspekta, što je omogućilo koncentraciju najboljih snaga i odgovarajućih kapaciteta iz čitave zemlje, pa su ovu elektranu gradila poduzeća i tvornice sa područja NR: Hrvatske, Slovenije, Srbije, Bosne i Hercegovine i Crne Gore

Izgradnji se prišlo nakon kvalitetnih projektiranja i studija od punih 6 godina, što je pored ostalog i omogućilo kratak rok izgradnje.

Na osnovu takovih priprema, organizacije i zalaganja ostvareni su slijedeći rezultati:

- rok izgradnje ne samo da je ostvaren, nego je i skraćen za skoro godinu dana, jer je I agregat pušten u pogon 26. VIII, a uključen u mrežu 16. septembra prošle godine, dok je drugi pušten u pogon 29. XII prošle godine, a uključen u mrežu 1. februara o. g.;
- puštanjem elektrane u pogon prije predviđenog roka proizvedeno je već do danas 603 milijuna kWh. Planom je bilo predviđeno da proizvodnja započne tek 1. augusta ove godine, te da se do kraja 1962. godine proizvede svega 339 milijuna kWh, dok će biti proizvedeno oko 1.300 milijuna kWh. Ostvarena prekoplanska proizvodnja predstavljat će vrijednost od oko 4.300 milijuna dinara i donijeti zajednici čistu korist od 2.880 milijuna dinara;
- troškovi izgradnje prema projektu iz 1954. bili su predviđeni na 19.000 milijuna dinara, dok stvarni troškovi za potpuno dovršenje iznose 21.500 milijuna dinara. Razlika od 2.500 milijuna dinara ne može se smatrati poskupljenjem izgradnje, jer je prosječan porast cijena investicionih radova u razdoblju 1954. do 1962. znatno veći;
- cijena koštanja kWh proizvedene energije, na pragu elektrane (bez Peruće) iznosi 1,06 dinara, a prosječna cijena kWh uzimajući u obzir Peruću i Kraljevac iznosi 1,46 dinara, što je ispod polovine prosječne jugoslavenske cijene.

Složen i težak je bio put do ovih rezultata. Naročite poteškoće predstavljali su građevinski radovi. Moralo se izvesti vrlo komplicirane zahvate, izraditi pored ostalog tunel i druga podzemna postrojenja u ukupnoj dužini od oko 15 km, što je iziskivalo iskop od oko milijun m³ pretežno u stijeni Mosora i ugradnju oko 300.000 m³ betona.

Da bi se to ostvarilo, bilo je potrebno osigurati velike i konstantne dnevne učinke, na način da se izmijeni tehnologija rada i primijene savremene metode maksimalnim mehaniziranjem radnog procesa.

U spomen drugovima

ZORIČIĆ JURE miner, »Konstruktor«	12. VI 1958.
PETRINIĆ JURE pom. bušač, »Hidroelektra«	30. VII 1958.
KRZNARIĆ JOSO miner, »Hidroelektra«	2. IX 1958.
BRNJETIĆ IVAN šofer, »Hidroelektra«	12. XI 1958.
RALJEVIĆ ANTE poslovoda, »Konstruktor«	4. IV 1959.
HALAVAČ MUHAMED pom. miner, »Konstruktor«	5. VI 1959.
TURKOVIĆ VINKO strojar, »Hidroelektra«	2. X 1959.
HRVATIN NIKOLA pom. bravar, »Tunelogradnja«	4. XI 1959.
ČONDIĆ IVAN miner, »Tunelogradnja«	7. XI 1959.
KRIŽANIĆ BOŽIDAR miner, »Konstruktor«	19. III 1960.
SAVIĆ MILIVOJ miner, »Konstruktor«	7. X 1960.
OKMAŽIĆ MILAN šofer, »Konstruktor«	11. X 1960.
LUŠIĆ JOZO monter, »Metalna«	24. III 1961.
SIČIĆ JOZO pom. radnik, »Konstruktor«	29. IV 1961.

koji se ne mogu radovati završenoj izgradnji

Hidroelektrane Split

Uvodna riječ

Nagao porast potrošnje električne energije u poslijeratnom periodu naše zemlje zahtijevao je da se pristupi najintenzivnijim istražnim radovima koji bi definirali mogućnost izgradnje velikih elektrana. Naročito se osjećao manjak u električnoj energiji na području NR Hrvatske, što se vidi i po tome da se za proteklih deset godina 30 – 40% ukupnih potreba podmirivalo iz elektrana susjednih područja. U takvim prilikama bilo je nužno, da se obrati specijalna pažnja proučavanju mogućnosti iskorištenja vodotoka na području na kojem se razvila velika potrošnja električne energije. Konfiguracija terena i tokovi rijeka u priobalnom pojasu davali su naslutiti da se radi o velikim mogućnostima korištenja vode za proizvodnju električne energije. Jedan od najznačajnijih vodotoka svakako je rijeka Cetina, koja se provlači kroz dalmatinski krš na relativno velikoj nadmorskoj visini, pa su upravo tamo vršeni prvi značajniji istražni radovi.

Danas, kad se hidroelektrana »Split« nalazi u pogonu i kad vidimo osnovne tehničke i ekonomske pokazatelje ovog objekta, logično se postavlja pitanje, zašto se već znatno ranije nije izgradila ova centrala. Jedan od osnovnih razloga sigurno je specifičnost terena, na kojem je trebalo izgraditi cijeli kompleks: branu s akumulacijom »Peruća« korisne zapremnine od pol milijarde m³ te hidroelektranu »Split« sa proizvodnjom preko milijardu petstohiljada kWh godišnje. Kod nas, a niti u svijetu nije do sada ostvarena takova izgradnja na kraškom terenu. Sve je to zahtijevalo opsežne i temeljite istražne radove, kao i krajnje brižnu obradu projekata ovih objekata. Danas možemo konstatirati, da su svi problemi uspješno riješeni i da je skepsa, s kojom su pojedini stručnjaci gledali na uspjeh ovog pothvata, pobijeđena najvećim naporom i savjesnošću naših projekatanta i graditelja.

Pri izgradnji hidroelektrane »Split« građevinska poduzeća i njihovi radnici suočili su se s vrlo složenim problemima radi specifičnih uvjeta gradnje. Tu je bilo borbe s podzemnom vodom, raznih iznenađenja s nesigurnim pećinama i ulošcima mekanog materijala kod velikih iskopa za dovodni tunel i strojarnicu. Po opsegu izvršenih radova to je najveća građevina ove vrsti, koja je do danas izvedena u našoj zemlji. Na ovom su objektu stekli naši graditelji neprocjenjiva i bogata iskustva na radovima ovakove vrsti: napredak podzemnih dnevnih iskopa dosego je evropski prosjek, potpuno se ovladalo mehanizacijom podzemnih radova, usavršena je organizacija građenja, a moglo bi se navesti i čitav niz sličnih podataka, koji su izneseni u pojedinim člancima ove publikacije. Naročito smo zadovoljni da ta iskustva nisu ostala neiskorištena. Veći broj stručnog kadra i kompletna poduzeća prešla su na nove objekte (HE Dubrovnik – HE Senj) te sada u punoj mjeri koriste već stečena iskustva i dalje ih usavršavaju, a to je jedan od važnih rezultata postignutih na gradnji hidroelektrane Split.

Još jedno od značajnih dostignuća na ovom objektu je izrada opreme. Električni generatori od po 108 MW, izrađeni u Tvornici »Rade Končar«, potpuno su domaće konstrukcije, a ipak po svojoj veličini predstavljaju vrhunske jedinice ove vrste i u svjetskim razmjerima. Osim toga ovaj će objekt omogućiti domaćoj elektro-industriji da uz početnu pomoć vanjskih tvornica ovlada i izgradnjom velikih transformatora za najviši napon 220 kilovolta. Slično vrijedi i za turbine »Litostroja«, koje su izvedene uz suradnju inozemne tvornice.

Važno je istaći da su »Dalmatinske hidroelektrane«, kao investitor, uspješno koordinirale radove većeg broja poduzeća na raznim gradilištima, tako da su se radovi za čitavo vrijeme gradnje manje više odvijali po postavljenom programu, a rezultat toga je bio da se objekat mogao staviti u pogon gotovo godinu dana prije određenog roka.

Opsežnost poslova kao i uvjeti pod kojima se ovakovi radovi izvode, i pored velike pažnje posvećene sigurnosti ljudi, nisu nažalost dozvolili da se izbjegnu nesretni slučajevi na radu. U ime investitora i radnika elektroprivrednih poduzeća izražavam posebnu poštu nastradalim radnicima na ovom objektu.

Naročito mi je zadovoljstvo da na ovom mjestu mogu izraziti u ime cijele elektroprivrede Hrvatske punu zahvalnost svim učesnicima ovog značajnog pothvata počevši od izvršilaca istražnih radova, projekatanta, graditelja, isporučioaca opreme i neposrednog investitora. Svi su oni, pojedinačno i zajednički, priložili svoj obol velikom djelu svestrane opskrbe energijom, kao bitnoj osnovici izgradnje našeg socijalističkog društva.

Zagreb, maja 1962.



GLAVNI DIREKTOR
Zajednice elektroprivrednih poduzeća Hrvatske – Zagreb

GLAVNE KARAKTERISTIKE HIDROELEKTRANE SPLIT

AKUMULACIJA »PERUĆA«

Sezonsko izravnanje

Uspor — maksimalni radni	360,00 m.n.m
— maksimalni preljevni	361,20 m.n.m
— minimalni radni	320,00 m.n.m
Volumen — maks. radnog uspora	541,2 hm ³
— min. radnog uspora	31,9 hm ³
— korisni	509,3 hm ³

AKUMULACIJA »PRANČEVIĆ«

Dnevno izravnanje

Uspor — maksimalni radni	273,00 m.n.m
— maksimalni preljevni	273,50 m.n.m
— minimalni radni	263,00 m.n.m
Volumen — maks. radnog uspora	6,8 hm ³
— min. radnog uspora	2,4 hm ³
— korisni	4,4 hm ³
Energetska vrijednost korisnog volumena	
— sezonske akumulacije	305.000 MWh
— dnevne akumulacije	26.400 MWh

HIDROELEKTRANA

Brutto padovi — maks./srednji/min.	270,0/268,0/261,1 m
Netto padovi: — maks. kod 50 m ³ /s	265,1 m
— srednji kod 200 m ³ /s	250,4 m
— min. kod 200 m ³ /s	243,5 m
Konstruktivni pad turbine	250,4 m
Instalirani protok (za 4 jednaka agregata)	200 m ³ /s
Instalirana snaga — prva/druga etapa	216/436 MW
Prirodni protok — tridesetgodišnji srednji	107,5 m ³ /s
Srednji ekvivalent protoka	2160 kW, s/m ³
Srednji energetske ekvivalent	0,60 kWh/m ³
Broj agregata — prva/druga etapa	2/4
Nazivna snaga turbine	150.200 KS
Prividni učin generatora	120.000 KVA
Faktor snage	0,9
Broj okretaja agregata	300 o/min
Težina — jedne turbine	351,5 tona
— jednog generatora	601,2 tona
— jednog predturbinskog zatvarača	106,6 tona
— jedne tlačne cijevi	537,3 tona
— hidromehaničke opreme	1.107,6 tona
— sveukupne opreme i konstrukcija	6.949,5 tona
Brana »Prančević« — dužina gravitacionog dijela	150,0 m
— visina od temelja do kolnika mosta	35,0 m
— volumen betona	56.856 m ³
— 100 godišnja voda (bez utjecaja akumulacije Peruća)	800 m ³ /s
— evakuaciona moć ispusnih organa uz maksimalni radni uspor	1.200 m ³ /s
Dovodni tunel — dužina	9.570 m
— svjetli promjer	6,1 m
Tlačni cjevovodi — vertikalna visina	213,4 m
— svjetli promjer	3,5 m
Podzemno postrojenje — tlocrt	(18,5×102+16,0×44,0 m
— maks. visina iskopa	38,0 m
— dužina pristupnog tunela	323,0 m
— dužina kabelskog tunela	468,0 m
— dužina odvodnog tunela	342,0 m
Odvodni kanal — dužina	700 m
Sveukupno iskopi	1.400.000 m ³
Sveukupno betoni	330.000 m ³

ENERGIJA

	I etapa	II etapa
Prosječna godišnja	1575,0	1983,0 GWh
Konstantna	1159,7	614,0 GWh
Varijabilna	415,3	1369,0 GWh
Zimska	1014,8	1405,6 GWh
Ljetna	560,2	577,0 GWh
Danja	1130,0	1747,5 GWh
Noćna	445,0	235,5 GWh

Širi sliv Cetine

KONCEPCIJA ENERGETSKOG, POLJOPRIVREDNOG I RUDARSKOG RJEŠENJA

Uvod

Topografskim smještajem, kao i raspoloživim količinama vode, rijeka Cetina zajedno s vodotocima svog šireg sliva predstavlja energetska potencijal prvorazrednog značaja.

Cetina je izrazito kraška rijeka, čiji je bujični karakter donekle umanjen podzemnim retencijama; kao i retardacijom u podzemlju i u kraškim poljima. Protok se povećava od njenog izvorišta, pa do Trilja gdje postiže srednju godišnju vrijednost od 107,5 m³/s. U svom donjem toku Cetina ne prima ni jedan značajni pritok.

Šire područje sliva rijeke Cetine prostire se središnjim dijelom Dinarskog spleta. Ono obuhvata visoko položena kraška polja (700 — 1200 m nad morem) jugozapadne Bosne: Livanjsko sa Buškim Blatom, Duvanjsko, Šujičko i Kupreško te Gla-

močko. Šire, kao i neposredno slivno područje rijeke Cetine tipična je kraška oblast sa svim njenim popratnim fenomenima: s ogoljelih su brdskih površina (usljed devastacije šuma) voda i vjetar isprali plodno tlo i nanijeli ga u niže predjele — kraška polja. Zato je i pored visokih padavina (oko 1.400 mm u prosjeku) u ovoj oblasti, površinski tok voda relativno slab, dok naprotiv postoji vrlo bogata razgranata mreža podzemne cirkulacije. S druge pak strane, nepovoljan raspored oborina, obilje u jesen i proljeće, odnosno dugotrajne ljetne suše, prouzrokuje povremeno plavljenje nižih dijelova spomenutih polja, što se redovito događa kada dotok premaši kapacitet propuštanja podloge odnosno bokova navedenih depresija.



Hidroelektrana Kraljevac

Rezultat svega je krajnja zaostalost ovog područja, koje se ubraja među najnerazvijenija područja Jugoslavije. Problem koji se sastoji u ublažavanju ekstremnih pojava hidrološkog režima voda, prelazi okvire jedne privredne grane i nameće se kao općeprivredni i društveni. Pošto se, barem za sada, ne može efikasno utjecati na režim padavina, treba sve mjere usmjeriti na otok voda. Osnovni princip vodoprivrednog rješenja treba tražiti u »zadržavanju potrebne količine zahvatljivih voda na što većim nadmorskim visinama, te kontroliranom korištenju ovako zahvaćenih voda za energetske i poljoprivredne svrhe«. Time se istodobno ublažavaju dva hidrološka ekstrema, tj. poplava i suša. Dosadašnji vodoprivredni zahvati, osim izgradnje kompleksa Peruća, svodili su se na pokušaje melioriranja pojedinih polja ili njihovih dijelova i pročišćavanja ponora, što je pak imalo za posljedicu povećanje vodnih valova u niže ležećim poljima.

Savremena iskustva na rješavanju ovakvih problema u kraškim terenima, uz postignuti napredak tehnike injektiranja (do ekonomski opravdane visine ulaganja) omogućuju stvaranje velikih akumulacionih basena i na ovakovim propusnim terenima, na što se prije nije moglo ni pomišljati.

Energetika

Najveći dio energetskeg potencijala rijeke Cetine koncentriran je u njenom donjem toku, gdje se ona razvila u obliku oštrog luka. Tu se već 1912. sagradila jedna od najstarijih naših elektrana — hidroelektrana »Kraljevac«, koja koristi pad slapa Gubavice, uz instalirani protok od 80 m³/s. Time se iskoristio samo najprimamljiviji dio raspoloživog pada Cetine, ne vodeći računa niti o iskorištenju cijelog vodotoka, niti pak o njenom vodnom izravnanju. Neujednačeni karakter vodnog režima Cetine značio je kolebljivu produkciju ove elektrane te nije mogao, osobito nakon oslobođenja, zadovoljiti zahtjevima razvijene potrošnje. Sve je ovo ukazivalo na potrebu izgradnje nekoliko krupnih daljinskih akumulacija u gornjem toku Cetine, odnosno u kraškim poljima njenog šireg sliva. Nakon opsežnih istražnih radova u razdoblju od 1947. do 1954. godine, počeli su radovi na kompleksu Peruće, koji je uključivši i pribransku hidroelektranu snage 42 MW, dovršen u ljeto 1960. Zatim je u ljeto 1961. puštena u pogon hidroelektrana Split, nakon četiri godine gradnje.

Međutim korisni sadržaj akumulacije Peruća od 509 milijuna m³ vode predstavlja cca 14% ukupno raspoložive vode rijeke Cetine (3,6 milijardi m³) na glavnoj stepenici nizvodno od Sinjskog polja. Osim toga akumulacija Peruća može samo djelomično utjecati na vodni režim, pošto Cetina prima

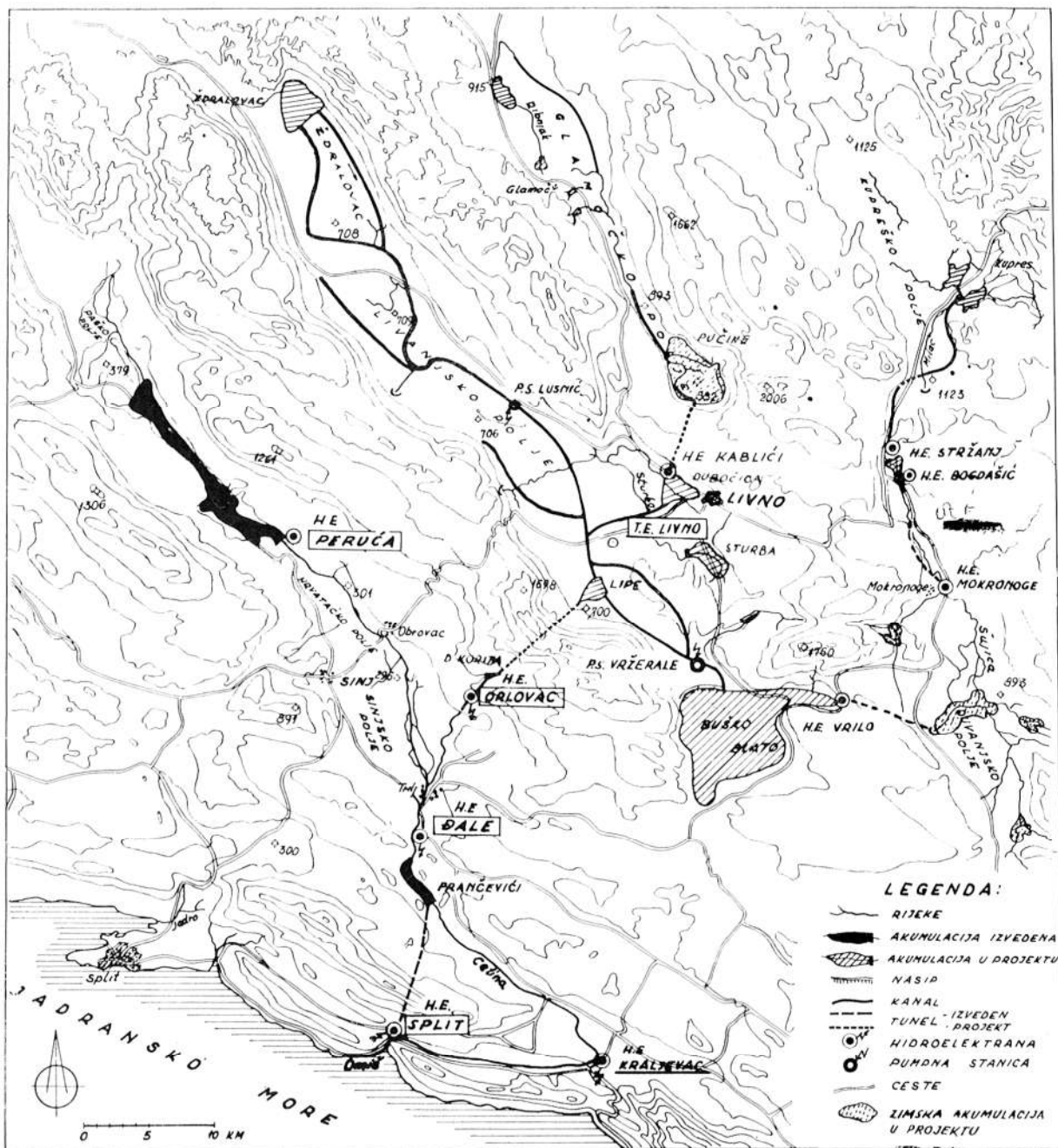
znatan dio voda tek nizvodno. Zbog toga se, radi potpunijeg vodnog izravnanja Cetine za HE »Split« (vidi i poglavlje »Energetski udio prve izgrađene etape sliva Cetine«), kao i zbog korištenja glavne visinske stepenice između Livanjskog i Sinjskog polja, nameće potreba za izgradnjom akumulacije na gornjem horizontu i na kraškim poljima.

Na temelju dosadašnjih geoloških studija fiksirana su pouzdana područja i uže problematičnije zone, na kojima se detaljnije istražuje, a koja će omogućiti da se donesu konačni geotehnički zaključci. Međutim već sada se može sa opravdanim pouzdanjem gledati na mogućnost otješnjenja područja budućih akumulacija.

Kao najosnovniji podatak raščišćeno je uglavnom pitanje hidrologije. Vode kraških polja šireg sliva Cetine, svele b² se u centralni akumulacioni basen Buško Blato kapaciteta 600 — 700 milijuna m³ vode. Pad od 410 m, između horizonta Livanjskog polja i Cetine na Sinjskom polju koristio bi se na energetske stepenice »Orlovac«. Osim toga bi se koristio i energetski potencijal voda s viših horizonata navedenih kraških polja na njihovu putu prema Buškom Blatu u čitavom nizu manjih elektrana: HE »Stražanj«, HE »Vrilo«, HE »Kablić« itd. Po trasi puta voda sa viših polja prema Buškom Blatu izveo bi se i niz akumulacija, koje bi omogućile optimalno dimenzioniranje dovodnih organa i elastičan rad spomenutih manjih elektrana. Ove bi akumulacije zajedno sa akumulacijom Buško Blato osigurale inverzan rad hidroelektrane »Orlovac«, tj. maksimalan u sušnom periodu, kada je energija najdragocjenija, a potpuno izgrađena hidroelektrana »Split« dala bi tada kvalitetno bolji raspored energije.

Kao što je spomenuto, glavnina raspoloživih voda nalazi se na horizontu Livanjsko polje — Buško Blato. Za prihvaćanje velikih valova i odvođenje spomenutih voda u svrhu energetskeg korištenja na hidroelektrani »Orlovac«, predviđa se ostvarenje niza akumulacija, te čitavog sistema dovodnih kanala. Glavni dovodni kanal započinje na krajnjem sjeverozapadu kod akumulacije Ždralovac (sadržine 5 milijuna m³) da bi vijugajući i povremeno se uklapajući u formirano korito postojećih vodotoka dostigao pumpnu stanicu kod sela Lusnić, odakle nastavlja bilo direktno prema kompenzacionom basenu Lipa, bilo da se preko pumpne stanice Vržerale kod Kraljičinog nasipa voda akumulira u Buško Blato.

Akumulacija Buško Blato predstavljat će centralno prikupište voda ovih polja i dobila bi se nadvišenjem postojećeg prirodnog Kraljičinog nasipa za oko 8 m. Ovdje se zapravo radi o nadvišenju i ustaljenju već postojećeg prirodnog periodičnog



jezera, u koje utiče potok Ričina, a koje se drenira kroz ponorsku zonu na jugu odnosno jugozapadu. Voda se akumulira kada dotok premaši kapacitet gutanja ponora. Potrebno je da se ova prirodna depresija nadvisi i otijesni.

Predviđeno je da se pretežno za natapanja i za korištenje manjih dimenzija dovodnih organa izvedu još dvije akumulacije na ovom horizontu i to retencija Dubočica kod Livna sadržine oko 30

milijuna m^3 te akumulacija Sturbe sadržine 35 milijuna m^3 . Obe ove akumulacije bile bi odgovarajućim kanalima priključene na centralnu mrežu kanala.

Sa pomenutog kompenzacionog basena Lipe, gdje se nalazi zahvat, voda bi se provodila tunelom promjera 5,0 metara dužine 8,5 km kroz masiv Kamešnice do kompenzacionog basena Donja Korita s druge strane brda. Tu bi se uz pomoć

kamene nasute brane mogao ostvariti manji kompenzacioni basen u zamjenu za basen Lipa. Odatle bi se nastavilo tunelom istoga profila dužine 2 km da bi se preko vodne komore i tlačnog cjevo-

voda promjera 3,60 metara došlo do strojarnice koja bi se smjestila negdje na potezu nedaleko od sela Rude do izvora potoka Rude u horizontu Sinjskog polja.

Elektroenergetska postrojenja šireg sliva Cetine

Naziv	Instalirana snaga MW	Proizvodnja GWh			
		Sadašnje stanje	Budućće stanje		
			Nakon HE Split I i II	Nakon HE Orlovac	Dolpuna izgradnja
HE Kraljevac	68	149,8	18,3	6,5	6,5
HE Peruća	41,6	155,7	155,7	130,3	130,3
HE Split	216 432	1575,0	1983,0	2026,6	2026,6
HE Orlovac	183	—	—	743,9	743,9
HE Dale	32	—	—	173,0	173,0
male HE	40	—	—	—	163,4
TE Livno	128	—	—	—	846,0
Ukupno	708,6/924,6	1880,5	2157,0	3080,3	4089,7

Investiciona ulaganja u izgradnji akumulacije Buško Blato, sistema dovodnih kanala i ostalih manjih akumulacija te hidroelektrane »Orlovac« predviđaju se u iznosu od 35 milijardi dinara.

Poljoprivreda

Nadmorska visina, opće klimatske prilike, neravnomjeran raspored oborina kao i ostale karakteristike vodnog režima ne odgovaraju potrebama poljoprivrednih kultura koje u toku ljeta trpe od čestih suša, dok su u periodu jesen — zima — proljeće izložene dugotrajnim poplavama. Od ukupne poljoprivredne površine u Livanjskom polju povremeno je plavljeno ili zamočvareno 82% površine, u Duvanjskom 59%, u Glamočkom 27%, a u Kupreškom 20%

Stočarstvo koje još uvijek predstavlja vodeću granu poljoprivredne proizvodnje, uslijed neuravnoteženosti proizvodnje stočne hrane na poljskim i planinskim površinama izloženo je kolebanju.

Pitanje obrane od poplava moglo bi se u tehničkom smislu riješiti izgradnjom moćnih evakuacionih organa (tunela) i time vodne valove usmjeriti u susjedne niže slivove. Ovo bi značilo orijentaciju na pasivno rješavanje problema velikih voda. Svestrano vodoprivredno rješenje na ovakvim načelima nije moguće, jer se ne bi postiglo izravnjanje vodnog režima (a to je bit cijelog problema) nego bi se umanjio i sadašnji efekat prirodnih retenzija na pojedinim horizontima. Jedino ispravno rješenje je princip zadržavanja (pomoću akumulacija odnosno retenzija) velikih

voda još prije njihovih pojavljivanja na datom horizontu te njihovo dirigitirano puštanje.

Pošto bi se predviđenim energetske zahvatima uglavnom riješio problem poplava na oko 34.000



Livanjsko polje



Hidroelektrana i akumulacija Peruća

ha plavljenih površina, ostaje da se odvodni daljnjih 38.000 ha i navodni oko 36.000 ha poljoprivrednih površina.

Prema prethodnim proračunima proizlazi, da je za navodnjavanje u sušnom periodu potrebno osigurati oko 100 milijuna m³ vode uz maksimalni netto hidromodul od 0,35 l/s/ha i netto normu navodnjavanja od oko 2.800 m³/ha godišnje. Navodnjavalo bi se umjetnim kišenjem.

Obzirom na geografski položaj i pedološke prilike, postojanja prostranih planinskih pašnjaka u zaletu poljskih površina, kao i tržišne uvjete, prihvaćena je orijentacija ka stočarstvu kao vodećoj grani proizvodnje.

Uporedna tabela sadašnjeg i perspektivnog stanja poljoprivrednih površina kraških polja sa strukturom korištenja

Površina	Sadašnje stanje	Perspektivno stanje
Ukupna površina polja	80.000 ha	80.000 ha
Poljopr. površine ukupno	72.700 „	58.300 „
oranice	13.050 „	46.300 „
livade	45.550 „	6.700 „
pašnjaci	14.100 „	5.500 „
navodnjavano	—	36.100 „
poplavna površina	34.000 „	— „
akumulacije i retenzije	—	12.400 „

Uporedna tabela stočarske proizvodnje i tržišnih viškova

Vrijednost proizvodnje u milijardama dinara	Sadašnje stanje	Perspektivno stanje
Brutto vrijednost moguće srednje godišnje proizvod.		
biljna	1,270	8,680
stočarska	1,920	13,040
Ukupno:	3,190	21,720
Vrijednost tržišnog viška		
biljna	0,060	0,700
stočarska	0,600	8,900
Ukupno:	0,660	9,600

Prema tome bi se ukupna vrijednost poljoprivredne proizvodnje povećala skoro 7 puta, dok bi ukupna vrijednost tržišnog viška porasla preko 14 puta.

Za ostvarenje ove proizvodnje potrebna su investiciona ulaganja od ukupno oko 13,5 milijarda dinara, od čega otpada na odvodnju sa putnom mrežom 3 milijarde dinara, a na navodnjavanje 10,5 milijarda dinara.

U ovaj račun nisu uzeta u obzir sredstva potrebna za obranu od poplava, izravnjanja voda i glavne derivacije, jer se time isključivo tereti energetika, iako pojedini energetske objekti (kao na primjer

akumulacija Ždralovac, Dubočica i djelomično Sturba) imaju pretežno poljoprivredno značenje. Ovo ostaje otvoreno i u danom će momentu biti pitanje sporazuma između odgovarajućih privrednih grana.

Rudarstvo

Kako je i pretežni dio područja skoro redovito plavljen, to je i za korištenje rudnog blaga jedan od preduvjeta uređenje vodnog režima. Zahtjevi rudarstva se prema tome moraju uključiti u opće vodoprivredno rješenje.

Optimalno korištenje jedanput izgrađenog hidroenergetskog potencijala rijeke Cetine zahtijeva saradnju određenog procenta termoenergije i po snazi i po proizvodnji.

Dosadašnji istražni radovi ukazali su prvenstveno na bogate naslage dobrog lignita. Ističu se nalazišta kod Prologa i u području Čelebića u Livanjskom polju, te Kongora u Duvanjskom polju. Ukupne rezerve na Livanjskom polju cijene se na oko 800 milijuna tona. Do sada istražene rezerve proloških lignita prostiru se na površini od oko 40 km² na dohvatljivim dubinama. Donja im je kalorična vrijednost 3000 kcal/kg. Utvrđene rezerve iznose: kategorija B oko 59.000.000 tona, kategorija C oko 7.500.000 tona i kategorija C₂ oko 200.000.000 tona. Slojevi su prikladni za uspješnu i ekonomičnu eksploataciju, uz uvjet potro-

šnje u njihovoj neposrednoj blizini jer bi duži transport svakako doveo u pitanje ekonomičnost eksploatacije, utoliko više što je ta oblast za sada povezana samo drugorazrednim cestama uz svlađavanje visokih planinskih prevoja.

Izrađen je investicioni elaborat za rudnik lignita kod Prologa čiji bi kapacitet od oko 600.000 tona godišnje mogao potpuno zadovoljiti potrebe termoelektrane snage 130 MW, a koja bi se podigla nedaleko jugoistočnog ruba ovog nalazišta.

Podzemna eksploatacija spomenutog ležišta i to otvaranjem niskopa po padu sloja, osim ekonomskog razloga omogućila bi da se poveća kapacitet rudnika u vrlo kratkom roku u slučaju da se za to ukaže potreba. Rad u rudniku bio bi visoko mehaniziran: iskop pomoću transportnih traka, čelična podgrada itd. Pošto bi TE Livno predstavljala (sa oko 90%) glavnog potrošača, to bi se ugalj za njene potrebe drobio na granulaciju od 0 do 40 mm.

Potrebna investiciona ulaganja za kapacitet od 600.000 tona/god., su oko 3,4 milijarde dinara, iz čega proizlazi, da bi troškovi izgradnje po toni godišnje produkcije iznosili oko 5.500 dinara, što predstavlja normalnu visinu troškova. Prosječna bi pak cijena koštanja po toni proizvedenog lignita iznosila 1.900.— din/tona, dok bi se prodajna cijena kretala oko 2.900.— din/tona, a to je još uvijek ispod jugoslavenskog prosjeka.

Osnovna koncepcija rješenja

HIDROELEKTRANE SPLIT

I. ENERGETSKI UDIO PRVE IZGRADENE ETAPE SLIVA CETINE

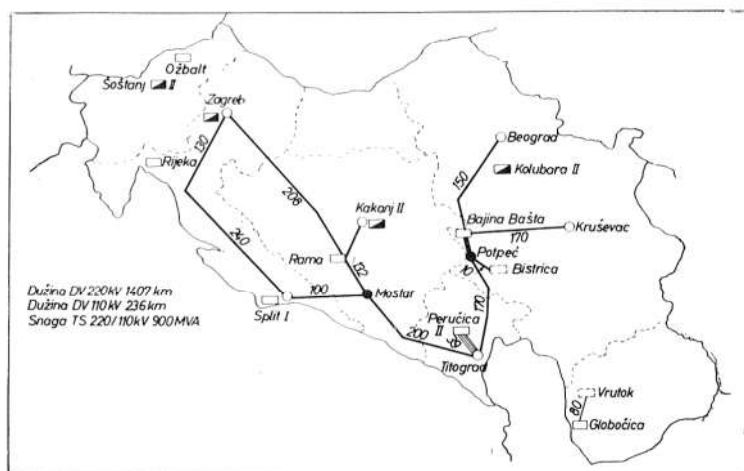
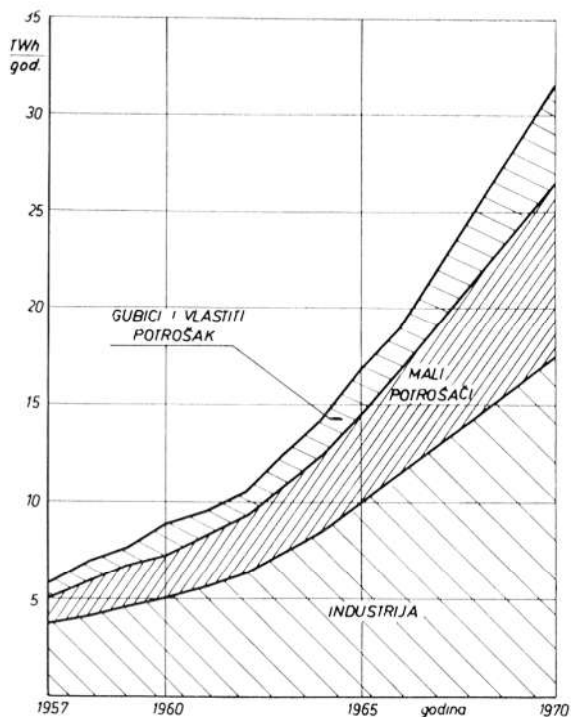
Nakon stavljanja u pogon prvih većih hidroelektrana (Vinodol, Jablanica, Mavrovo, Zvornik, stepenice na Dravi), čija je izgradnja započeta neposredno ili u prvim godinama nakon oslobođenja zemlje, bilo je potrebno započeti izgradnjom novih elektroenergetskih izvora radi sve većeg i sve bržeg porasta potrošnje električne energije u Jugoslaviji. U tom momentu postojale su dvije koncepcije: prva, gradnja manjih hidroelektrana za opskrbu svog neposrednog područja i druga, gradnja velikih hidroelektrana, koje bi omogućile izgradnju čvrsto povezanog elektroenergetskog sistema Jugoslavije. Prema prvoj koncepciji trebalo je započeti izgradnjom većeg broja hidroelektrana na različitim slivovima, jer bi se na taj način povećala sigurnost opskrbe potrošača i smanjile investicije potrebne za izgradnju mreže najviših napona. Zastupnici druge koncepcije ukazivali su na ekonomičnost izgradnje velikih hidroelektrana i pored toga što se energija proizvedena u tim hidroelektranama ne može konzumirati u njihovoj blizini, pa će to tražiti izgradnju mreže 220 kV. Takovim rješenjem postiže se u krajnjoj liniji veća sigurnost opskrbe potrošača — i pored činjenice što su vodovi izvrnuti atmosferskim utjecajima — jer je u slučaju kvara moguća veća pomoć među pojedinim dijelovima sistema, pa je potrebna i manja rezerva u sistemu kao cjelini.

Prihvatanje koncepcije o opravdanosti izgradnje velikih hidroelektrana dovelo je do odluke o izgradnji prve etape hidroelektrane Split, a nakon toga i do odluke o početku izgradnje i drugih velikih hidroelektrana: Trebišnjica (Grančarevo i Dubrovnik), Senj i Bajina Bašta.

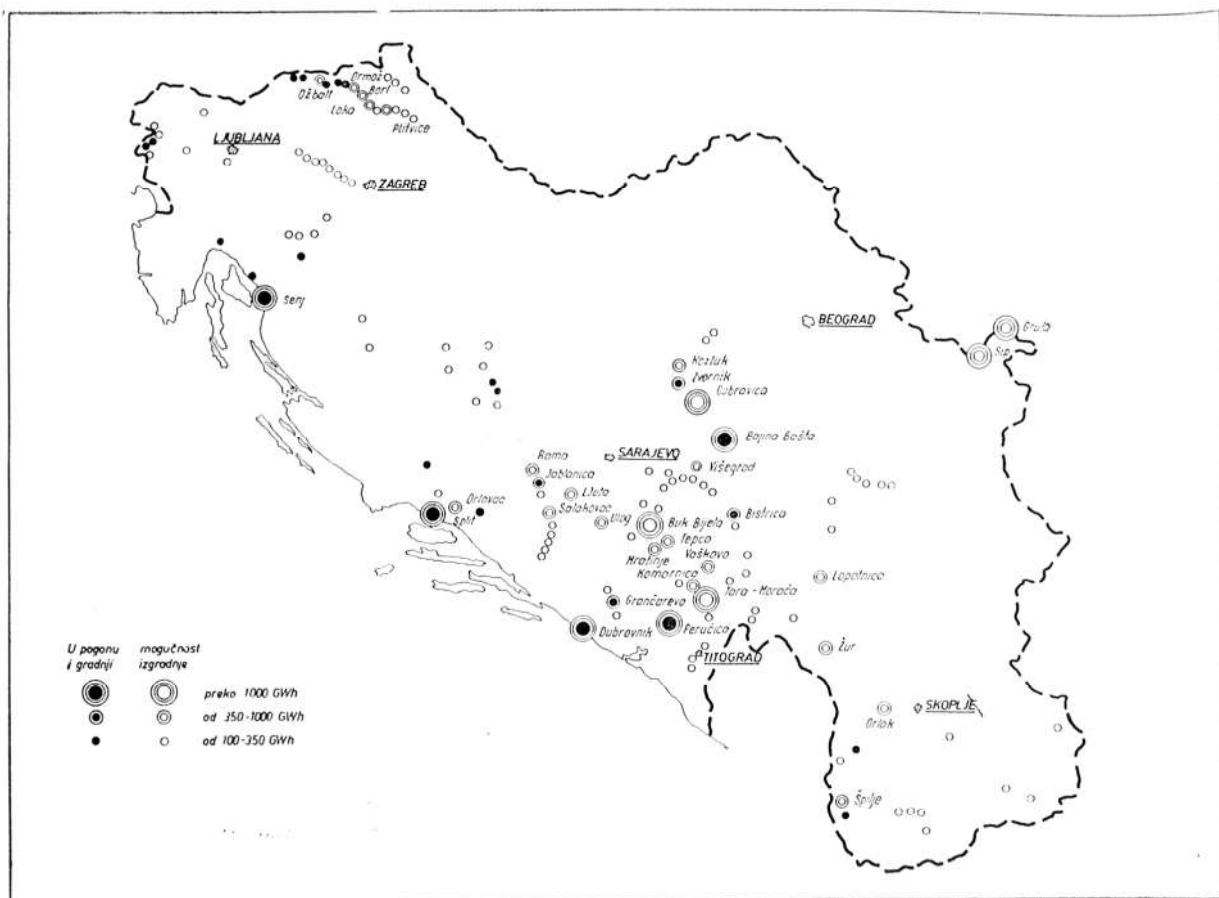
Takva orijentacija izgradnje novih hidroelektrana uvjetovala je i izgradnju mreže 220 kV, koja je danas u punom razvoju i koja će za nekoliko godina povezati međusobno sve velike elektroenergetske izvore i sva jaka konzumna područja.

U momentu početka gradnje hidroelektrane Split bila je već skoro izgrađena brana Peruća na gornjem toku Cetine. Akumulaciono jezero Peruća omogućuje znatno povećanje proizvodnje hidroelektrane Split u ljetnom razdoblju pa se postiže izravnani proizvodnja tokom godi-

Ostvarena i predvidiva potrošnja električne energije u Jugoslaviji



Mreža 220 kV, prva etapa izgradnje

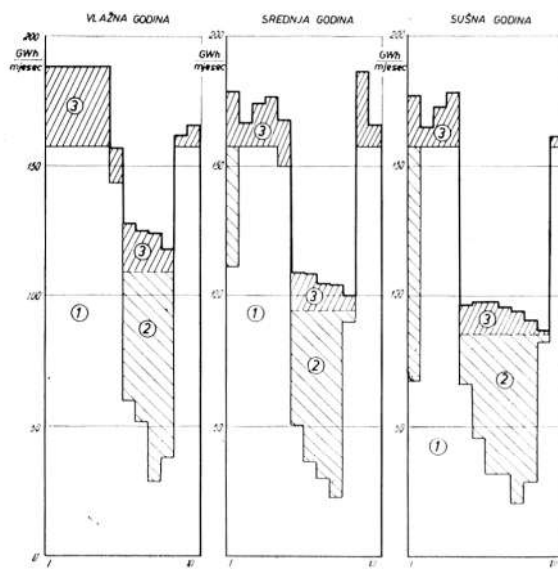


Hidroelektrane izgrađene, u gradnji i moguće s godišnjom proizvodnjom od 100 i više GWh

ne, što svakako povećava energetska vrijednost prve etape izgradnje sliva Cetine.

Kao što početak izgradnje hidroelektrane Split predstavlja prekretnicu u daljnjem razvoju izgradnje elektroenergetskog sistema Jugoslavije, tako i stavljanje u pogon njene prve etape predstavlja prekretnicu u pogonu našeg elektroenergetskog sistema. Njena snaga i moguća proizvodnja tolika je, da ima utjecaja na prilike u cijelom sistemu. Snaga hidroelektrane Split i Peruća predstavljaju naime oko 20% od ukupne snage i preko 25% od ukupne moguće proizvodnje svih hidroelektrana koje se sada nalaze u pogonu na teritoriju Jugoslavije.

Promatrajući elektroenergetsku bilancu NR Hrvatske opaziti ćemo, da će hidroelektrana Split u prvim godinama pogona predstavljati daleko najznačajniji elektroenergetski izvor. Moguća proizvodnja



Raspored moguće proizvodnje HE Split bez akumulacije Peruća, s vodama iz akumulacije Peruća i moguće proizvodnje HE Peruća u tri karakteristične godine

- ① Moguća proizvodnja HE Split bez akumulacije Peruća
- ② Povećanje proizvodnje HE Split radi akumulacije Peruća
- ③ Moguća proizvodnja HE Peruća

hidroelektrana Split i Peruća dvostruko je veća od svih ostalih hidroelektrana na području NR Hrvatske. Karakteristično je da se stavljanjem u pogon hidroelektrane Split pojavljuje višak energije u NR Hrvatskoj.

Uloga hidroelektrana Split i Peruća u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije vidljiva je iz odgovarajućih slika koje prikazuju njihov položaj u vlažnoj, srednjoj i sušnoj godini. Zimi i u proljeću sva energija (ili najveći dio energije) koristi se za pokrivanje konstantnog dijela dijagrama opterećenja, dok se u ljetnim i prvim jesenskim mjesecima većina energije može upotrijebiti za zadovoljenje varijabilne potrošnje. U vlažnim godinama veliki se dio proizvodnje ostvaruje kao konstantna energija, dok se u sušnim godinama otprilike samo polovina ukupne energije mora proizvesti kao konstantna energija. U prosjeku u hidroelektrani Split $\frac{3}{4}$ otpada na konstantnu, a $\frac{1}{4}$ na varijabilnu energiju. Na slici je vidljiv i raspored proizvodnje hidroelektrana Split i Peruća tokom godine. U prosjeku u kišnom razdoblju (novembar — maj) hidroelektrana Split proizvodi $\frac{2}{3}$, a u sušnom razdoblju (juni — oktobar) oko $\frac{1}{3}$ od ukupne godišnje proizvodnje.

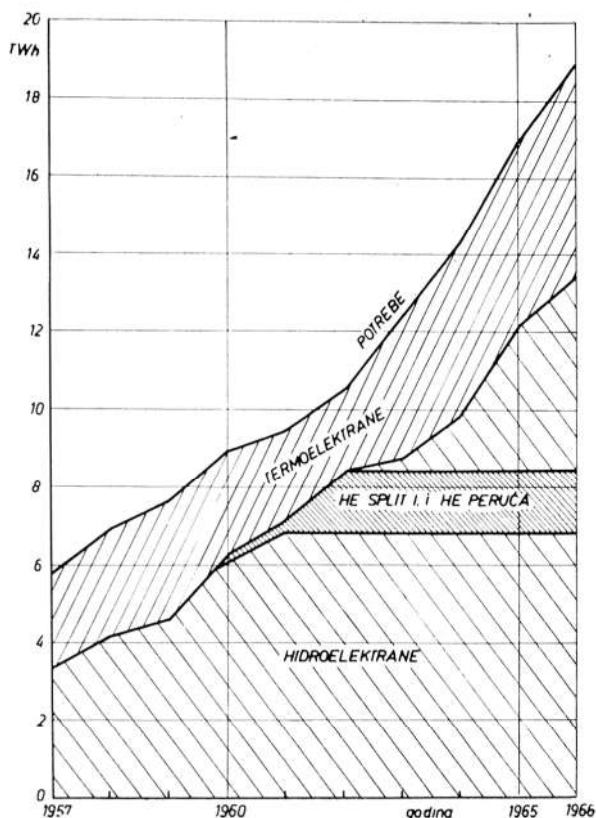
Da se još ukaže na ulogu hidroelektrana Split i Peruća u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije, prikazan je njihov položaj u mjesečnim krivuljama trajanja opterećenja sa dva zimska mjeseca i dva ljetna mjeseca.

Prema tome je hidroelektrana Split u osnovi temeljna hidroelektrana.

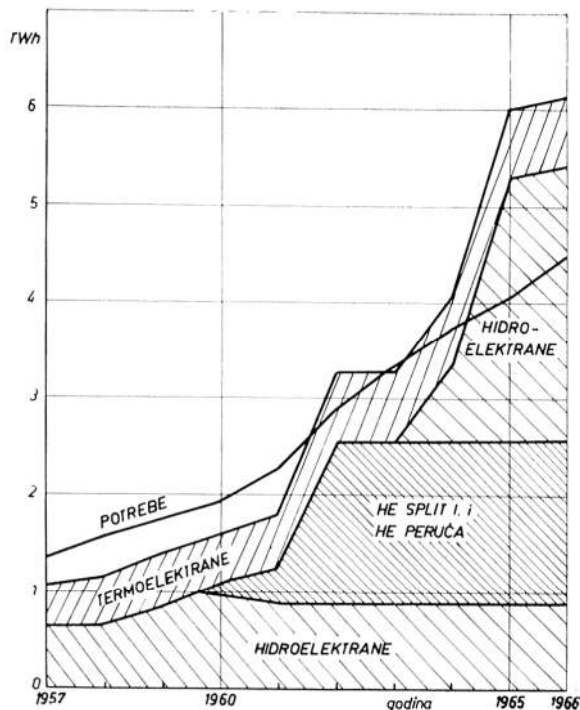
Takva uloga hidroelektrane uvjetovana je činjenicom, da je danas izgrađena samo prva etapa. Izgradnjom i druge etape — kad to bude opravdano i potrebno — bit će omogućeno da se od ukupne proizvodnje više od $\frac{2}{3}$ proizvode kao varijabilna energija, pa će se tada ona pretvoriti u vršnu hidroelektranu.

Izgradnjom druge etape povećat će se međutim uglavnom proizvodnja u kišnom razdoblju, jer se tada i pojavljuju velike vode, koje se ne mogu iskoristiti u prvoj etapi izgradnje.

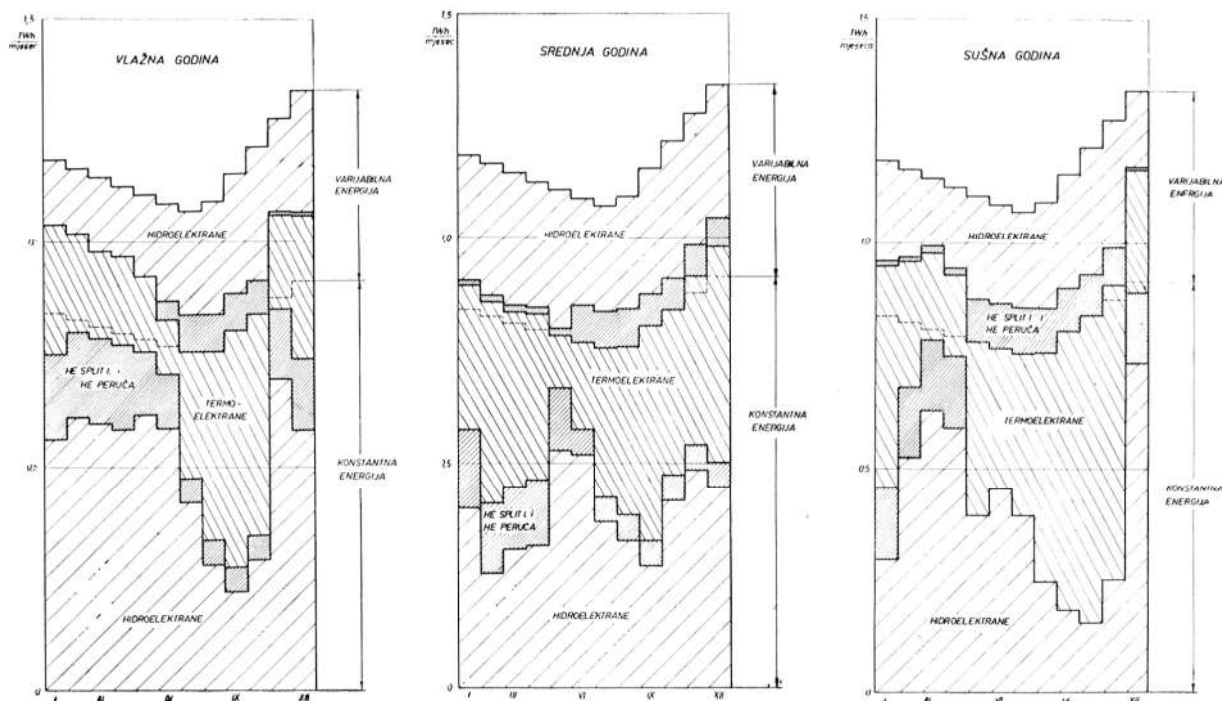
Punu vrijednost za elektroenergetski sistem Jugoslavije postići će hidroelektrana Split tek onda kad se omogući akumuliranje vode na kraškim poljima zapadne Bosne. Izgradnjom akumulacije Buško Blato bit će regularan dotok voda u Cetinu sa viših horizonata, pa će to doprinijeti znatnom povećanju proizvodnje u sušnom razdoblju kada je elektroenergetskom sistemu Jugoslavije potrebna jaka dopuna termoelektrana za zadovoljenje potreba.



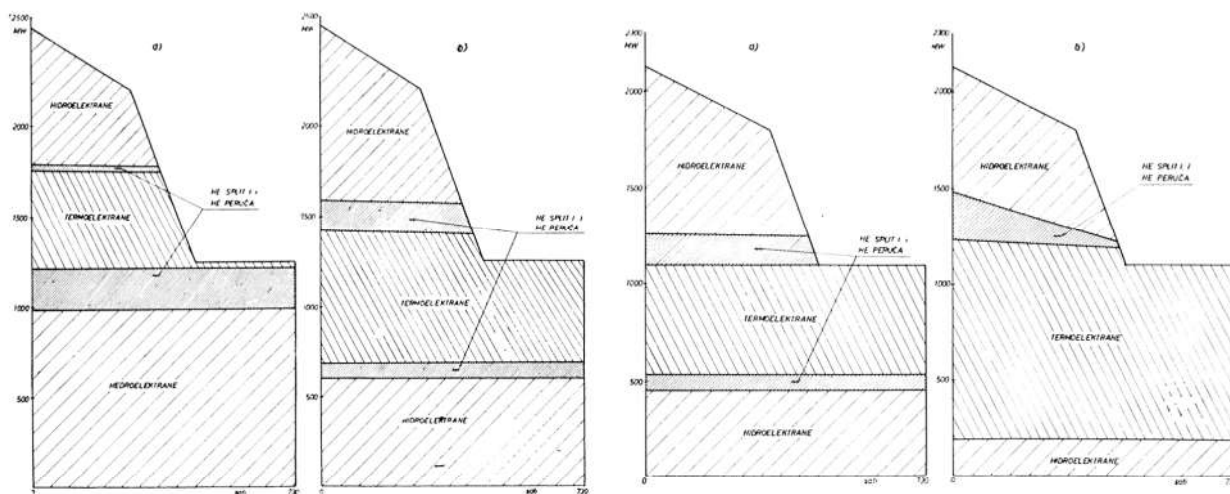
Udio HE Split i HE Peruća u proizvodnji električne energije u Jugoslaviji



Udio HE Split i HE Peruća u proizvodnji električne energije u NR Hrvatskoj



Uloga HE Split i HE Peruća u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije



Položaj energije iz HE Split i HE Peruća u mjesečnoj krivulji trajanja opterećenja u dva zimska mjeseca: a) vlažni i b) suhi zimski mjesec

Položaj energije iz HE Split i HE Peruća u mjesečnoj krivulji trajanja opterećenja u dva ljetna mjeseca: a) vlažni i b) suhi ljetni mjesec

II. KARAKTERISTIKE RIJEKE CETINE I BLIŽEG PODRUČJA

Osnovna koncepcija rješenja energetskog iskorištenja rijeke Cetine osniva se na geografskom i geo-loško-hidrološkim karakteristikama njezina toka i bližeg područja. Te su karakteristike slijedeće:

1. Na ukupnoj duljini toka Cetine od izvora do ušća u more (105,5 km) raspoloživi pad iznosi 382,0 m ($I = 3,64\text{‰}$). Pri tome na gornji tok do Trilja otpada 90,0 m pada ($I = 1,63\text{‰}$), a na donji tok do ušća 292,0 m ($I = 5,82\text{‰}$).
2. U gornjem toku Cetine od izvora do Trilja protoci se naglo povećavaju zahvaljujući stalnim kraškim vrelima, dok je u donjem toku blago i vrlo malo povećanje srednjeg godišnjeg protoka kao rezultat rada periodičkih vrela s posljedicom većeg porasta velikih, a nešto i srednjih voda.

3. Generalni je smjer toka Cetine SZ-JI s naglašenom tendencijom da se što više približi Jadranskom moru, naročito na potezu Trilj-Bisko. Od ovog generalnog smjera odstupa Cetina na velikoj okuci kod Zadvarja (između km 25,0 i 19,0) iza koje teče prema zapadu s naglim skretanjem u smjer jug-jugozapad na ušću u more kod Omiša.

Gornji tok je pretežno u širokim poljima, međusobno spojenim riječnim dolinama ili kratkim kanjonskim dijelovima s brzacima, dok je donji tok skoro isključivo u dubokom i uskom kanjonu, tek mjestimično proširenom.

4. Doline gornjeg toka zagaćene su prema moru (desna strana Cetine) nepropusnim naslagama (verfen), koje na više mjesta izbijaju na površinu. Područje donjeg toka pretežno je iz vapnenaca, manje ili više razlomljenih i karstificiranih s pojavom estavela između Čikote (Prančević) i Kraljevca.

Navedene karakteristike užeg područja Cetine i njezina toka nametnule su najpovoljnije ekonomsko rješenje energetske iskoristivosti ove rijeke:

- veliko akumulaciono jezero u gornjem toku (Peruća), radi vodnog izravnjanja i što potpunijeg korištenja raspoloživih voda na velikom padu donjeg toka;
- zahvat akumulacijom izravnatih voda Cetine u kanjonu donjeg toka uzvodno od zone estavela (Čikota) s derivacionim dovodom i odvodom prema moru, čime se sav ili veći dio pada energetske iskoristivosti u hidroelektrani Split.

Ovim načelnim rješenjem hidroelektrane Split nije se moglo utvrditi:

- veličinu uspora ni mjesto zahvata Cetine (brana) između Trilja i Čikote;
- smjer derivacionog tunela s mogućnošću smještaja strojarnice u području Klisa, Žrnovnice ili Omiša.

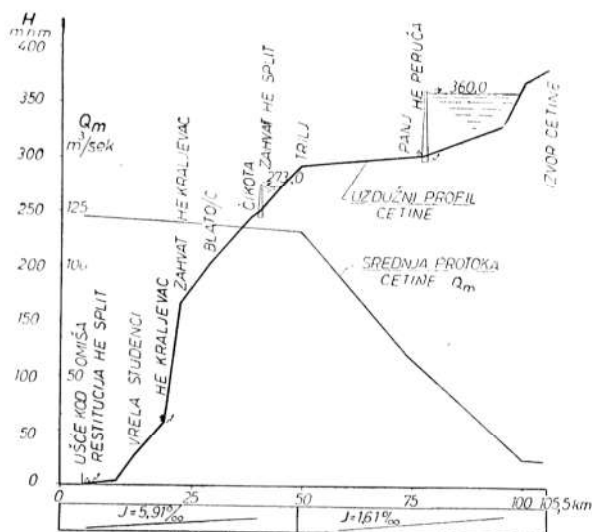
Pokazala se neophodna potreba izvođenja opsežnijih istražnih radova i studija radi mikrolokacije i najekonomičnijeg rješenja pojedinih objekata hidroelektrane Split. Pri tome je trebalo voditi računa i o želji da se na zahvatu Cetine za ovu hidroelektranu ostvari akumulacioni basen; ovim bi se omogućilo prihvatanje radne vode Peruće i nizvodnog međutoka bez obzira na dnevni pogon hidroelektrane Split, koja bi na taj način imala potrebnu pogonsku elastičnost prilagođavanja svog rada potrebama konzuma; to je veoma poželjno — skoro nužno — obzirom na veličinu i značaj ovog hidroenergetskog izvora.

Analizom detaljnog geološkog kartiranja i izvještaja te na osnovu opažanja kraških i hidroloških pojava u području Cetine uzvodno od Čikote došlo se do sljedećih zaključaka:

1. Cijelo područje podijeljeno je glavnim rasjednim linijama dinarskog smjera u nekoliko pojasa (ploča).
2. Poprečnim lomovima, više ili manje okomitim na glavne rasjede, razlomljeni su ovi pojasi na veće ili manje blokove, stvorivši tektonsku dispoziciju za razvoj karstifikacije.
3. Kanjon Cetine nastao je erozionim djelovanjem voda.
4. Karstifikacija s obe strane Cetine pokazuje se znatno veća u zaleđu, dok su bokovi kanjona manje karstificirani izuzev plato oko Biska s desne strane Cetine.
5. Tektonski najmanje slomljenim i karstifikacijom najmanje načetim treba smatrati osamljene humke, s lijeve strane: Vučjak, Runjik i Grabovac, a s desne: Konačnik i Karanj.
6. Od Prančevića (Um — Grabovac) pa sve do ruba Karanja, blizu sela Bisko, pruža se s desne strane Cetine skoro kontinuirana zona debljih i tanjih slojeva laporovitih vapnenaca (uložaka u čistom vapnencu), koji su manje razlomljeni uslijed veće podatnosti potiscima i pokazuju samo mjestimično tragove karstifikacije.
7. Uzvodno od Čikote pojavljuju se na lijevoj strani periodična vrela (tri zone i tri pojedinačna), dok se na desnoj strani pojavljuje grupa periodičnih vrela samo na okuci Cetine kod Biska. Ove pojave i raspored uvjetovani su pomenutim poprečnim lomovima kao i postojanjem zone laporovitih vapnenaca.

Na osnovu prednjih zaključaka pristupilo se istražnom bušenju i geoelektričnom ispitivanju užeg područja Cetine u svrhu utvrđivanja najpovoljnijih mjesta zahvata i veličine uspora te konsolidacionih radova za saniranje akumulacionog basena.

Praktički na svima bušotinama vađeno je i determinirano jezgro uz ispitivanje vodopropusnosti, a veliki broj bušotina je zacijevljen radi neprekidnog opažanja nivoa podzemnih voda.



Uzdružni profil i srednje protoke Cetine

basen, koji uz varijaciju nivoa za 6,0 m ima korisnu sadržinu od 3,000.000 m³. Jedini mu je nedostatak što za potpuno iskorištenje cijelog pada donjeg toka zahtijeva dvostepeno rješenje, tj. još jednu uzvodnu stepenicu — hidroelektranu Đale s kojom se, kao protočnim postrojenjem uz derivaciju duljine 1,4 km, može koristiti sav pad rijeke Cetine do razine jezera Prančević, uključivo i oscilaciju nivoa.

Energetsko-ekonomska komparacija opisanog dvostepenog rješenja s jednostepenim u smjeru Klisa, Žrnovnice ili Omiša pokazala je, da je dvostepeno rješenje znatno ekonomičnije te je ono i usvojeno. Daljnjim geofizičkim ispitivanjem i istražnim bušenjem u području basena, brane, dovodnog tunela i odvodnih organa utvrđen je opseg konsolidacionih radova na basenu, najpovoljniji smještaj u odnosu na injekcionu zavjesu i duboku osolinu na lijevoj obali Cetine te položaj i trasa dovodnih i odvodnih organa; najpovoljniji smještaj podzemnih objekata čvora vodno-zasunske komore i strojarne odredio je projektant spekulativnim zaključivanjem uz svestranu analizu svih elemenata uočenih prilikom pregleda terena ili dobivenih tek započetim istražnim rovovima.

Izvedba objekata hidroelektrane Split u potpunosti je potvrdila sve ranije zaključke i pretpostavke, te nije bilo većih iznenađenja. Jedino je kod dovodnog tunela trajanje poplava bilo znatno dulje od predviđenog, pojavom vanredno velikih količina vode (do 25,0 m³/s); do ovog iznenađenja došlo je zbog toga, što je u periodu gradnje tunela nastupila najmokrija do sada zapažena godina, kao i kiše znatno većeg intenziteta od onih u prethodnom dvogodišnjem periodu, kada su osmatrani podzemni vodostaji na trasi dovodnih tunela.

III. OPIS OBJEKATA HIDROELEKTRANE

Brana Prančević (km 39 + 980 Cetine) je betonska gravitaciona s blagom zakrivljenošću, kojom se prilagodila obliku korita uz najpovoljnije uvjete fundiranja.

Duljina u kruni je 150,0 m, maksimalna visina od temelja do kolnika mosta iznosi 35,0 m, dok je normalni uspor 23,0 m i seže do kote 273,0.

Za evakuaciju velikih voda služe:

- Dva temeljna ispusta s otvorom vel. 6,0 × 4,0 m snabdjevena segmentnim zatvaračima kao glavnim. Pogonski mehanizmi smješteni su u prostoru unutar trupa brane; služi se elektromotorima uz rezervni ručni pogon.

Za slučaj revizije ili popravka glavnog zatvarača postavljaju se s nizvodne strane željezne gredne zapornice, a s uzvodne, pomoćni tablasti zatvarač za svijetli otvor 8,4 × 5,0 m.

Na otvorima temeljnih ispusta, između vodicila pomoćnog i glavnog zatvarača postavljen je oklop iz brodskog čeličnog lima.

Naprije je izvršeno oko 70 bušotina dubine 30,0 do 200,0 m, u prosjeku oko 130,0 m. Rezultati bušenja i opažanja vodostaja u potpunosti su potvrdili ranije zaključke. Osim toga utvrđeni su i najpovoljniji pregradni profili:

- Đale u podnožju Konačnika, kao najuzvodniji profil s mogućim usporom od cca 13,0 m, ograničen uzvodno Sinjskim poljem do kote 292,0 i
- Prančević u pravcu Grabovac — Um kao najnižvodniji s mogućim usporom od 20,0 — 23,0 m, tj. do kote 273,0.

Profil Đale omogućuje jednostepeno rješenje energetskog iskorištenja cijelog pada donjeg toka Cetine te mu je to jedina prednost. Nedostatak mu je, što nema korisne akumulacije potrebne za elastični pogon HE Split, a zahtijeva i vrlo dugi derivacioni tunel koji bi se izveo pod vrlo teškim uvjetima.

Naprotiv, profil Prančević zahtijeva znatno kraći tunel u smjeru Omiša s relativno malim poteškoćama u izvedbi, a osim toga ima dovoljno veliki

Za oba otvora temeljnog ispusta služi isti slog grednih zapornica i pomoćni zatvarač s elektromotornim pogonskim uređajem, kojim se spuštaju i podižu table, kao i za horizontalni transport s jednog otvora na drugi po tračnicama u visini kolnika mosta.

- b) Dvije preljevne zaklopke s ribljim trbuhom, dužine 20,0 m i visine uspora 3,0 m.

Pogon je mehanički s elektromotorom i rezervni ručni s uređajem na jednoj strani smještenim u kućicama iznad konzolnih stupova.

Ove zaklopke služe i za fino reguliranje uspora, te su u tu svrhu snabdjevene uređajem kojim se automatski spuštaju u tri stepena.

Ukupni kapacitet evakuacionih organa iznosi $800,0 + 400,0 = 1200,0 \text{ m}^3/\text{s} = 1,50 Q_{100}$.

Za osiguranje žive vode koritu Cetine, nizvodno od brane, služi čelična cijev promjera 600 mm, ugrađena u srednji stup između temeljnih ispusta. Njezina propusna moć kreće se oko $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$, ovisno o jezerskom nivou na zahvatu.

Opisano rješenje brane s temeljnim ispuštima na desnom boku poslužilo je izgradnji brane u dvije faze, pri čemu je izbjegnuta izvedba posebnih organa za evakuaciju voda za vrijeme gradnje. Živa sila evakuiranih voda poništava se na betonskom slapištu brane ugrađenim Rebokovim zubima, a kod temeljnog ispusta još i dubokim vodnim jastukom.

Beton brane (oko 50.000 m^3) izveden je pranim agregatom iz drobljenog vapnenca, dok je agregat od eruptiva primijenjen na gornjoj površini slapišta i Rebokovim zubima.

Na brani, kao i svima drugim objektima čiji beton dolazi u dodir s vodom upotrebljavan je Ocean cement (portland cement sa 20 – 27% dodatka opalske breče).

Radi otpornosti na mraz, betonu brane trebalo je dodavati Frioplast u iznosu oko 0,5% na cement.

Za otješnjenje dna i bokova pregradnog profila izvedena je dvo- i jednoredna injekciona zavjesa s potrebnim progušćenjem i veznim injekcijama. Uz najveću dubinu zavjese od 113,0 m ukupno je izvedeno oko 18.000 m injektiranja uz 3.500 m jalovog bušenja. Osnovna injekciona masa sastojala se od 40% portlandcimenta i 60% gline s lokalnih pozajmišta.

Kompenzacioni basen Praničević duljine oko 5,0 km nalazi se u kanjonu Cetine uzvodno od predgrade. Maksimalna površina basena iznosi 65 ha, ukupna sadržina $6,8 \text{ hm}^3$, od čega je uz oscilaciju jezerskog nivoa za 10,0 m moguće koristiti $4,6 \text{ hm}^3$.

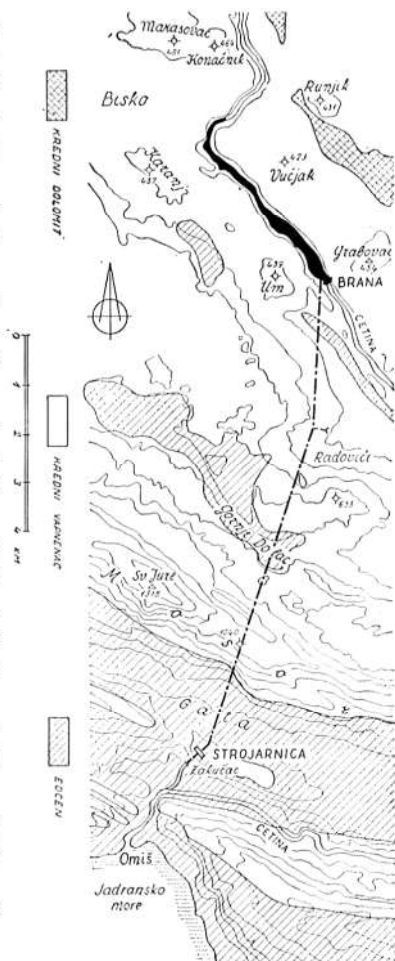
Cijeli basen nalazi se u tektonski oštećenim krednim vapnencima s periodičnim vrelima i sa izraženim pukotinama na bokovima, okomitim na tok Cetine.

Zbog niskih podzemnih vodostaja u zaleđu Cetine (naročito u sušnijem periodu) te otvorenih komunikacija basen-zaleđe, sa sigurnošću se moglo računati na gubitke zahvaćene vode u iznosu od cca $3,0 \text{ m}^3/\text{sek}$. Da se ovi gubici iz basena spriječe i svedu na veličinu normalnog procjeđivanja trebalo je prekinuti veze sa zaleđem slijedećim konsolidacionim radovima:

- četiri injekcione zavjese sa ukupno 6.500 m jalovog bušenja i 16.500 m injektiranja cementno-glinenom smjesom;
- bunarskim ograđivanjem periodičnih špiljskih vrela kod Biska, betonskim zidovima visine do 9,0 m uz vezno injektiranje.

Iako su predviđeni konsolidacioni radovi dosta opsežni, oni su sigurno ekonomski opravdani uzme li se u obzir da gubitak protoka od $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ predstavlja godišnji manjak od oko 20 GWh.

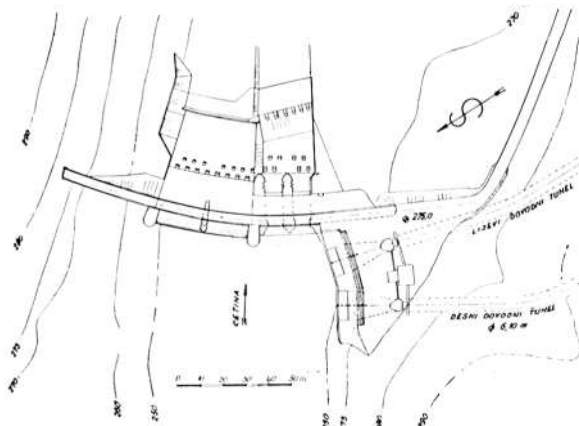
Ulazni uređaj smješten je na desnom boku Cetine neposredno uzvodno od brane, te je kroz temeljne ispuste brane moguća evakuacija nanosa, koji bi se eventualno mogao pojaviti ispred ulaznih građevina.



Situacija hidroelektrane Split

Budući su za hidroelektranu Split u definitivnoj izgradnji predviđena dva dovodna tunela, to je ulazni uređaj riješen tako da svaki dovodni tunel ima posebnu dvodjelnu ulaznu građevinu s pragom na koti 254,0, dakle nešto iznad tjemena temeljnih ispusta.

Lomom ravnine ulaznog grla jedne i druge ulazne građevine za 13° postignuto je jednom krivinom razmicanje njihovih osi s prijelazom na usvojeni razmak dovodnih tunela (45,0 m).



Situacija zahvata Cetine za hidroelektranu Split

Svako ulazno grlo vel. $12,0 \times 10,30$ m s finom rešetkom, čiji štapovi $10/100$ mm imaju svijetli razmak 4,0 cm, postepeno se sužava i prelazi u pravokutni profil, vel. $5,0 \times 6,35$ m, iznad kojeg je vertikalno okno s tablastim zatvaračem i revizijsko okno s postoljem.

Tablasti zatvarač vel. $5,60 \times 6,75$ m brtvi s uzvodne strane u oba smjera; pogon je hidraulički sa servomotorom smještenim na podignutoj platformi, dok su uljne pumpe s rezervoarom smještene u pogonskoj prostoriji čuvarnice, koja se nalazi između zatvarača lijevog i desnog ulaznog uređaja.

Neposredno iza zatvarača, a u istom vertikalnom oknu predviđeno je ozračno-reviziono okno vel. $2,0 \times 1,50$ m, koje omogućava da se kroz njega spuštaju i manja vozila u slučaju popravka tunela.

Za čišćenje rešetke služi čistilica s električnim po-

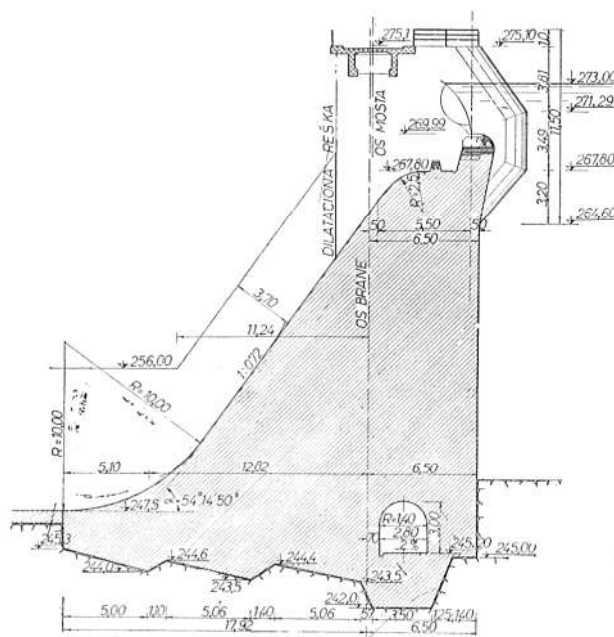
gonom; grablje imaju širinu 2,19 m, a dubinu spuštanja 25,0 m.

Duljina svakog ulaznog uređaja, od ulaznog praga do svršetka prelaznog konusa iza zatvarača, iznosi 35,0 m.

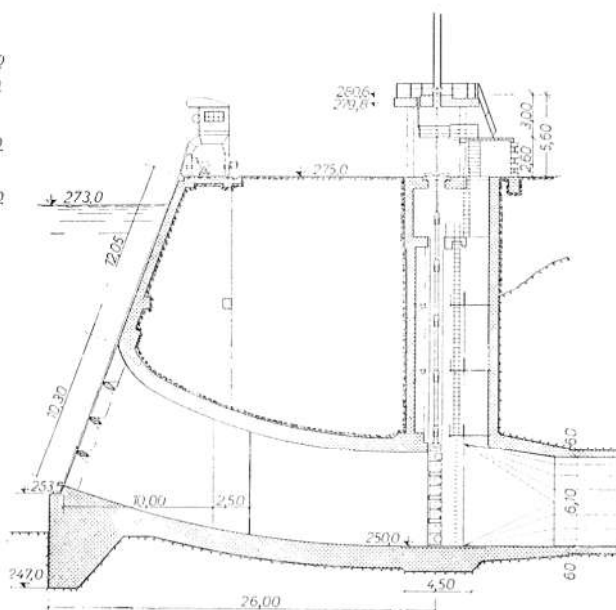
Usprkos etapne izgradnje hidroelektrane Split, izvedena su oba ulazna uređaja, čime je izgradnja II etape praktički omogućena bez prekida postojećeg pogona.

Opisanim rješenjem ulaznog uređaja potpuno su ispuštene klasične pomoćne gredne zapornice, jer se smatraju nepotrebnima zbog male sadržine kompenzacionog basena, visoko položenog ulaznog praga ulazne građevine i velikog kapaciteta temeljnih ispusta brane.

Dva paralelna dovodna tunela nastavljaju se na ulazne uređaje pod unutarnjim tlakom vode, međusobnog razmaka osi 45,0 m i pojedinačne duljine 9641,0 m do prvog okna vodne komore.



Presjek preljevnog polja brane



Ulazni uređaj - presjek

Svaki je tunel podijeljen kosim napadnim oknom Radovići na 2 dionice — uzvodnu, duljine 2970,0 m i nizvodnu 6670,0 m. Time su na tunelu postavljena 4 radna mjesta, što je uz primjenu suvremene mehanizacije omogućilo brzu izgradnju dovoda.

Veći, uzvodni dio tunela nalazi se u krednim vapnencima s nešto breča, a manji dio u eocenskim laporima i pješčenjacima. Vapnenci su mjestimično više ili manje razlomljeni, što je bio preduvjet za razvoj karstifikacije. Skoro vertikalni slojevi pješčenjaka interkalirani u lapore stalno su procjeđivali površinske vode u tunel, dok je dio tunela u vapnencima bio normalno suh i bez vode za vrijeme niskih vodostaja, a poplavljen za vrijeme dugotrajnih intenzivnijih kiša.

Dovodni tunel, svijetlog profila 6,10 m, za protok od 100,0 m³/sek obložen je po cijeloj duljini. Primijenjeni su razni tipovi betonske obloge ovisno o kvalitetu i svojstvima stijene:

- a) Na većem dijelu tunela primijenjena je normalna betonska obloga debljine 30-50 cm s dozvoljenim zadiranjem stijene u teoretski profil iskopa 5-10 cm.
- b) Na mjestima s malim modulom elastičnosti stijene primijenjena je armirano betonska obloga teoretske debljine 40 cm bez dopuštenog zadiranja u teoretski profil iskopa.
- c) U četvrtoj kategoriji iskopa primijenjena je, kao zaštitna, dvostruka vanjska betonska obloga debljine 40 cm i unutarnja, kao nosiva, bez ($d = 30$ cm) ili sa armaturom ($d = 40$ cm).
- d) Betonska obloga s ugrađenom čeličnom podgradom ($d = 50$ cm).
- e) Obloga s posebnim rješenjem za pojedine špilje ili neka druga mjesta, koja su ugrožavala besprijekorno funkcioniranje tunela.

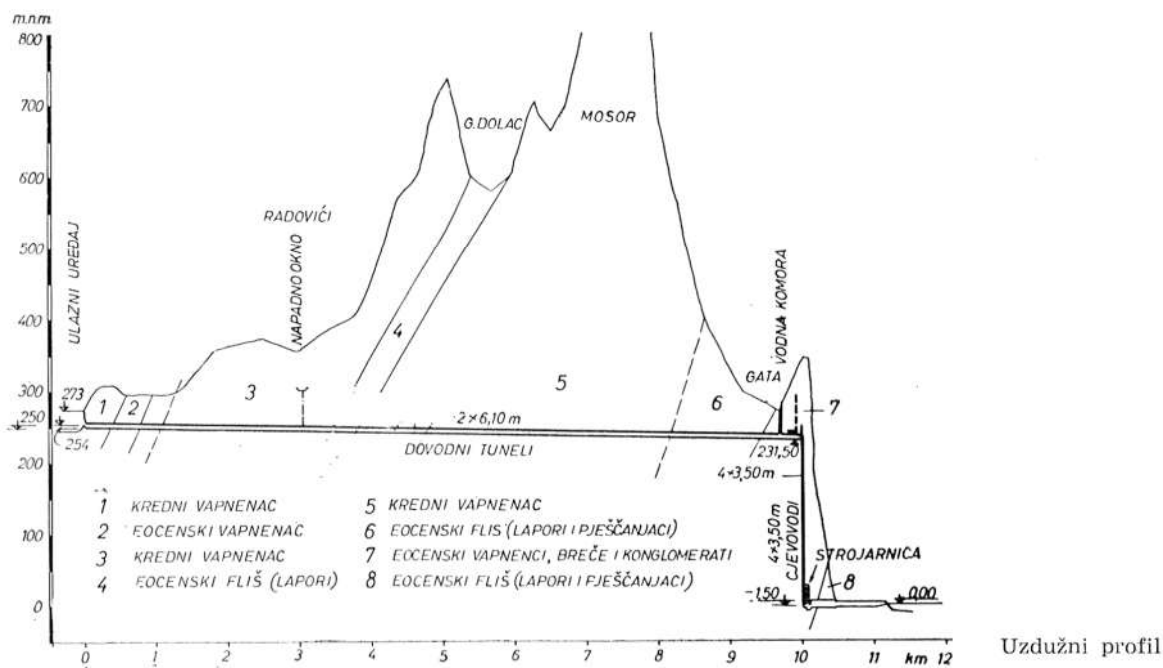
Pored navedenih tipova obloge predviđena je i obloga s armiranim torkretom na onim mjestima na kojima bi se pokazala oštećenja prilikom pokusnog opterećenja i ispitivanja tunela, što međutim nije bio slučaj.

Za izvedbu je izabran beton marke 220, koji je morao biti vodonepropustan.

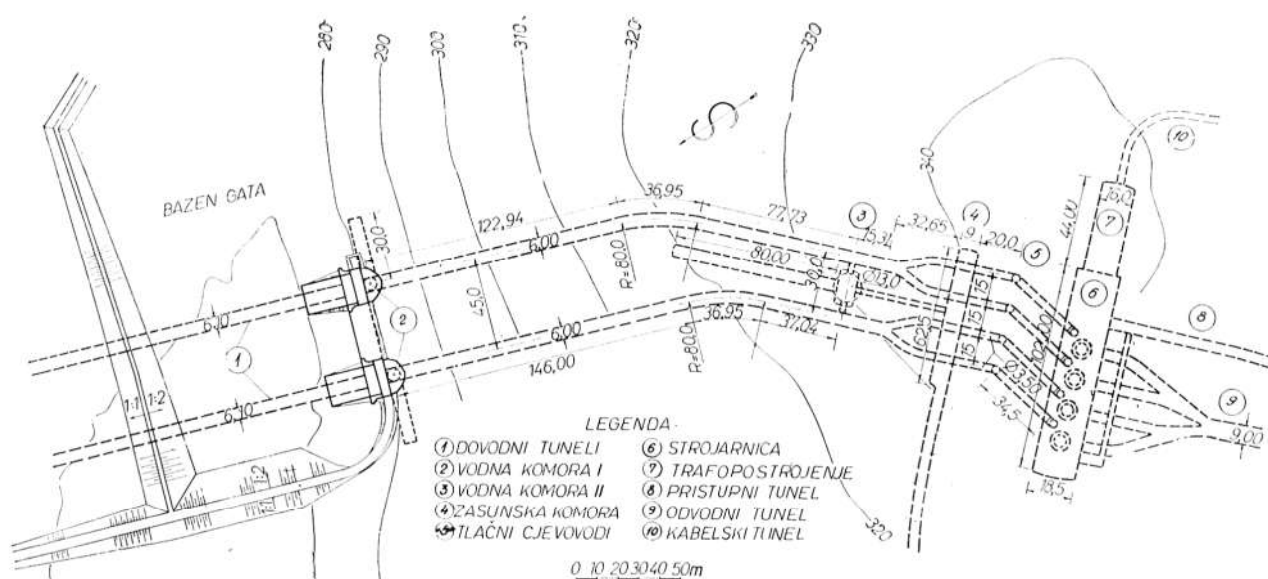
Po cijeloj dubljini dovodnog tunela izvedene su vezne injekcije sa zadiranjem u stijenu 10 — 40 cm, a na jednom sektoru i 100 cm; utrošci injekcijske mase bili su osjetljivo veći tamo gdje je beton ugrađivan topom, a manji kod primjene betonske pumpe.

Pored veznih, primijenjene su i konsolidacijske injekcije s duljinom rupa do 300 cm i to na onim mjestima, gdje je bilo potrebno poboljšati svojstva stijene.

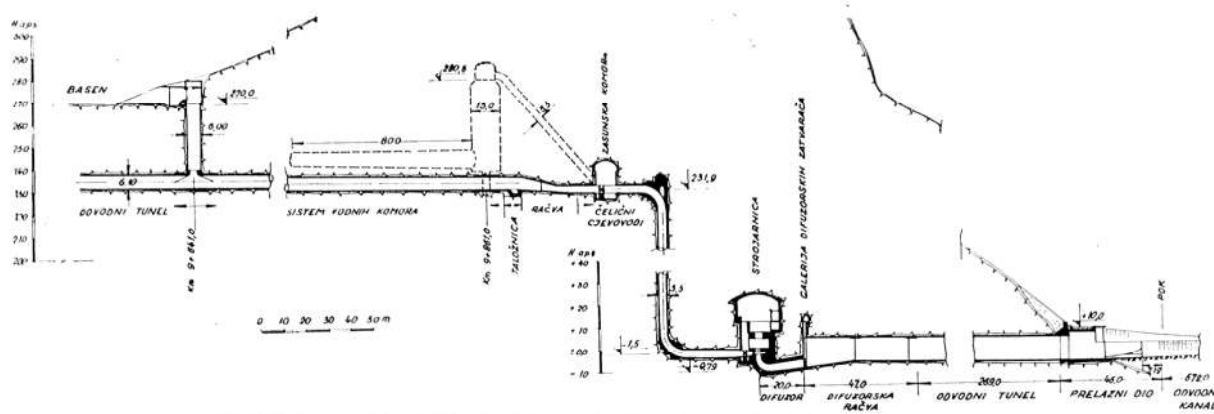
Kod injektiranja je upotrebljen ocean cement ili portland cement sa 10% bentonita, čime je postignuta ista otpornost na agresivnost mekih voda.



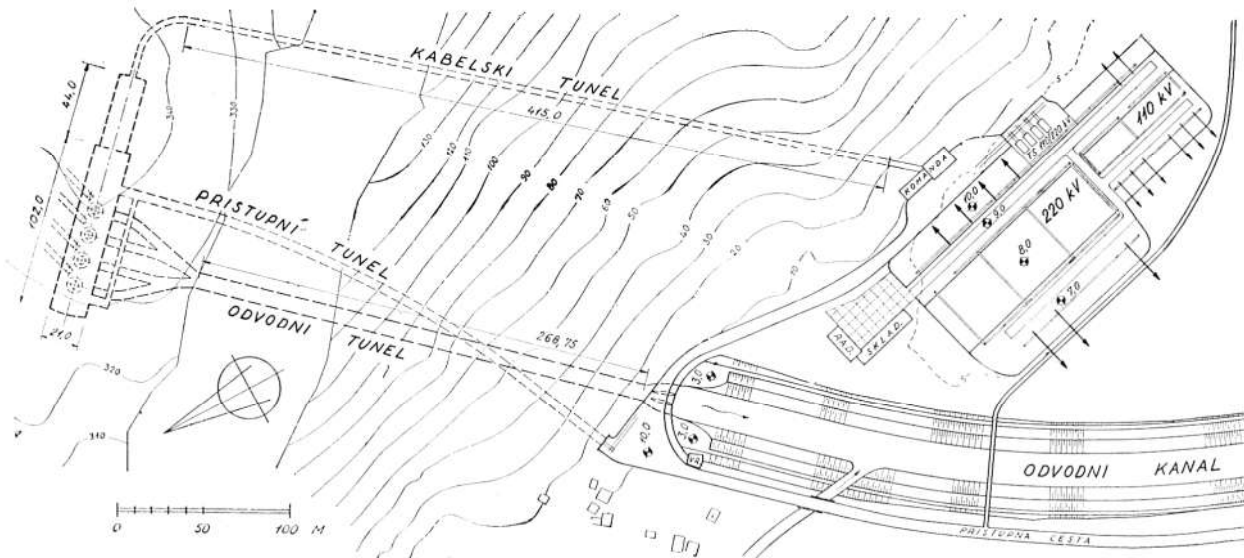
Uzdužni profil



Situacija objekata čvora strojarne, vodne i zasunske komore



Podužni presjek objekata čvora strojarne, vodne i zasunske komore



Situacija objekata čvora strojarne

Ispitivanje vodopropusnosti tunela pokazuje početne gubitke od 1,50 l/sek na 1000 m² što se može smatrati zadovoljavajućim, a može se očekivati osjetljivo smanjivanje procjeđivanja do kojeg normalno dolazi postepenim kolmiranjem.

U I etapi izgradnje hidroelektrane Split izveden je cijeli desni dovodni tunel, a od lijevog samo početni i završni dio, kako bi se prilikom buduće izgradnje II etape mogao nesmetano odvijati postojeći pogon.

Sistem vodenih komora smješten je na kraju dovodnih tunela i kod njegova rješenja je na posebni način korištena topografija terena.

Na južnom rubu doline Gata svaki dovodni tunel ima vertikalno okno ($D = 6,0$ m; $h = 34,0$ m) koje je predusjekom spojeno s otvorenim basenom ($F = 25000$ m²), koji služi kao gornja ekspanziona komora.

Između okna i predusjeka nalazi se preljevni prag sa 9 by-passa vel. 60×60 cm; koji su kao i preljev snabdjeveni finom rešetkom iz plosnog željeza. Iznad preljeva izgrađen je armirano-betonski mostić, a iznad okna kućica s otvorom u podu, koji omogućuje spuštanje opreme i materijala u slučaju popravka dovodnog tunela.

Spušanje kroz okno omogućeno je ugrađenim željeznim ljestvama s prolazom kroz asimetrični prigušivač na spoju okna s dovodnim tunelom.

Otvoreni basen dobiven je izgradnjom nasipa s materijalom iz iskopa, a jednim dijelom i betonskim lukovima s kontraforima, a pokos vodne strane nasipa osiguran je tankim slojem armiranog torkreta. Za eventualno pražnjenje basena služi temeljni ispust (ϕ 800 mm) koji je na ulazu snabdjeven rešetkom, a na izlazu zasunom.

Iza ovih okana na rubu doline Gata nastavljaju se dovodni tuneli, koji se međusobno približuju na 30,0 m razmaka osi.

Na srednjoj udaljenosti oko 230,0 m od prvih okana smješteno je između oba tunela zajedničko okno vodne komore, preko kojeg je izvršen međusobni spoj tunela rovom širine 3,0 m i visine 4,0 m. Dijametar okna je 13,0 m, a visina 50,0 m od dna taložnice. Iznad okna je manevarska komora sa servomotorima za pogon zatvarača; pristup je iz zasunske komore kosim rovom vel. $2,50 \times 3,50$ m.

Pri dnu okna smještena je donja komora duljine 80,0 m osnovnog dijametra 6,0 m a ispod nje asimetrični prigušivač $3,0 \times 4,0$ m.

Prigušivač, spojni rovovi i dovodni tuneli oklopljeni su na mjestu spoja čeličnim limom debljine 10 mm s potrebnim ukrućenjima i usidrenjima.

Okno je na mjestu svakog spojnog rova snabdjeveno sa dva tablasta zatvarača vel. $3,80 \times 4,20$ m, koji su u otvorenom položaju zaštićeni maskom prigušivača, a služe za izolaciju jednog tunela od drugoga u slučaju njihove revizije ili popravka.

Po cijeloj visini okna sve do prigušivača, ugrađene su željezne ljestve s potrebnim brojem rešetkastih podesta.

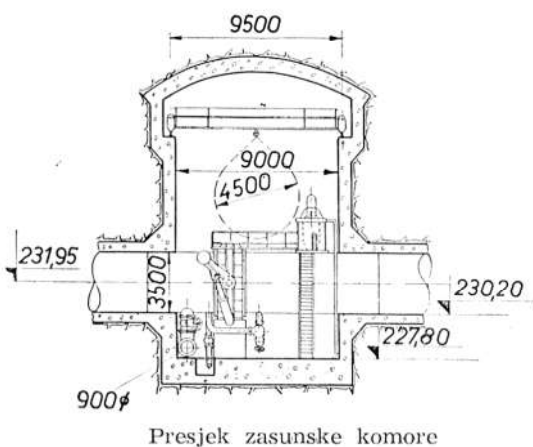
Dio dovodnih tunela, koji pripada sistemu vodnih komora, prigušivači i donji dio okana (nešto iznad donjih komora) izvedeni su iz armiranog betona zbog znatnog unutarnjeg tlaka vode, ili spojevima

(prodorima) oslabljenih mjesta; ostali dio, osim konstruktivnih ploča, izveden je iz nabijenog betona marke 220. Svuda je izvršeno vezno, a na većem dijelu i konsolidaciono injektiranje.

Cijeli sistem završen je građevinski u prvoj etapi, osim okna na lijevom tunelu, na kojem je izvršen samo iskop i ograđivanje radi odvajanja od basena Gata.

Zajedničko okno je oklopljeno i postavljen je lijevi tablasti zatvarač u spušenom položaju, čime je odvojen lijevi tunel od sistema u pogonu.

Ovaj složeni sistem vodnih komora pokazao se oko 40% ekonomičniji od klasičnog tipa raščlanjene vodne komore, pri čemu je uzet u obzir i utjecaj na dovodne tunele i tlačne cjevovode. Samo rješenje omogućuje sudjelovanje voda kroz oba tunela kod rada bilo kojih agregata.



Kaverna zasunske komore širine 9,0, visine 16,0 i duljine 62,50 m smještena je 38,0 m nizvodno od zajedničkog okna vodne komore. Iza oklopa vodne komore svaki dovodni tunel ima taložnicu na koju se nastavlja račva u dva cjevovoda svijetlog profila 3,50 m. Ovi cjevovodi s razmakom osi 15,0 m ulaze u zasunsku komoru, gdje je na svakoj cijevi ugrađen sigurnosni leptirasti zatvarač i zračni ventil.

Veliku visinu ove kaverne zahtijevao je nesmetani transport opreme II etape iznad montiranih cijevi I etape, kao i građevinskog materijala ispod tih cijevi. To je diktiralo i širinu kaverne, prema kojoj je određena duljina cijevi tlačnih cjevovoda.

Za transport opreme i cijevi služi mosna dizalica na električni pogon, nosivosti 30,0 t.

Svaka je cijev ispred leptirica snabdjevena jednim odvojkom sa zasunom ($D = 600$ mm) na koji se nastavlja čelični cjevovod ($D = 900$ mm) predviđen za natapanje polja Gata.

Za pristup zasunskoj komori i transport cjevovoda, kao i opreme vodne i zasunske komore te za gradnju lijevog tunela služi pristupni tunel duljine 293,0 m potkovastog oblika vel. $5,30 \times 5,30$ m. Obje taložnice i račve izvedene su od armiranog, a zasunska komora iz nabijenog betona, marke 220, s nužnim veznim i konsolidacionim injekcijama. Pristupni tunel dobiva betonsku oblogu samo na nekoliko mjesta, gdje je trošnija stijena.

Od opreme su u I etapi montirane samo dizalica, dvije leptirice i dva zračna ventila, koji pripadaju cjevovodima desnog dovodnog tunela.

Svaka **tlačna cijev** prelazi iza zasunske komore gornjom krivinom ($R = 10,0$ m) u vertikalno okno visine 213,40 m, koje preko donje krivine ($R = 10,0$ m) prelazi u donji horizontalni dio preko kojeg se cijevi priključuju na spiralu turbine, odnosno predturbinski zatvarač. Ispred donjeg koljena smanjuje se profil cijevi sa 3,50 na 3,30 m, a ispred predturbinskog zatvarača na 2,40 m.

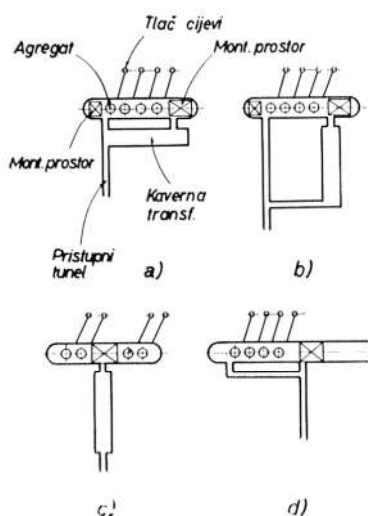
Usvojeno je rješenje ubetoniranih čeličnih cijevi iz broskog (gornji dio) i aldur čelika sa sudjelovanjem stijene do 50% unutarnjeg tlaka, čime je postignuta velika ekonomičnost u izvedbi (vidi odgovarajući izvještaj industrije).

Razmak osi cjevovoda jednak je razmaku agregata, t. j. 15,0 m, dok pojedinačna duljina od nizvodnog ruba zasunske komore do predturbinskog zatvarača iznosi svega 279,30 m, dakle neznatno više od bruto pada hidroelektrane (272,0 m).

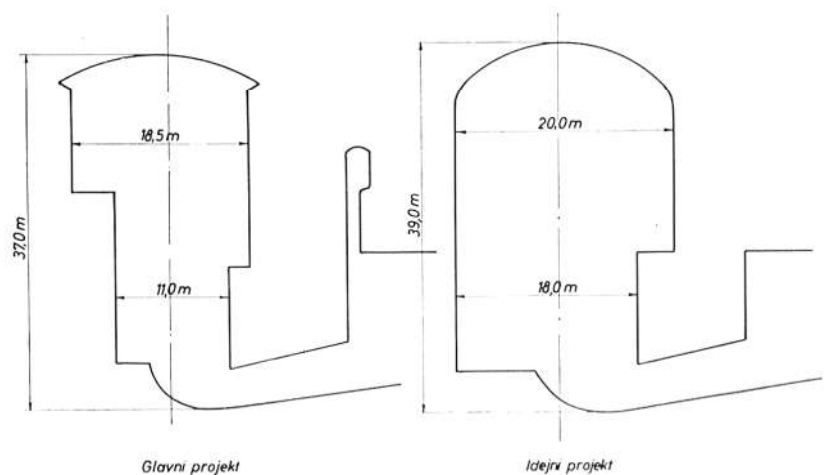
U prvoj etapi montirana su dva cjevovoda — svaki za protok od $50,0 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je za druga dva cjevovoda izvršen samo iskop s torkretom na trećem cjevovodu.

Na oba montirana cjevovoda injektiran je kontakt lim-beton, a na trećem cjevovodu izvedene su vezne i konsolidacione injekcije.

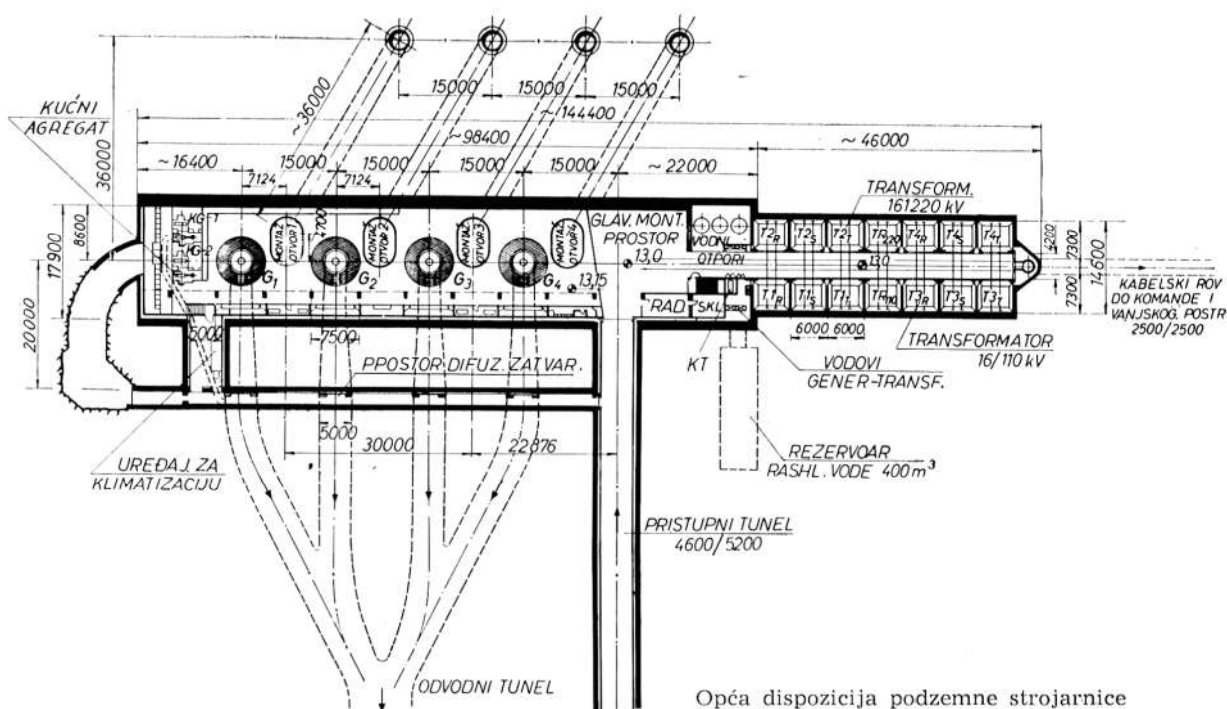
Kaverna strojarne i transformatora nakon dugog studija i razmatranja svih mogućih varijanti, riješena je u obliku jedinstvene kaverne tako, da se na strojarnicu naslanja postrojenje transformatora. Na slici su prikazane samo glavne varijante i usvojena dispozicija d). Poprečni presjek je od idejnog



Glavne varijante dispozicije strojarnice



Gabarit strojarnice od idejnog do glavnog projekta



do glavnog projekta, doživio promjene koje su vidljive iz slike. Na taj se način uspjelo maksimalno iskoristiti potreban prostor i postići ekonomski optimalno rješenje.

Centralno je smješten montažni prostor te se lijevo od ulaza iz pristupnog tunela (duljine 323,0 m) nalaze strojevi, a desno transformatori. Na kraju glavne kaverne smješteni su, u području glavne dizalice, kućni agregati na koti 13,15 m. Razmak osi glavnih agregata je 15,0 m, tako da se između generatora mogu nalaziti otvori za montažu i transport turbinske opreme. Uz svaki agregat, sa nizvodne strane, smještene su ploče strojeva, uređaji amplidinske regulacije i ploča istosmjerne struje. Pomoćna kaverna za transport i izvlačenje difuzorskih zatvarača smještena je paralelno uz glavnu kavernu. Obe ove kaverne spojene su rovom u kojem su uređaji za klimatizaciju.

Turbinski prostor spaja se na 4 mjesta sa odvodnim tunelom radi zaštite kaverne u slučaju loma tlačnog cjevovoda.

Na desnoj strani montažnog prostora, gledano od ulaza, smješteni su: vodni otpor za ispitivanje generatora, radionica i skladište. Dužina glavne kaverne iznosi 102,0 m, širina je 18,5 m, a visina 37,0 m.

U kaverni transformatora, koja je duga 44,0 m, široka 16,0 m, a visoka 12,0 m, smješteno je na obe strane po 7 jednofaznih blok transformatora i to transformatori 110 kV sa nizvodne, a transformatori 220 kV sa uzvodne strane. U sredini kaverne je transportni prostor.

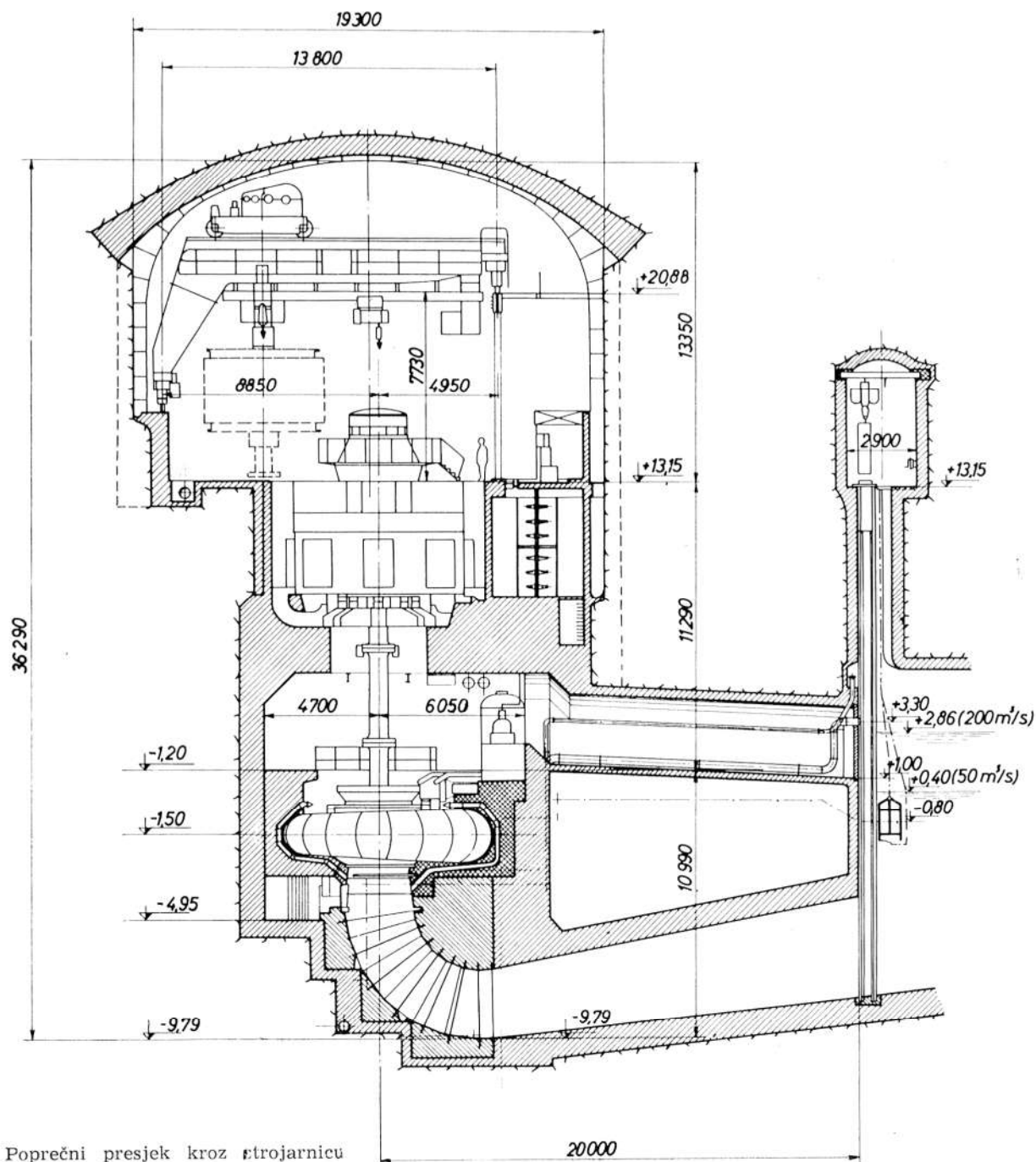
Na ovu kavernu nastavlja se kabelski tunel duljine 468,0, širine 2,50 i visine 3,10 m.

U sredini, između kaverna nalazi se rezervoar rashladne vode.

Horizontalna ravnina turbinske spirale smještena je na koti $-1,5$ m, a pod turbinskog kata na koti $+1,2$ m. Najniži dio difuzora je na koti $-9,79$ m. Spojni vodovi generatori – transformatori su uz generatore, duž strojarnice. Glavna kaverna ima tri etaže povezane sa dvije vertikalne komunikacije na oba kraja. Prostor uz generatore je slobodan i ploče strojeva leže slobodno. Iznad njih je glavna cijev za dovod svježeg zraka iz uređaja klimatizacije.

Aspiratori su produženi na 20,0 m da bi se transport i manipulacija sa difuzorskim zatvaračima odvojili od glavne kaverne.

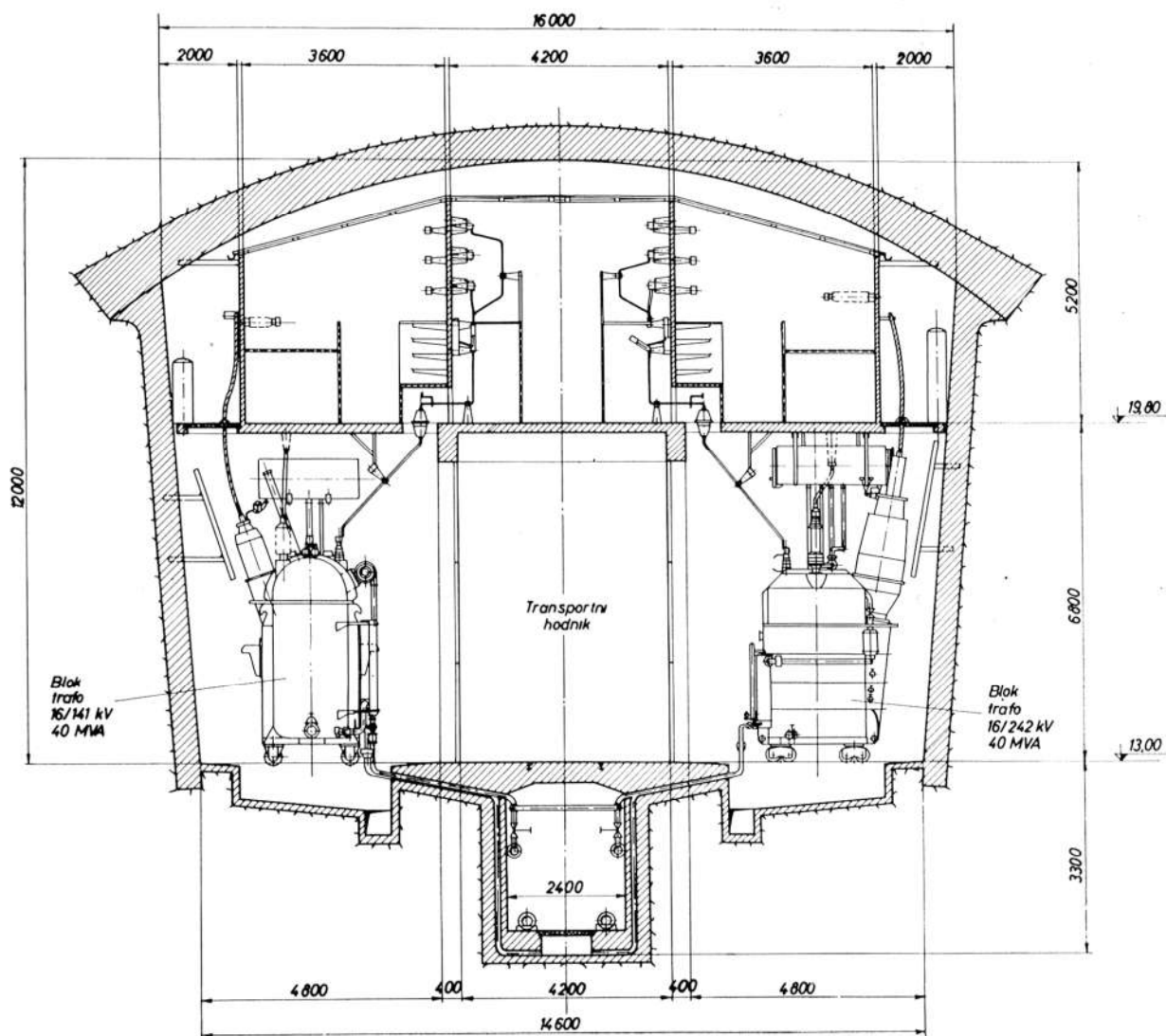
Prostor iznad transformatora korišten je za spojne vodove, izvode nautralne točke i kabelske odvođe, kao i za signalne kabele do kabelskog rova koji vodi do vanjske kaverne. Ispod kote 13,0 u posebnom hodniku su cijevi za rashladnu i drenažnu vodu.



Radi smanjenja raspona, predturbinski zatvarači su smješteni između turbina, u posebnim nišama, čime se znatno uštedilo na iskopu i dobilo čist turbinski prostor. Sa suprotne strane su pumpe za rashladnu vodu. Ovakav smještaj predturbinskih zatvarača omogućio je izvedbu raspona turbinskog kata od 10,8 m. Os dovodnih cjevovoda leži pod kutom 60° prema uzdužnoj osi strojarnice.

Signalni i niskonaponski kabeli u strojarnici provedeni su u posebnim kanalima u turbinskom katu i u katu generatora.

Rasklopno postrojenje 110 i 220 kV smješteno je na vanjskom platou koji leži između odvodnog kanala, brdske mase i rijeke Cetine. Os je platoa po prilici u smjeru sjever-jug. Centralno prema



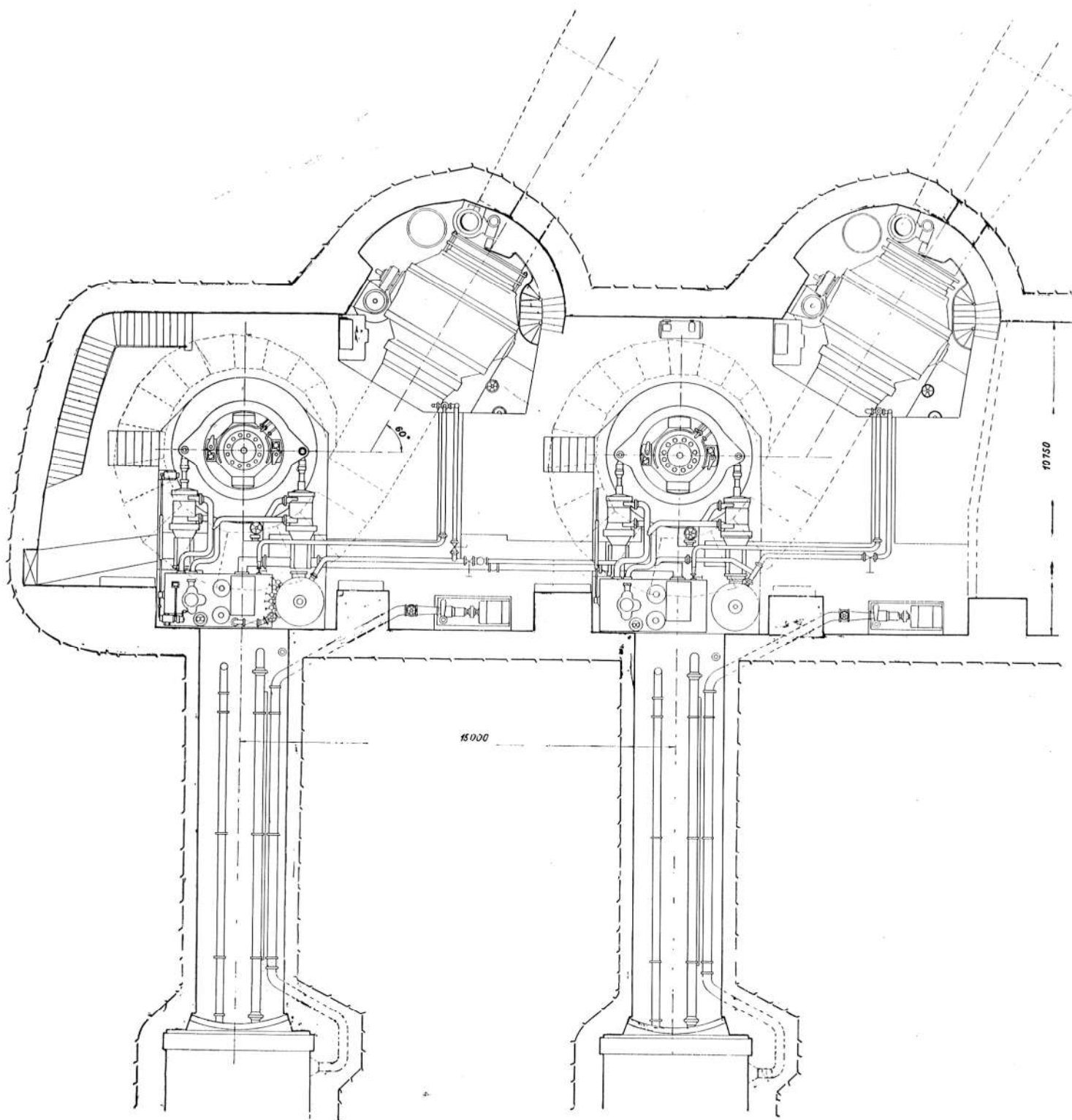
Poprečni presjek kroz postrojenje transformatora sa 16 kV postrojenjem

platou je situirana zgrada komande, u čijem sklopu je kompresorska stanica, rasklopno postrojenje 30 kV za vezu sa vanjskom mrežom, akumulatori, uređaji VF telefonije, komandne, signalne i relejne ploče i brojala te niz pomoćnih prostorija.

Pristup do platoa je cestom iz Omiša, koja ide uz desnu obalu odvodnog kanala te pred ulaznim portalom pristupnog tunela zakreće prema platou.

Postrojenje 220 kV je smješteno bliže odvodnom kanalu, a postrojenje 110 kV se nastavlja do njega. Ovakav smještaj je uvjetovan povoljnijim raspletom vodova 110 i 220 kV. Plato je riješen u četiri terase na kotama 10, 9, 8 i 7 m, kako bi se čim bolje prilagodio terenu.

Rasklopna postrojenja 110 i 220 kV izvedena su sa »miješanim fazama« kako radi pregledne dispozicije i pogonskih prednosti tako i radi uštede u prostoru. Kolika je ta ušteda vidi se iz slike na kojoj je prikazana klasična dispozicija i dispozicija sa »miješanim fazama«. Na taj način je postignuta izvanredna ušteda u prostoru (dužina 169,5 prema 272,0 m !) a dobiveno je vrlo pregledno postrojenje. Time što su sabirnice zavješene iznad spojnih vodova dobivena je daljnja prednost u pogonu, jer se kod isključenog sabirničkog rastavljača na jednom odvodnom polju odnosno rastavljačima može raditi za vrijeme dok je sve ostalo pod naponom.



Tlocrt turbinskog kata

Usprkos tako »zbijenom« rješenju, postignuta je povećana pogonska sigurnost, jer su razmaci sabir-nica na 110 kV: 3,2 m (dovoljno 2,0 m), a na sabirnicama 220 kV: 6,0 m (dovoljno 4,0 m).

Uloženi trud oko rješenja najekonomičnije dispozicije već je potpuno opravdan vrlo dobrim isku-stvima u pogonu, a donio je velike uštede kako na građevinskim radovima za plato, tako i na željez-nim konstrukcijama, signalnim kabelima, cijevima za komprimirani zrak, uzemljenju i ostalim po-moćnim uređajima.

Postrojenje 110 i 220 kV u ovoj elektrani prvo je ove vrste u našoj zemlji i spada u red najsuvreme-nijih rasklopnih postrojenja uopće.

Dužina postrojenja 220 kV iznosi 104,0 m, širina 109,0 m. Dužina postrojenja 110 kV je 58,0 m, a širina 67,0 m. Raspored aparata je normalan.

Između oba postrojenja smješteni su mrežni transformatori da se dobiju najkraće veze i dobre mo-gućnosti transporta transformatora.

Stupovi su rešetkaste konstrukcije na betonskim temeljima. Kabelski hodnici ispod postrojenja su prohodni.

Odvodni organi kojima se energetske iskorištene vode odvođe u smjeru ušća Cetine kod Omiša, sa-stoje se iz 4 aspiratorska odvođa, koji se simetri-čno spajaju u odvodni tunel ($Q = 200,0 \text{ m}^3/\text{sek}$), na koji se nastavlja odvodni kanal. Projicirana du-ljina spoja aspiratorskih odvođa iznosi 47,0 m, odvo-dnog tunela s izlaznom građevinom 295,0 m, a kanala 700,0 m.

Radi što mirnijeg rada turbina i postizanja pot-pune elastičnosti pogona osigurano je otjecanje sa slobodnim vodnim licem kod svih vodostaja Cetine, što traži dosta visoku kotu tjemena tunela (+ 5,76). Potpuno iskorištenje bruto pada do morske razine zahtijevalo je nisku kotu dna odvodnog tunela (– 5,40) i kanala (– 3,50). Uzme li se još u obzir i veliki protok ($200,0 \text{ m}^3/\text{s}$) tada se dobiju velike dimenzije odvodnih organa, od kojih je najznačaj-niji tunel košarastog oblika visine oko 11,0 i širine 9,0 m, dok je širina dna kanala 14,0 m.

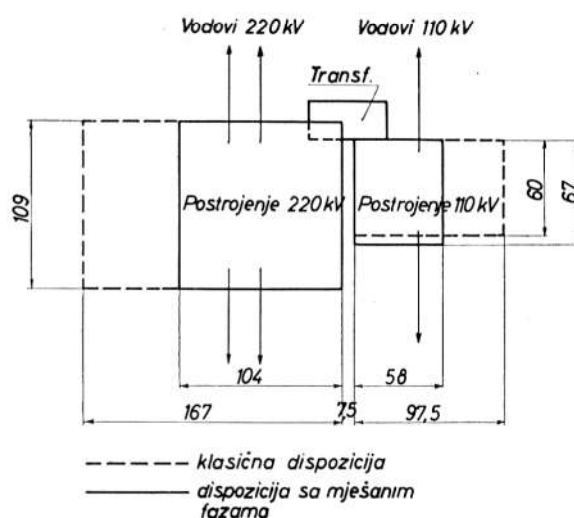
Prelaz iz odvodnog tunela u kanal riješen je izlaz-om građevinom iznad koje prolazi cesta za vezu pristupnog tunela s komandom i rasklopnim pos-trojenjima.

Izlazna građevina lijevkastog oblika ima 3 polja s vodilicama u koje se postavljaju željezne gredne zapornice za slučaj da se ukaže potreba nekog popravka na odvodnom tunelu, koji bi se praznio pumpanjem vode.

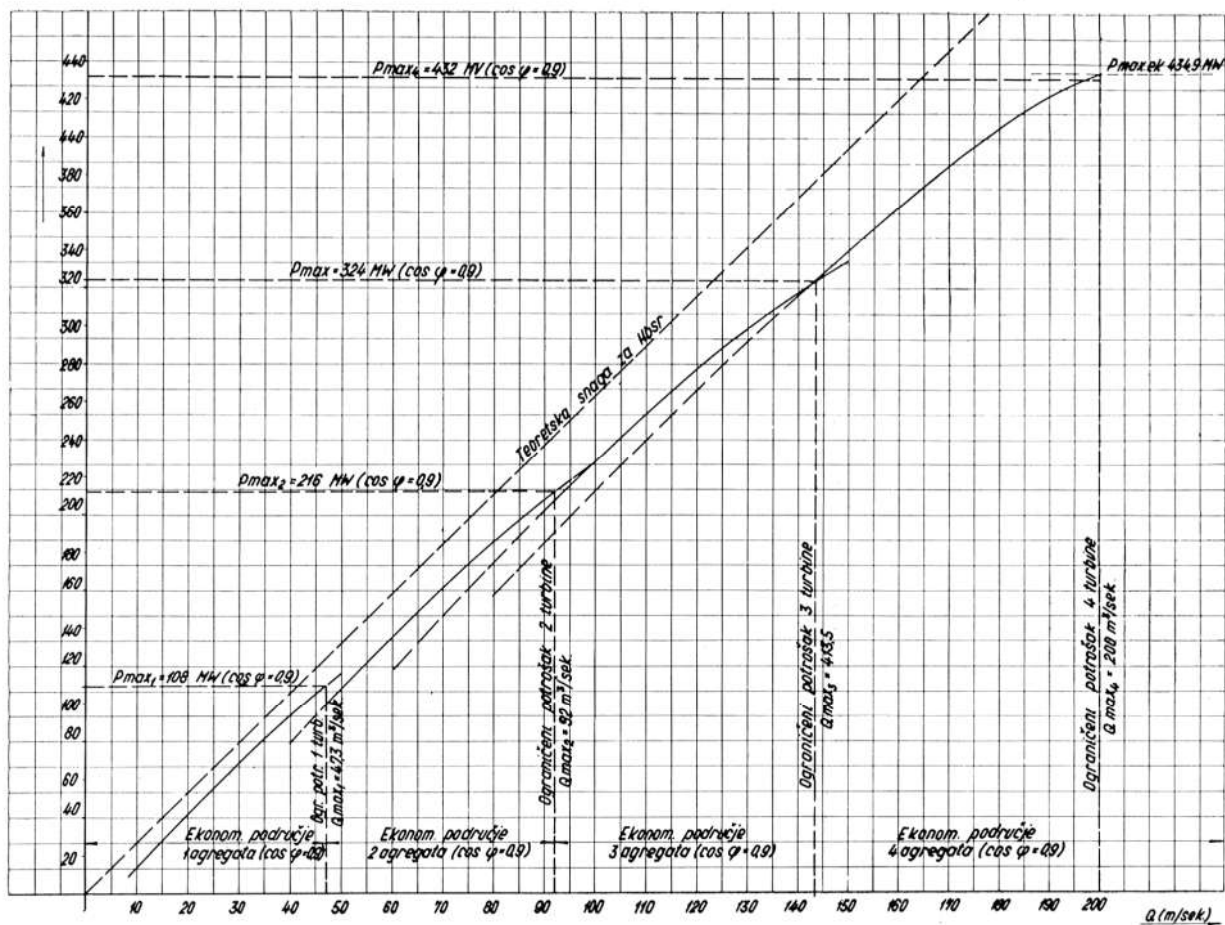
Aspiratorski odvodi, izlazna građevina i dio odvodnog tunela u slabom materijalu, kao i ispod pri-stupnog tunela (križanja), izvedeni su armiranim betonom; jedan dio obloge je iz nabijenog betona, a jedan sektor s dosta dobrom stijenom ostavljen je neobložen i samo su mjestimično postavljena sidra radi osiguranja od eventualnih odrona.

Na odvodnom kanalu obložen je prefabriciranim betonskim pločama samo dio pokosa između kota $\pm 0,0$ i + 3,0 tj. onaj dio na koji bi mogli imati najveći upliv jaki udari vjetra te pozitivni i negativni vodni valovi, koje mogu izazvati manevri turbinama prilikom naglog opterećenja i rasterećenja.

Svi objekti odvođa izvedeni su za definitivnu izgradnju hidroelektrane a na betonskom dijelu aspi-ratora trećeg i četvrtog nemontiranog glavnog agregata postavljene su armirano-betonske plombe, čime je onemogućena poplava strojarne, odnosno turbinskog sprata s kotom poda + 1,20. Nakon montaže agregata druge etape, ove će se plombe ukloniti pod zaštitom aspiratorskih zatvarača. bez prekidanja postojećeg pogona.



Alternativna rješenja postrojenja 110 i 220 kV sa klasičnom dispozicijom i sa miješanim fazama



Krivulja snage

IV. PADOVI I SNAGA ELEKTRANE

Kako je već rečeno, najveći uspor u basenu Prančević iznosi 273,0 m n. m., najniža kota gornje vode 263,0 m, a srednja 269,5 m.

Kote donje vode iznose:

- najviši vodostaj za $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ 1,9 m
- srednji vodostaj 1,5 m
- najniži vodostaj za $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ 0,4 m
- najniži vodostaj Cetine 3,0 m

Bruto padovi iznose:

- najveći 270,0 m
- srednji 268,0 m
- najmanji 261,1 m

Za konstruktivni pad turbine odabran je pad: $H_k = 250,4 \text{ m}$

Elektrana će u konačnoj izgradnji imati 4, a u prvoj etapi ima 2 agregata. Protok od $200 \text{ m}^3/\text{s}$ podijelio se na četiri jednake turbine. One su, dakle, konstruirane za protok od $50,0 \text{ m}^3/\text{s}$, kod konstruktivnog pada od $250,4 \text{ m}$.

Uvaživši sve gubitke (u cjevovodu, turbinama i generatorima, vodovima 16 kV i transformatorima) dobiva se maksimalna snaga na sabirnicama gornjeg napona od 434,9 MW kod rada sva četiri agregata. Ekonomično područje rada 1 agregata sa snagom od 108 MW postiže se kod $47,3 \text{ m}^3/\text{s}$, drugog kod $92 \text{ m}^3/\text{s}$, trećeg kod $143,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Srednji ekvivalent protoka iznosi 2160 kW, s/m^3 , a srednji energetska ekvivalent $0,60 \text{ kWh}/\text{m}^3$.

Gubici u dovodnim organima variraju prema broju agregata u pogonu te iznose:

- kod pogona sa jednim agregatom ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) 4,9 m
- kod pogona sa dva agregata ($100 \text{ m}^3/\text{s}$) 7,1 m
- kod pogona sa tri agregata ($150 \text{ m}^3/\text{s}$) 11,5 m
- kod pogona sa četiri agregata ($200 \text{ m}^3/\text{s}$) 17,6 m

Karakteristični neto padovi iznose:

- $H_n \text{ max} = 265,1 \text{ m}$
- $H_n \text{ sr} = 250,4 \text{ m}$
- $H_n \text{ min} = 243,5 \text{ m}$

V. ELEKTROMAŠINSKA OPREMA

Prilikom izbora **glavne turbine** razmatrana su rješenja sa 300 i 333 o/min koja dolaze u obzir, prema dopuštenom koeficijentu brzohodnosti, za navedeni pad. Rješenje sa 333 o/min imade izvjesne prednosti u pogledu težine turbine i generatora zajedno, ali poskupljuje generator čiji bi rotor morao biti u kovanoj izvedbi što bi zahtijevalo vitlanje u tvornici. Jednostavnija konstrukcija generatora, a i veća sigurnost od kavitacije turbine, navela je na odluku o izboru agregata sa 300 o/min.

Kod konstruktivnog pada od 250,4 m i nazivnog protoka od 50,0 m³/s, turbina razvija snagu od 150.200 KS.

Kod najvećeg neto pada od 265,1 m snaga turbine je s obzirom na kavitaciju i konstrukciju generatora ograničena na 163.000 KS. Kod te snage i na tom padu protok kroz turbinu je 51,3 m³/s.

Specifični broj okretaja turbinskog pogonskog točka, koji na padu od 1 m proizvodi snagu 1 KS, iznosi 106 o/min.

U sporazumu s dobavljačem turbina, odabrana je usisna visina $H_s = -1,9$ m, a kako kota donje vode kod $Q = 50$ m³/s iznosi $+0,4$ m, to se je simetralna ravnina turbinske spirale postavila na koti $-1,5$ m.

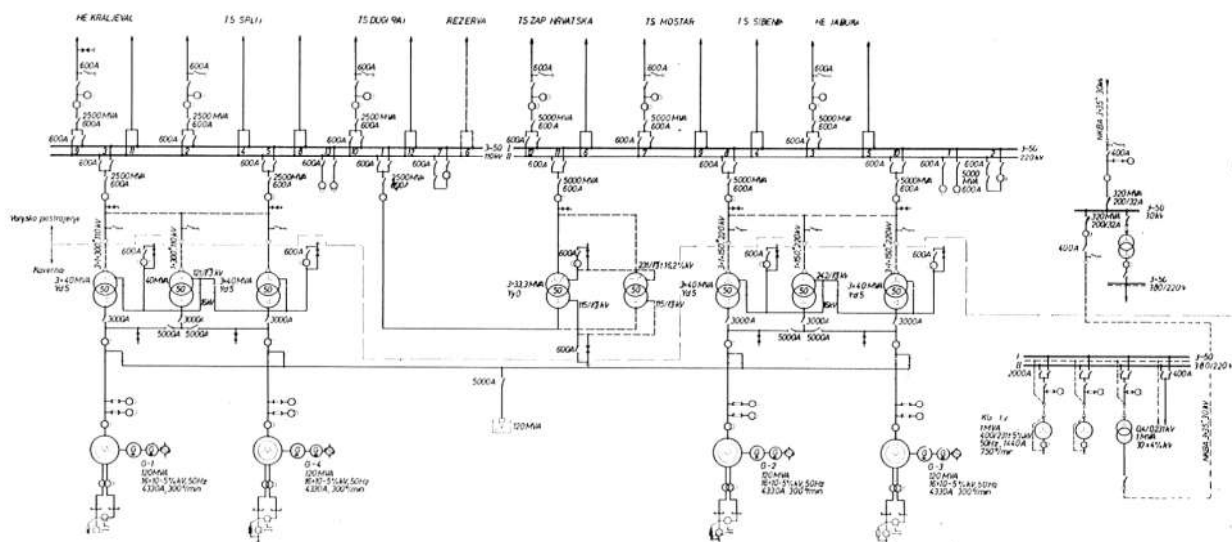
Trenutačne promjene tereta od -25 , -50 i -100% ne izazivaju veće promjene turaže od $+4$, $+7,5$ i $+22\%$. Brzina bijega iznosi 558 o/min.

Produkt L. V. cjevovoda iznosi 1900 m²/s, zamašni moment generatora $MD^2 = 4000$ tm², a maksimalno povećanje tlaka u cjevovodu iznosi najviše 25% statičkog tlaka.

Između turbine i generatora predviđena je međuosovina te se turbinski rotor izvlači iznad turbine. Pristup do difuzora ispod rotora omogućen je posebnim hodnikom iz prostora predturbinskog zatvarača (vidi detaljnije o turbini u izvještaju industrije).

Pogonom turbina upravljaju **turbinski automatski regulatori** akcelerotahimetrijskog principa, sa glavom BBC za električnu regulaciju frekvence i snage. Pogon uređaja za tlačno ulje imade dvostruku sigurnost. Radi sigurnosti i rezerve, uljno tlačni kotlovi oba agregata međusobno su povezani, jedan služi kao rezerva drugom, a kapacitet je tako odabran da i kod nestanka izmjeničnog napona ostane dovoljno tlačnog ulja za zatvaranje turbine (vidi izvještaj industrije o regulaciji).

Predturbinski kuglasti zatvarač montiran je ispred spiralnog kućišta turbine. Ovaj služi kao zatvarač tlačnog cjevovoda i kao sigurnosni zatvarač za zatvaranje pod punim protokom vode kroz turbinu. Sastavljen je iz trodjelnog kućišta od čeličnog ljeva, sa pomičnim dijelom od kovanog čelika te brtvenim prstenima od nerđajućeg čelika (vidi izvještaj industrije). Zatvarač, kojim se upravlja iz ploče strojeva, pri otvaranju tjera tlačno ulje putem servomotora, a pri zatvaranju voda iz tlačnog cjevovoda.



Električna jednopolna shema spoja elektrane

Dvije **kućne Pelton turbine** sa jednim kolom i jednom sapnicom, na horizontalnoj osovini, snage 1150 KS kod pada od 244 m i 750 o/min služe za vlastite potrebe elektrane. Snaga jedne turbine dimenzionirana je tako da može pokriti sve vlastite potrebe elektrane, dok druga turbina služi kao potpuna rezerva. Turbine su opremljene automatskim regulatorima, a upravljaju se sa ploče vlastite pćtrošnje smještene neposredno uz kućne agregate.

Snaga **glavnog generatora** određena je na temelju nazivne snage turbine, koju ova razvija potpuno otvorena kod neto pada u normalnim srednjim vodostajima i zajedničkog rada svih turbina. Kod tih prilika turbina razvija snagu od 150.200 KS te je na temelju toga, uz odabrani faktor snage od 0,9 izabran fazni sinhroni generator ovih karakteristika:

nominalna snaga	120 MVA	nominalni faktor snage	0,9
nominalni napon	16,0 + 10 — 5% kV	nominalna brzina vrtnje	300 o/min.
nominalna struja	4330 A (— 10 + 5%)	brzina pobjega	558 o/min.
frekvencja	50 Hz	zamašni moment MD ²	4.000 tm ²

Generator je sa vertikalnom osovinom upušten u pod strojarnice i direktno spojen sa osovinom turbine. Kratkospojni omjer mu iznosi 1,25 u nezasićenom stanju, a povišenje napona kod 100% rastećenja uz nominalnu uzbudu 26%.

Uzdužne reaktance su slijedeće: sinhrona 88,5%, prolazna 17,3%, početna (subtranzitna) 19,2%, nulta 10,6%.

Generator na temelju proračuna ima stepen djelovanja:

kao $\frac{4}{4}$ tereta	98,48%
$\frac{3}{4}$ tereta	93,30%
$\frac{1}{2}$ tereta	97,90%

Napon glavnih generatora regulira ultrarapidni amplitudinski uređaj sistema »Rade Končar«. Detaljniji opis generatora kao i regulacije napona dat je u izvještaju industrije.

Kao **kućni generatori** djeluju dva sinhrona generatora sa horizontalnom osovinom, gonjena Pelton turbinama. Trajna im je snaga 1000 kVA, faktor snage 0,8, napon 400 V $\pm$ 5%, frekvencja 50 Hz, broj okretaja 750, nazivna struja 1440 A.

Kao druga rezerva za opskrbu pomoćnih pogona služi kućni transformator 1000 kVA, 30 $\pm$ 4%/0,4/0,231 kV koji je spojen na vanjsku mrežu 30 kV.

Transformator je standardne konstrukcije, smješten u podzemnoj kaverni uz ploču niskog napona.

Kao treća rezerva, uz komandu je postavljen transformator 250 kVA 30 $\pm$ 4%/0,4/0,231 kV, koji služi za potrebe vanjskih objekata čvora strojarnice: rasklopnog postrojenja, komande, pomoćnih uređaja i zasunske komore.

Glavni transformatori. S obzirom na veličinu generatora, posebnu rezervu u pogonu, mogućnosti transporta i podzemni smještaj, odabrani su jednofazni transformatori i to u konačnoj izgradnji po tri jednofazne jedinice za svaki generator sa jednom rezervom, tj. sedam jednofaznih transformatora za transformaciju na 110 kV i sedam jednofaznih transformatora za transformaciju na 220 kV. U prvoj etapi su ugrađena 4 blok transformatora za 110 kV stranu i 4 blok transformatora za 220 kV stranu, tj. tri jedinice i po jedna rezerva, generator I spojen je na 110, a generator II na 220 kV.

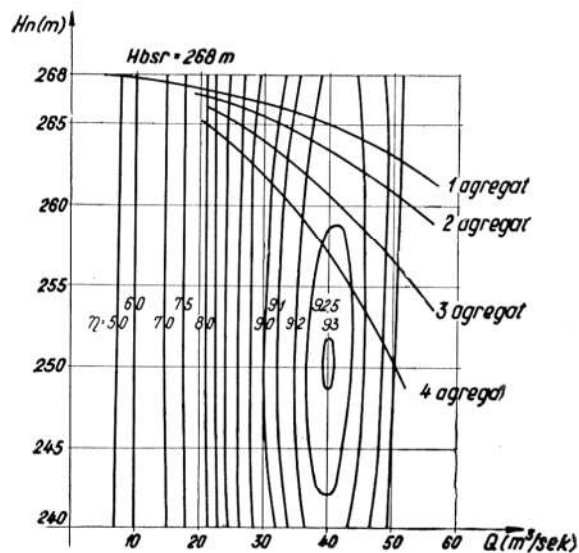
Prva grupa jednofaznih blok transformatora ima ove karakteristike:

— nazivna snaga	40 MVA	— spoj trofazne grupe	Yd5
— nazivni naponi	16/121/V3 kV	— napon kratkog spoja	11%

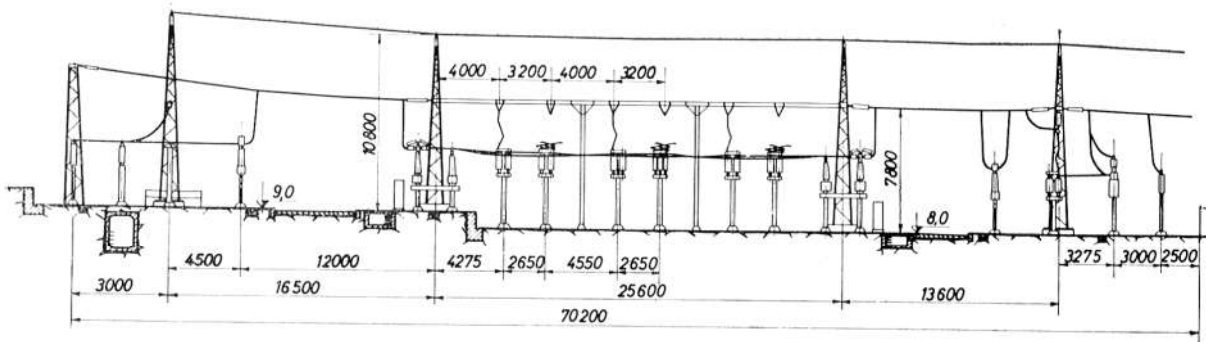
Transformator je hlađen vodom.

Gornji napon odabran je bez otcijepa radi jednostavnosti i veće sigurnosti, ali sa 10% višim naponom od standardnog.

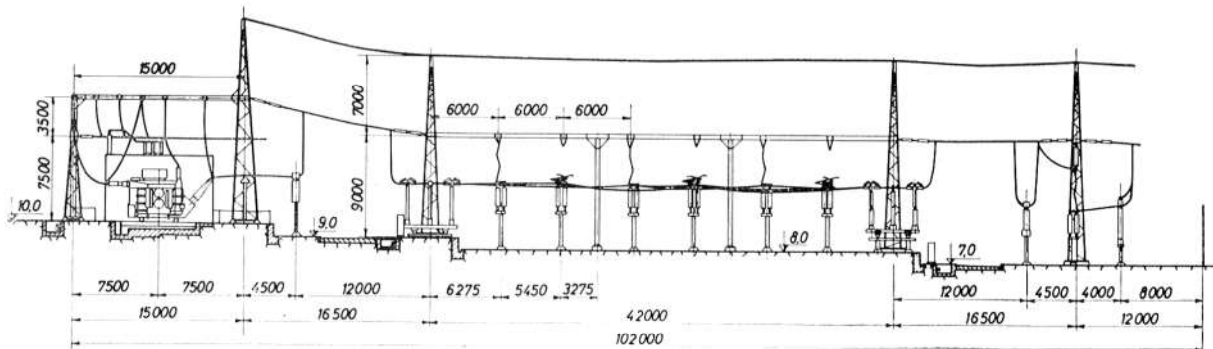
Izvodi višeg napona su u kabelu, nižeg napona provodnim izolatorima isto kao i izvod neutralne točke čiji izolacioni nivo iznosi 60 kV.



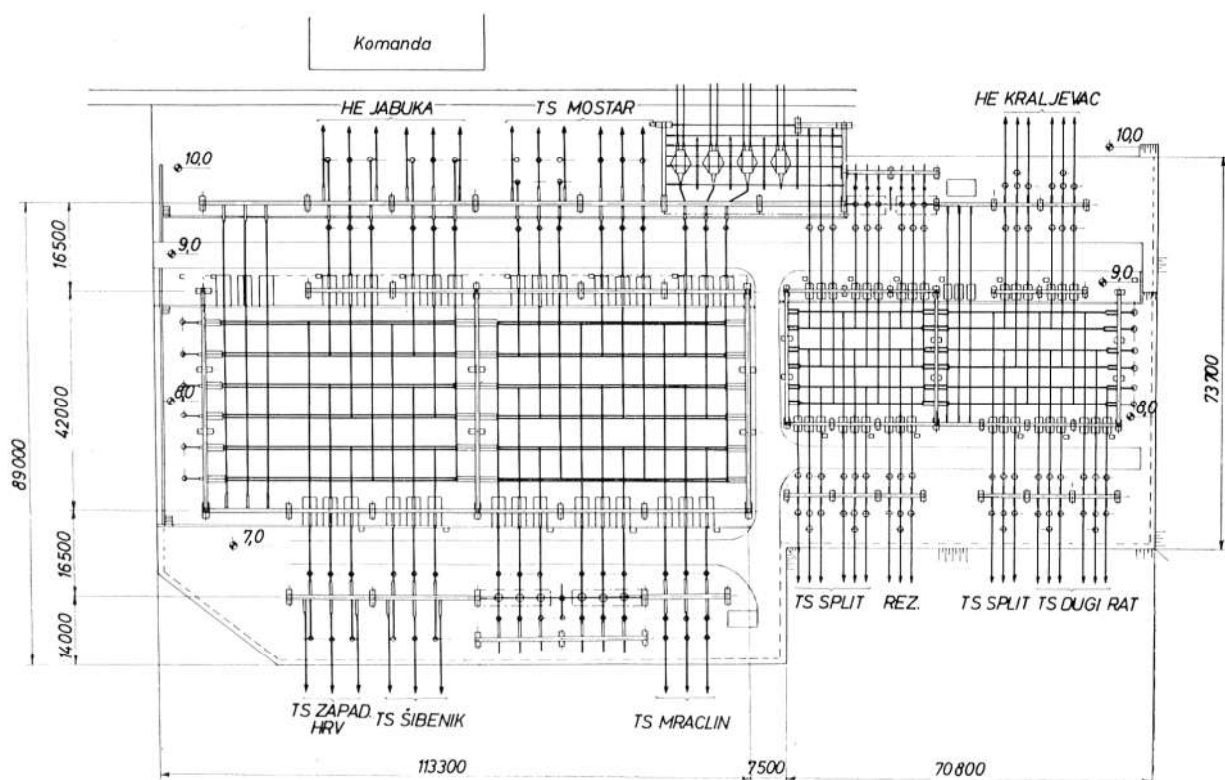
Eksplotaciona krivulja turbine



Presjek kroz karakteristična polja 110 kV



Presjek kroz karakteristična polja 220 kV



Tlocrt rasklopnih postrojenja 110 i 220 kV

Ovi su transformatori izvedbe »Rade Končar«, a u izvještajima industrije nalazi se njihov detaljniji opis.

Druga grupa jednofaznih blok transformatora imade ove karakteristike:

— nazivna snaga	40 MVA	— spoj trofazne grupe	Yd5
— nazivni naponi	16/242/V3 kV	— napon kratkog spoja	12%

Ovi transformatori, isporučeni od tvornice »Siemens«, građeni su na sličnim principima kao i transformatori 40 MVA, 121 kV. Za jezgru je upotrebljen hladno valjani lim, a izrađena je također kao okvirna. Naročita pažnja posvećena je vanjskoj izolaciji namota, zbog vrlo visokog gornjeg napona. Gornjonaponski namot odvojen je od donjonaponskog namota izolacionim cilindrima i kapama, koji su rađeni iz specijalne ljepenke tzv. transformerboard-a.

Transformator je također hlađen vodom, a smještaj hladionika mu je sličan kao i kod transformatora 40 MVA, 121 kV.

Obzirom na potrebe napajanja energijom 110 i 220 kV mreže iz elektrane, bilo je potrebno oba sabirnička sistema povezati transformatorima 110/220 kV. U tu svrhu odabrane su jednofazne jedinice sa jednom rezervom ovih karakteristika:

- nazivna snaga 33,3 MVA (nazivna snaga trofazne grupe 100 MVA);
- nazivna snaga tercijarnog namota 33% snage glavnog namota;
- nazivni naponi $231/\sqrt{3}$ / $115/\sqrt{3}$ / 10,5 kV;
- regulacija pod teretom $\pm 15\%$ na 220 kV strani;
- spoj trofazne grupe YyO;
- tercijalni namot trofazne grupe u zatvorenom trokutu;
- napon kratkog spoja 12%;
- hlađenje uljem, koje se hladi zrakom u prigradenim hladionicima.

Izolacija je 110 kV strane puna, a izolacija 220 kV strane smanjena i stepenovana prema nultočki. Obe nultočke izvedene su i predviđene za kruto uzemljenje.

Dimenzije su transformatora $9,4 \times 4,32 \times 5,08$ m, tj. takve da sa glavnom opremom transformatori mogu proći kroz pristupni tunel visine 5,2 m do glavnog montažnog prostora u strojarnici, tj. primijenjen je tip »Wander transformatora«.

Jednofazni regulacioni transformatori 33,3 MVA isporučeni su od tvornice »Siemens«.

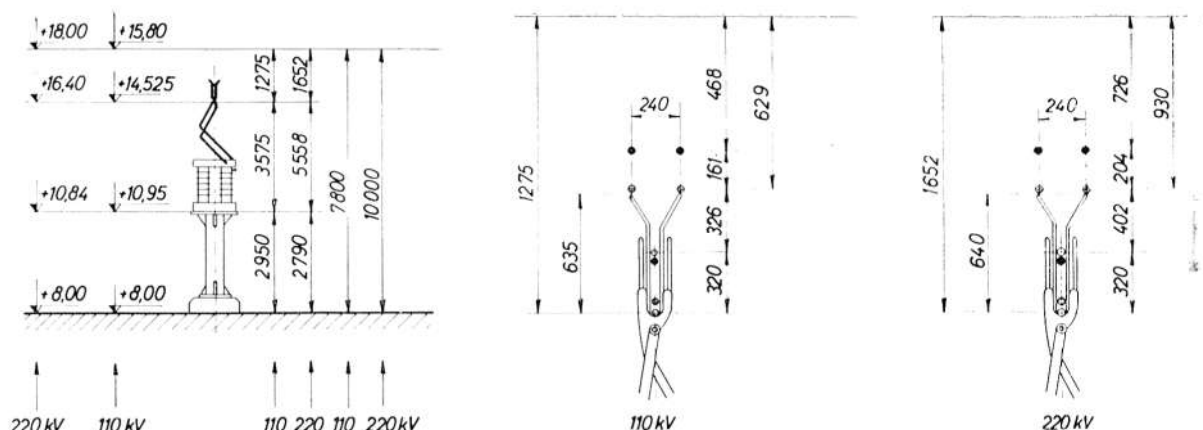
Spojevi višenaponske strane blok transformatora, koji su smješteni u podzemnoj kaverni, sa vanjskim rasklopnim postrojenjem 110 i 220 kV, izvedeni su **jednožilnim uljnim kabelima**. Ovi kabeli počinju zaglavcima u uljnim kutijama prigradenim uz jednofazne transformatore, te se vode gornjim dijelom transformatorske kaverne i kabelskim rovom do zaglavaka za vanjsku montažu, koji su postavljeni slobodno u rasklopnom postrojenju.

Kabeli tvornice »Felten & Guillaume«, Köln, odgovaraju ovim prilikama:

	110 kV	220 kV
Trajna prenosna snaga po kabelu	40 MVA	40 MVA
Nazivni napon prenosa	$121/\sqrt{3} \pm 10 - 5\%$ kV	$224/\sqrt{3} \pm 10 - 5\%$ kV
Prosječna dužina po žili	670 m	680 m
Visinska razlika krajnjih točaka	4,0 m	8,0 m
Najviša temperatura u rovu, bez zagrijavanja od kabela	30°C	30°C
Najveća trajno dozvoljena struja	630 A	400 A
Prenosni gubici kod nazivne snage 120 MVA	90,9 W/m	49,6 W/m
Otpor kod 20°C	0,0595 Ohm/km	0,1191 Ohm/km
Kapacitet	0,36 F/km	0,21 F/km
Dielektrični gubici za 3 faze	4,1 W/m	9,6 W/m
Najmanji radius zakrivljenosti	1,3 m	2,4 m
Presjek vodljivog dijela Cu	300 mm ²	150 mm ²

Kabeli isporučeni u jednom komadu po fazi, položeni su na željezne police smještene na obe strane kabelskog rova, te su učvršćeni aluminijskim obujmicama na udaljenosti 1 odnosno 2 m.

Prilike kratkog spoja ispitivane su na mrežnom analizatoru na perspektivnoj mreži Jugoslavije koju je postavila Zajednica jugoslavenske elektroprivrede u Beogradu sa stanjem za 1970. godinu te na mrežnom analizatoru u Zagrebu sa mrežom daljnje perspektivne izgradnje. Iz ovih ispitivanja moglo se zaključiti da rasklopne snage na 110 kV sabirnicama neće biti veće od 2500 MVA, a na 220



Dimenzije ugradnje pantografskih rastavljača u postrojenju

kV sabirnicama od 5000 MVA, te su ove snage uzete za osnovu računa s time, da se odnosi impendancija odnosno odgovarajućih struja kratkog spoja odrede u istim relativnim omjerima koji su dobiveni nakon ispitivanja na analizatoru.

Na temelju tako provedenog računa dobivene su vrijednosti mjerodavne za izbor i dimenzioniranje aparata.

Sklopke 110 kV izvedene su trolnim, a **sklopke 220 kV** sa jednopolnim brzim ponovnim uklapanjem. Odabrane su pneumatske sklopke »Rade Končar« tip 2Pv 100 g 600 za 110 kV odnosno Pv 220 h 600 za 220 kV. Glavne karakteristike odgovaraju IEC standardima i najnovijim zahtjevima obzirom na titrajni faktor koji iznosi 1,3 kod oba tipa. Maksimalno vrijeme od isklapanja do ponovnog uklapanja iznosi 0,4 s (o sklopkama vidi detaljnije u izvještaju industrije). Na strani 30 kV su odabrane sklopke 400 MVA, a na niskom naponu u generatorskim poljima za 2000 A.

Radi rješenja moderne dispozicije i uštede na trocrtnoj površini, odabrani su **pantograf rastavljači** i to semipantografski rastavljači proizvodnje »Energoinvest«, po licenci »Delle«. Odabrani su rastavljači tipa SYE 11 za 110 kV i nazivnu struju 800 A te SYE 14 za 220 kV. Sabirnički rastavljači imaju zajednički elektropneumatski pogon, a izvedeni su jednopolno, dok su izlazni rastavljači izvedeni trolno, ali također sa elektropneumatskim pogonom. Rastavljači su opremljeni normalnim pomoćnim sklopkama sa po 11 kontakta po polu. Gornji čvrsti kontakt rastavljača izveden je u trapeznom obliku. S obzirom na ograničeni hod užeta u kontaktu (320 mm) bilo je potrebno radi kompenzacije provjesa u sabirnice ugraditi kompenzaciona pera. Ova su dobavljena od talijanske tvornice »Salvi«.

Za mjerna polja uzeti su klasični rastavljači 110 i 220 kV. U postrojenju 16 kV odabrani su također klasični rastavljači sa pneumatskim pogonom, za nazivnu struju 3000 i 5000 A.

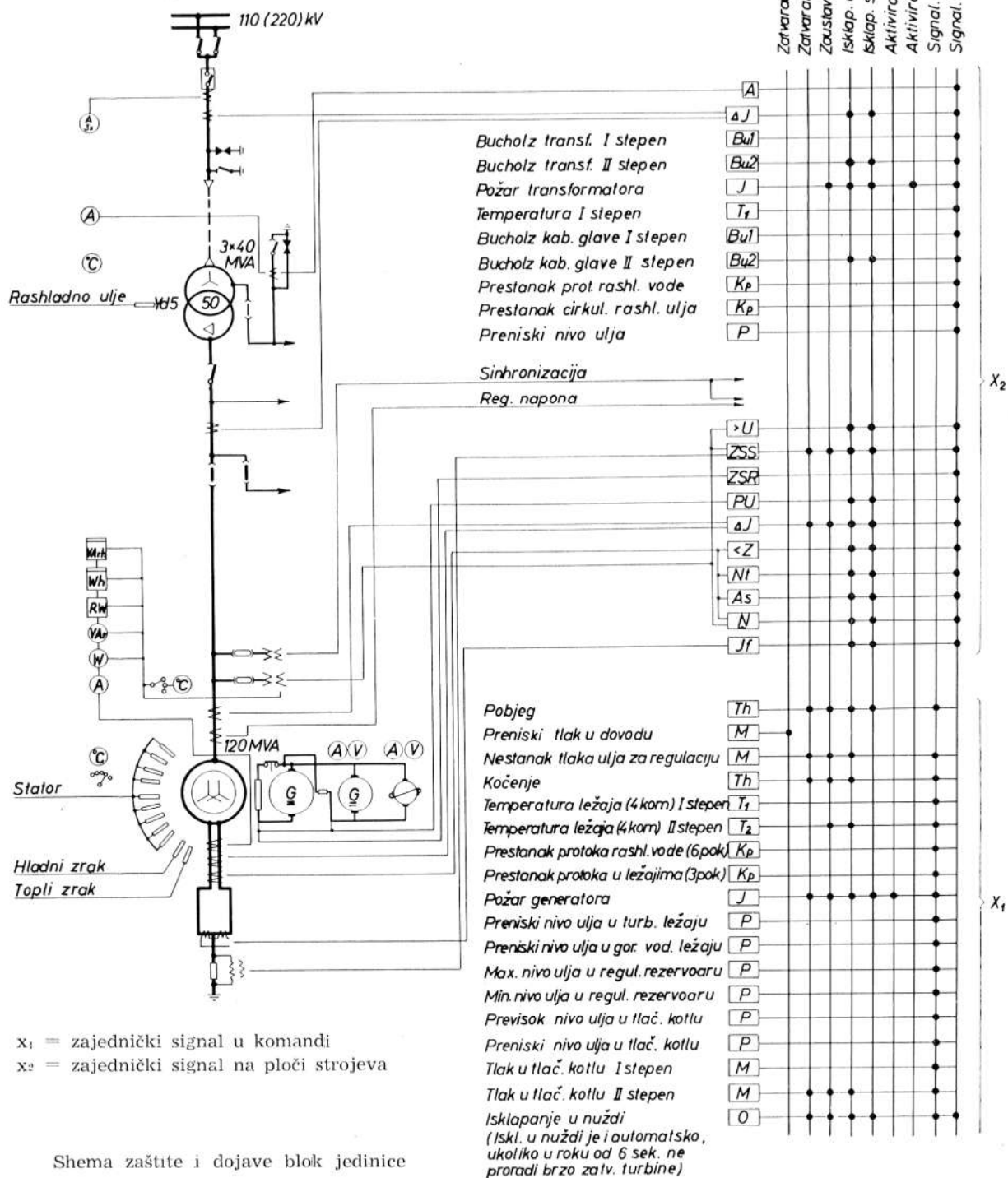
Veze između generatora i transformatora su za struju 4500 A preko golih aluminijskih vodova i to na ravnim potezima sa dva U- profila $120 \times 45 \times 10$ mm, a na otcijepima pomoću plosnatih profila 120×10 mm sa po četiri profila na fazi. Razmatrano je rješenje sa 4 profila za cijeli potez, ali je rješenje sa U-profilima ekonomičnije, jer zahtijeva manje metala (na ukupnoj dužini preko 4,0 tone manje). Razmak faza iznosi 600 mm, a potpornih izolatora najviše 1,8 m. Obzirom na dinamičke sile, upotrebljeni su izolatori SC Q 20 na ravnim dijelovima, gdje je za dimenzioniranje mjerodavan dio struje. Na otcijepima gdje djeluje ukupna struja, upotrebljena su po dva potporna izolatora.

Na otcijepima sa 4 plosnata profila postavljeni su i moždanici iz bronce radi održavanja razmaka i ukrućenja. Spojnice za učvršćivanje vodiča na izolatore izrađene su posebno, jer za ove prilike nema standardnih.

Sabirnice 110 kV i 220 kV su izvedene sa dva Cu užeta 300 mm^2 sa razmakom faza od 3,2 m odnosno 6 m. Zatežu se do 6 kg/mm^2 . Goli aluminij ne dolazi u obzir radi blizine mora i mogućnosti nagrizanja vodiča.

Mjerni transformatori. Strujni transformatori su odabrani prema nominalnim strujama i dinamičkim i termičkim naprezanjima sa termičkim faktorima do $100 I_n$ i dinamičkim do $250 I_n$.

Za naponske transformatore 220 kV su odabrani tipovi sa kapacitativnim djeliteljem napona.



Svi mjerni transformatori su isporučeni od tvornice »Scarpa & Magnano«, Milano (Savona), osim naponskih transformatora 220 kV koji su od tvornice »Galileo« (Padova).

Sistem upravljanja, zaštite i dojave prikazan je na odgovarajućoj shemi. Mrežni transformator opremljen je isto kao i blok transformatori te još ima sekundarnu nadstrujnu i termičku zaštitu. Vodovi 110 i 220 kV imaju distantnu zaštitu najsuvremenije izvedbe.

Komanda elektrane. Kod izbora sistema upravljanja uvažena su najsuvremenija gledišta tehnike. Razmatran je niz varijanti od kojih je odabrana ona sa komandnim pultom opremljenim tzv. »mikroaparaturama«, a u kombinaciji sa svijetlom shemom koja služi za povratnu dojavu. Na taj način je cijelo upravljanje svedeno na jedan pult dužine 5,23 m i širine 1,1 m na kome su uz tamnu shemu spoja smještene »mikro« komandno-potvrđne sklopke i odgovarajući pokazni instrumenti, uređaji za sinhronizaciju, interfon za sporazumijevanje sa strojarnicom itd.

Na zidu, nasuprot pultu, smještena je svijetla shema u 3 boje za razne napone koja vjerno prikazuje cjelokupnu shemu spoja elektrane. Sa strane je ploča hidrauličke i kompletne signalizacija. U posebnoj prostoriji su ploče releja i brojila.

O pomoćnim pogonima, koji obuhvaćaju znatan dio uređaja hidroelektrane, spominjemo najvažnije:

Sa glavne ploče niskog napona napaja se niz razdjelnika u cijelom postrojenju, a na njih su priključeni svi potrošači, motori, rasvjeta i ostalo.

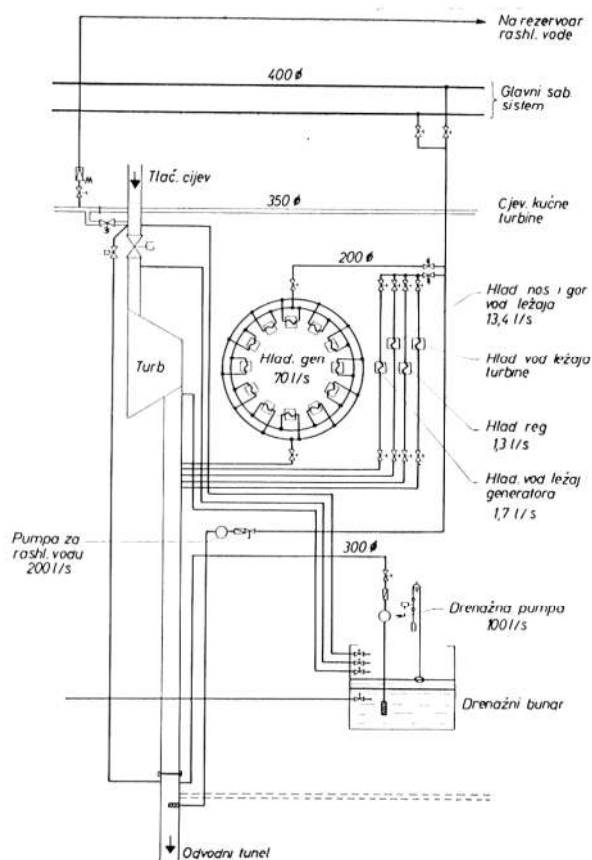
Za opskrbu istosmjernom strujom služe 2 čelična stacionarne akumulatorske baterije 220 V, kapaciteta po 305 Ah kod 10 h pražnjenja, od kojih je jedna smještena u kaverni, a druga uz komandu. Rezervna rasvjeta uklapa se automatski, a izvedena je kao posebna instalacija.

Za opskrbu komprimiranim zrakom služe dva kompresorska uređaja. Jedan za vanjska rasklopna postrojenja sa 3 kompresorska agregata po 40 m³/h dobave sa 5 rezervoara po 1500 l koji su smješteni u kompresorskoj stanici i na vanjskim postrojenjima 110 i 220 kV. Drugi kompresorski uređaj je predviđen za dobavu 80 l/min sa rezervoarom od 100 l, a služi za opskrbu pogona rastavljača u 16 kV postrojenju. Ovaj se nalazi u kaverni na koti 19,95.

Uređaj rashladne vode pokriva potrebe potpuno opterećene elektrane koje iznose oko 400 l/s. U tu su svrhu predviđene 4 pumpe po 150 l/s za manometarski tlak od 42 m, od kojih jedna služi za rezervu. Pumpe dobavljaju vodu iz odvodnog kanala u glavni sabirni cjevovod promjera 400 mm koji je povezan sa rezervoarom 400 m³, koji služi kao krajnja rezerva za oko 15 minuta pogona. Predviđena je i mogućnost uzimanja vode iz tlačnih cijevi putem Johnson zatvarača maksimalnog kapaciteta 800 l/s. Rashladni sistem svakog agregata čini cjelinu koja je opet dio kompletnog sistema.

Drenažne, otpadne i procjedne vode crpe bunarske crpke ugrađene kod svakog agregata. Ove crpke prazne difuzor turbine kao i tlačni cjevovod ispod razine donje vode u odvodnom kanalu. Kapacitet svake crpke je 100 l/s, a visina crpenja 12 m. Pogon crpke je automatiziran prema nivou vode u drenažnom bunaru. Cijevni sistem drenažnog uređaja omogućava i pražnjenje tlačnog cjevovoda do kote donje vode izravno u odvodni kanal. Pojedini drenažni bunari su međusobno spojeni, da crpka jednog agregata služi kao rezerva drugome.

Uređaj za klimatizaciju i ventilaciju obuhvaća rashladni agregat sa freonom 12, korisnog rashladnog učina 160.000 Kcal/h te niz pomoćnih ventilatora koji osiguravaju potrebno strujanje zraka, miješanje i klimatiziranje. Cijeli uređaj je potpuno automatiziran, a opskrbljen je potrebnim automat-



Rashladni i drenažni sistem jednog agregata

skim električnim aparatima za upravljanje, signalizaciju i regulaciju. Klima uređaj isporučili su »Sigma & Frigotherm« Mannheim i »Ventilator« Zagreb.

Protupožarni uređaji obuhvaćaju CO_2 zaštitu svakog generatora, zaštitu raspršnom vodom blok- i mrežnih transformatora. Ove uređaje u klasičnoj izvedbi isporučila je firma »Walter«, Köln.

Poluportalne dizalice su odabrane u skladu sa arhitektonskim rješenjem strojarnice i radi što boljeg prilagođenja profilu kaverne, koji time dobiva najmanje dimenzije. Nosivost svake dizalice je 160 tona, jer je rotor generatora težak 318 tona. S obzirom na rješenje montaže pomoću dvije poluportalne dizalice potrebna je uz dizalicu i pomoćna traverza. Svi montažni radovi obavljaju se jednom dizalicom, a za transport i montažu kompletnog rotora potrebne su dvije dizalice. Iz jedne kabine moguće je sinhrono upravljanje sa obe dizalice. Pomoćna kuka od 10 tona služi za dizanje i prenašanje manjih tereta.

U turbinskom prostoru je predviđena pomoćna dizalica (koloturnik) od 10 tona na traverzi za transport turbinskih dijelova do montažnog otvora.

Za transport difuzorskih zapornica predviđena je posebna dizalica odnosno koloturnik, koji je smješten u kaverni paralelno sa glavnom kavernom.

Da bi se izbjegla gradnja vanjskog montažnog tornja predviđeno je da se kod radova na mrežnim transformatorima, koji su smješteni vani uz rasklopno postrojenje, ovi dovlače u podzemnu kavernu preko tračnica, na montažni prostor. U tu svrhu izrađeni su sa horizontalno položenim provodnim izolatorima.

Sistem uzemljenja. Izvedeno je jedinstveno uzemljenje za sve napone, te su sva zaštitna i pogonska uzemljenja spojena zajedno. Radi dimenzioniranja uzemljenja poduzeta su prethodna mjerenja te je ustanovljeno da je specifični otpor tla platoa vanjskog rasklopnog postrojenja vrlo nizak. On iznosi u prosjeku 35 Oma m do 80 cm dubine, a 60 Oma m zadržava i do 18 m dubine. Radi sigurnosti odabrana je za račun vrijednost od 70 Oma m.

Kao mjerodavna struja za dimenzioniranje uzemljenja uzeta je struja 10.000 A, koja predstavlja veći udio struje jednopolnog kratkog spoja (mreža i elektrana). Ova struja uzeta je u račun zato, jer je elektrana spojena na mrežu sa krutim uzemljenjem, te su i neutralne točke transformatora snage uzemljene.

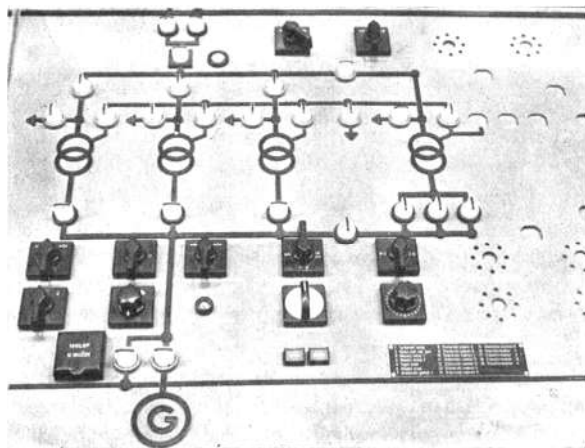
Na vanjskom platou je položeno oko 1500 m bakrenog užeta 120 mm² u obliku zamkaste mreže u prirodnom terenu da bi se realizirao potreban otpor.

Na osnovno uzemljenje nabacana je mješavina iskopa iz kaverne strojarnice da bi se dobila potrebna površina za izgradnju rasklopnog postrojenja. Ovaj nabačaj je mjestimično visok i do 7 m, jer se prirodni teren spušta prema koritu Cetine. Na samome platou položeno je još preko 2000 m trake, što poboljšava prilike.

Za uzemljenje i odvod struje koriste se osim toga željezne armature betona podzemne kaverne i čelični tlačni cjevovodi, željezne konstrukcije zasunske komore te zemna užeta dalekovoda koja ulaze u elektranu. Računom je dobiveno da će osnovna mreža odvoditi 55,3% dozemne struje, mase u postrojenju 15,3%, a zemna užeta dalekovoda 29,4%.

Računom je dobiven ukupni otpor uzemljenja od 0,19 Oma. Naponi dodira i koraka su u dopuštenim granicama u skladu sa jugoslavenskim propisima.

Mjerenja izvršena neposredno prije puštanja u pogon prvog agregata pokazala su ispravnost postavljene koncepcije i potvrdila su računске vrijednosti otpora rasprostiranja uzemljivača, naime izmjereno je 0,08 Oma.



Detalj komandnog pulta — polje mrežnih transformatora

IZVJEŠTAJI GRAĐEVINSKIH IZVOĐAČA

Konstruktor

GRAĐEVINSKO PODUZEĆE

Građevinske radove nizvodnog dijela HE »Split« izvodilo je građevno poduzeće »Konstruktor« Split. Ovaj je dio bio podijeljen na dva gradilišta i to: gradilište Gata i gradilište Zakućac.

Gradilište Zakućac se sastojalo od podzemne strojarnice sa pripadajućim pristupnim i odvodnim organima, te rasklopnim postrojenjem.

Gradilište Gata je obuhvatilo 3,3 km dovodnog tunela, čvor vodnih komora i zasunske komore te četiri tlačna vertikalna cjevovoda.

Osim radova detaljnije opisanih u daljnjem tekstu, odvijali su se paralelno i radovi na ostalim objektima ovih gradilišta, od kojih su mnogi bili vrlo interesantni koliko s tehničkog gledišta toliko i po postignutim radnim učincima. Ostaje da se ta iskustva iznesu drugom prilikom.

Pripremni radovima na gradilištu Zakućac otpočelo se 1. VI 1958, a na gradilištu Gata 1. IX 1957. godine.

GRADILIŠTE ZAKUĆAC

Projekat građenja strojarnice. Kod razrade ovog projekta nametnula su se slijedeća pitanja, koja su tražila zadovoljavajuća rješenja:

- izbor mehanizacije za iskop i transport
- komunikacije unutar prostora strojarnice, kao i pristup pojedinim radnim horizontima u strojarnici;
- osiguranje velikih ploha otkopa;
- mehanizacija i doprema betona na radno mjesto;
- ventilacija

Izbor snažne mehanizacije za iskop i transport uvjetovali su:

- geološki i petrografski sastav brda (kompaktna stijena);
- vrlo velike dimenzije podzemne kaverne za smještaj strojarnice i trafo-postrojenja (dužina 146 m, širina 20,5 m, visina 39 m);
- planirani kratak rok građenja

Za maksimalno korištenje mehanizacije bilo je potrebno pripremiti pristupe za svaki radni horizont, kako bi odvoz i utovar otpucanog materijala iziskivao minimum radnog vremena. Takav je rad zahtijevao otvaranje većih profila, pa prema tome i opasnost od urušavanja, odnosno neželjeno proširenje profila. Da bi se ovakovi slučajevi isključili, trebalo je osigurati površinu otkopa sprečavajući statičko pomicanje tlačne linije formiranih svodova te oslobađanje napona u brdskom materijalu, a da se izbjegnu podgrade koje ometaju saobraćaj i kretanje teških strojeva.

Velike odvale i rad brojnih strojeva u zatvorenom prostoru traže čestu izmjenu zraka o čemu je trebalo voditi posebno računa.

Za dopremu gotovog betona, oplata i betonskog željeza u turbinski i generatorski prostor, nakon već dogotovljenog iskopa, trebalo je naći najpovoljnije i najekonomičnije rješenje, pošto osnovni projekat nije omogućio da se koriste definitivne kranske staze, koje su se imale postaviti nakon dovršenih betonskih radova.

Ovako postavljenim problemima pristupilo se konkretnom rješavanju projekta građenja. Svestranom analizom dobio se odgovor na pojedina pitanja, kako slijedi:

- Da se nabavlja što manje nove mehanizacije, kao i da se upotrebi ona kojom smo raspolagali, odlučili smo se za utovarivače Eimco 105 odnosno 104, čiji je radni kapacitet cca 70–80 m³/sat, te dumper Foden od 9,0 tona i Euclid od 15,0 tona. Bušenje minskih rupa vršeno je pištoljima domaće proizvodnje RK-21 i vidia svrdlima.
- Kako je već navedeno, do kaverne strojarnice vode tri tunela u raznim visinama i raznih dužina, koji su bili svaki za sebe, manje ili više pogodni za transport i pristup odgovarajućim horizontima strojarnice.

Za glavnu komunikaciju do kaverne strojarnice, izabran je bio pristupni tunel s razloga što on završava u strojarnici na koti + 13,15 otprilike u polovini visine i približno u sredini duljine; što je projektirani profil dozvoljavao prolaz izabrane mehanizacije, što izvedba tunela nije bila komplicirana, ni obzirom na materijale, ni obzirom na vodu i geološke uvjete. Korištenje ovog tunela nije dovodilo u pitanje izvedbu ostalih objekata, a visinski je položen iznad donje vode pak nije bilo ni opasnosti od poplava. Trasa pristupnog tunela siječe osovinu odvodnog tunela na cca 120 m od portala. Na ovom se mjestu mogla izvesti silazna rampa do kalote odvodnog tunela za pristup donjim kotama strojarnice.

Kabelski rov nije bio pogodan radi malog profila, kroz koji nije mogla prolaziti odabrana mehanizacija bez proširenja. Osim toga visinski je završavao u podu kalote strojarnice, te prostorno nije odgovarao pristupu na niže kote.

Strojarnica. Pogled na gradilište Zakućac, odvodni kanal i rasklopno postrojenje



Odvodni tunel, položen ispod $\pm 0,00$, završava prema vani izlaznom građevinom, koja se, kao samostalni objekat vrlo velikih dimenzija, smatrala vrlo teškim i kompliciranim pothvatom. Prema strojarnici, odvodni tunel završava kompliciranom četverokrakom račvom na najnižim kotama strojarnice. Osim toga, moglo se očekivati znatan priliv vode na dijelu prolaza tunela kroz lošije materijale uz portal.

Osim navedenoga, zajednički napad na sva tri tunela iziskivao bi trostruku organizaciju, bez garancije da će se na taj način stići strojarnici ranije.

Za pristup kaloti iz pristupnog tunela, u prostoru strojarnice, na koti $+ 21,0$ izveden je jedan krug spirale u nagibu cca 15%. Izbiveni profil od 18 m^2 odgovarao je za prolaz 9-tonskih dumpera Foden i utovarivača Eimco 105 odnosno 104.

U produženju pristupnog tunela probijena je galerija do tlačnih cjevovoda za odvoz otpucanog materijala kod proširenja cjevovoda. Na stacionaži $+ 120 \text{ m}$ od portala pristupnog tunela, niskopom se pristupilo kaloti odvodnog tunela na koti $+ 0,4$. Sa te kote izvedeni su pristupi donjim kotama turbinskog prostora i to na koti $+ 3,0$ kroz kalotu II odvoda, na kotu $- 0,8$ kroz kalotu III odvoda te konačno kroz sva četiri odvoda i aspiratore do najniže kote iskopa $- 10,50$.

— Slobodne površine otkopa zamišljalo se osigurati upotrebom perfo-ankera, torkretom odnosno žičanom mrežom i kombinacijom ovih sistema.

Primjenom perfo-ankera očekivalo se bolje i potpunije povezivanje većih ploha, a naročito otkopanog krova strojarnice. U izbušenu minsku rupu dubine 2,0 i više metara unese se pomoću perforiranog lima izvjesna količina maltera, koji se utiskivanjem čelične šipke istisne kroz šupljine na limu u minsku rupu i tako zacementira uguranu čeličnu šipku. Ovako armirana stijena predstavlja sigurnu i trajnu konstrukciju. Probim opterećenjem perfo-ankera ustanovljeno je da čelična šipka $\phi 22 \text{ mm}$ čvrstoće 52 kg/mm^2 može

izdržati do 25 tona, a da pri tom nastupa preopterećenje čelika, dok malter izdržava opterećenje.

Slojevi torkreta raznih debljina, od 3 i više cm, mogu se vrlo dobro primijeniti kod lošijih materijala manjih profila iskopa ili u boljim materijalima većih iskopa i vertikalnih ploha kad treba spriječiti odronjavanje labavih dijelova stijene.

Žičana mreža pričvršćena ankerima o stijenu zaštićuje radni prostor od odrona labavih dijelova stijene.

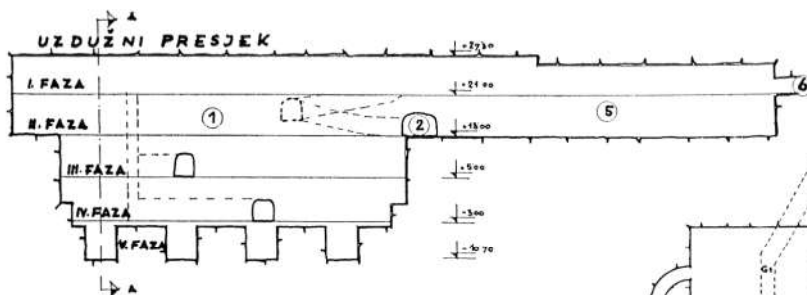
Kombinacijom dva, pa čak i sva tri ova sistema postizava se osiguranje u onim slučajevima, kad nije dovoljna primjena samo jednog načina.

Sistematskom i pravovremenom upotrebom perfo-ankera neposredno nakon otpucavanja, mogu se sa uspjehom spriječiti posljedice oslobađanja napona u brdu izazvanih naglom promjenom prirodnog stanja.

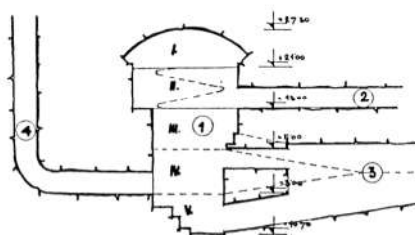
— Betonski radovi u turbinskom i generatorskom prostoru nametali su rješenje dopreme na radno mjesto betona, oplata i čelične armature. Nakon dovršenih iskopa tog dijela, svi pristupi su bili iskopom zakrčeni. Postavljanjem kranskog mosta na rasponu od $19,5 \text{ m}$, koji se kretao u produžnom smjeru bila je omogućena doprema raznih materijala na svaku točku radnog prostora. Interesantno je rješenje vješanja kranske staze o bočne stijene iskopa na koti $+ 19,6$. Betonske staze izbetonirane uz stijenu ovještene o perfo-ankere izdržale su opterećenja bez ikakvih vidljivih deformacija, iako je opterećenje jednog točka mosta bez dinamičnih udara bilo cca $10,0 \text{ tona}$.

Glavni dio betonskih radova izvršen je uz pomoć postavljenog kranskog mosta, dok je manji dio dovršen betonskom pumpom.

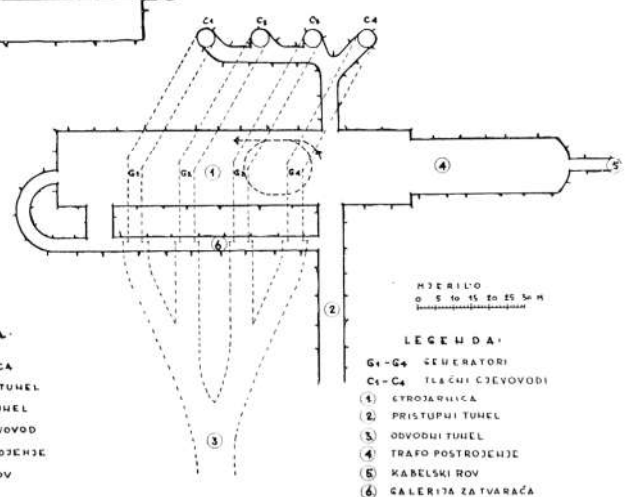
Dumperima bez koša dopremao se beton na dohvat kрана, a vozio se u posudama sa pokretnim dnom od $2,0 \text{ m}^3$.



POPREČNI PRESJEK A-A



Iskop strojarnice



Iskop strojarnice i kosog rova

— U napredovanju iskopa pristupnog tunela svježi se zrak dopremao tlačenjem kroz cijevi promjera 630 mm. Istovremeno se nastavljalo iskopom kablenskog rova kroz strojarnicu do iznad pristupnog tunela. Spojem ovih dvaju tunela u prostoru strojarnice stvorila se prirodna cirkulacija zraka potpomognuta tlačnim ventilatorom pred portalom pristupnog tunela i usisnim ventilatorom u kablenskom rovu.

U slijedećim fazama iskopa povezan je horizont — 3,0 i viši kanali prema kablenskom rovu te je priključenjem tlačnog ventilatora na taj horizont stvorena cirkulacija.

Izvršenje radova. Nakon dovršenog pristupa kaloti strojarnice i trafo-postrojenjima na kotu + 21,0 spiralom, nastavilo se naizmjence iskopom tjemnog prosjeka na obe strane od pristupnog tunela. Pokušaj da se kalota otkapa u punom profilu nije zadovoljavao, pošto je bilo vrlo teško održavati oblik ovako velike napadne površine.

Radna grupa sastojala se od ukupno 15 radnika sa osam pištolja u jednoj smjeni zajedno sa servisnim mehaničarom i električarom te paliocem mina. Za vrijeme utovara na jednoj strani, bušilo se na drugoj strani. Ukupni utrošak eksploziva je bio 1,04 kg/m³ srasle stijene kalote, od toga 45% vitezit 40, a 55% vitezit 50. Paljenje je bilo električno sa vremenskim upaljačima domaće proizvodnje. Materijal se utovarivao utovarivačem na gusjenice Eimco 104, a odvozio dumperima Foden od 9,0 tona.

Dok se iskopavao tjemeni prosjek, a i za vrijeme proširenja kalote, pristupili smo niskopom iz pristupnog tunela u kalotu odvodnog tunela na kotu + 0,4 da bi omogućili odvoz materijala iz donjih kota strojarnice. Izbijanjem ovog pristupa na koti + 3,0 i — 5,0 m omogućili smo izvedbu vertikalnog okna do kote + 21,0 t. j. poda kalote strojarnice, kako bi donje kote strojarnice i odvodni tunel uključili u jedinstveni ventilacioni sistem.

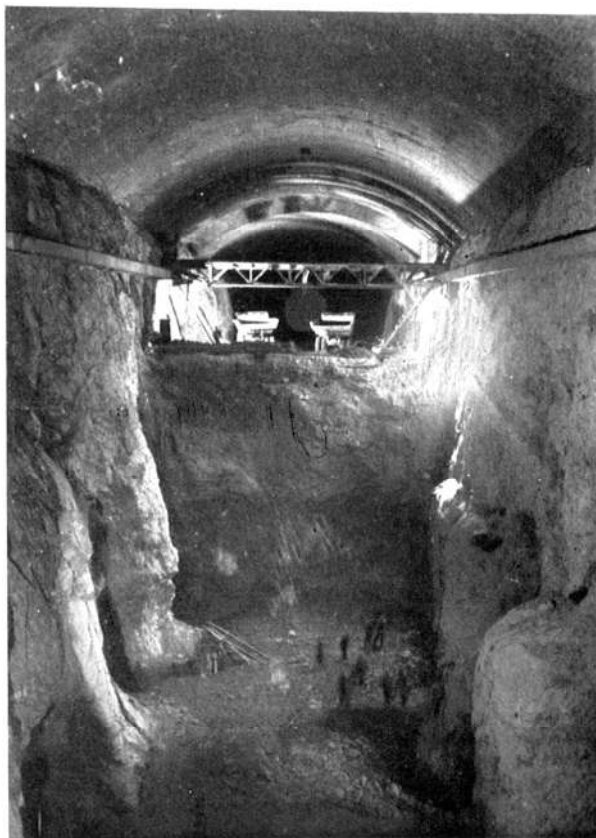
Svod raspona 19,5 izbijen bez podgrade, bio je osiguran perfo-ankerima, koji su se sistematski pobijali svakih 1,6 m u oba smjera, dubine 2,0 m. Tamo gdje su slojevi bili jače poremećeni kao i nad petama svoda pobijani su ankeri i do 5,0 m dubine.

Tek pošto je izbijanje većeg dijela kalote bilo dovršeno, pristupilo se betoniranju svoda. Beton se pripremao u prostoru kalote, gdje su bile postavljene miješalice, a transporterom se dopremao u oplatu. Dužina pojedine oplate je 3,0 m, položene na kliznu skelu koja je podgrađivana na mjestu betoniranja ispod svakog čvora.

Betonirano je naizmjenice na dvije oplate, dakle, 6,0 m kalote u tri dana, zahvaljujući postignutim vrlo dobrim čvrstoćama betona, koje su dozvoljavale opuštanje skele uz propisanu sigurnost nakon 24 sata.

Jezgra strojarnice, visine 8,0 m između kote + 21,0 i + 13,15 izbijana je u punom profilu. Jedna odvala dubine 3,0 m odgovara 470 m³ srasle stijene. Da bi se bušenje obavljalo bez skela i da se odvala ne usmjeri prema betoniranoj kaloti, na vrhu čela bušene su 2,5 m vertikalne minske rupe. Ostale rupe bušene su horizontalno na otpucani materijal. Ukupan utrošak eksploziva bio je 0,44 kg/m³ srasle stijene, od čega 40% vitezit 40, a 60% vitezit 50. Sastav radne grupe je kao i u kaloti. Materijal je utovarivan utovarivačem na gusjenicama Eimco 105, kapaciteta cca 80 m³/h, i odvožen dumperima Euclid od 15,0 tona. Dnevni učinak u jezgri kretao se i do 750 m³ srasle stijene.

Na nižim kotama strojarnice radilo se na isti način kao i na dijelu jezgre između kote + 13,15 do + 21,0.



Radovi na iskopu strojarnice nakon izbijanja 3 etaže

Pristup mehanizacije za rad i odvoz iskopa niže od kote 13,15 omogućen je kroz pristupni tunel, niskopom u nagibu od 15% i kalotom odvodnog tunela do odgovarajućeg radnog horizonta.

U vrijeme izbijanja dijela jezgre od kote + 13,15 i + 21,0 dovršeno je vješanje provizorne kranske staze na koti + 19,60. Nakon dovršenih iskopa u turbinjskom i generatorskom prostoru montiran je poslužni provizorni kran nosivosti 5,0 tona opremljen mačkom na električni pogon. Ovim kranom dopremao se beton, oplate i betonsko željezo na svaki položaj radnog prostora nižih kota strojarnice, a koristio se i za montažu manjih dijelova.

Betoniranje je napredovalo samo toliko, koliko je bilo potrebno za početak montaže glavnih strojeva u strojarnici. Daljnji rad se odvijao paralelno sa montažom. Ovakovi uzajamno teški uvjeti svladani su na zadovoljstvo sa rokom nešto ranijim od planiranog, a godinu dana ranije od projektom postavljenog.

Na objektima gradilišta Zakućac bilo je projektom predviđeno izvršiti slijedeće radove:

— podzemni iskop	117.680 m ³
— vanjski iskop	269.310 m ³
— beton	63.675 m ³
— betonsko željezo	1.100 tona

Ukupno su do 15. VIII 1961. izvršeni radovi:

— podzemni iskop	117.242 m ³
— vanjski iskop	296.890 m ³
— beton	42.996 m ³
— betonsko željezo	6.775 tona

Razlike izvedenih i predviđenih količina proizlaze zbog naknadnih izmjena projekta, a prema stvarnim uvjetima terena. Ovim su dovršeni svi glavni konstruktivni dijelovi strojnarnice kao i ostalih objekata. Još se nastavljaju obrtnički i završni radovi, bez kojih se mogao pustiti prvi agregat u pogon dana 26. VIII 1961. godine.

GRADILIŠTE GATA

Desni dovodni tunel bio je ključni objekat čitavog postrojenja i o njegovu pravovremenom dovršenju zavisilo je puštanje u pogon hidroelektrane Split.

Nakon kratkog prolaza kroz vapnence ušlo se odmah u geološki vrlo loši materijal sa velikim dotokom vode. Nakon pokušaja da se ova loša dionica savlada na klasičan način i izradom zaštitne betonske obloge, prešlo se na izbijanje u punom profilu uz zaštitu tunelske površine nabačajem torkreta odnosno postavom čeličnih prstena.

Tunelskim profilom ušlo se ispod doline Gata u flišnu zonu pješčenjaka i zgnječenih lapora. Ovi pješčenjaci su uslojeni i jako ispucani, a između njih su uloženi tanji slojevi glinovitih lapora, koji se pod utjecajem atmosfere, a naročito u dodiru sa vodom raspadaju u plave gline. Na pojedinim dionicama su se pojavljivali izvori kapaciteta i do 1,5 lit/s, a gotovo čitava tunelska površina na ovoj dionici vlažila je ili prokapljivala. Ovako formirana stijena nije se mogla nakon iskopa sama držati, jer su se laporoviti slojevi uslijed vode i vlage raspadali i prelazili u glinu. Pješčar, koji pak ima prirodnu raspućanost i dislokaciju uspravnu na slojevitost, pored toga još i rastrošen od miniranja, počeo bi poslije toga ispadati u manjim i većim blokovima i ugrožavati sigurnost ljudi pri radu.

Dužina ove dionice pješčara i lapora se protezala oko 600 m, a nakon toga se ušlo u same lapore koji su bili vrlo rastrošeni i tanko uslojeni. Ovi lapori su se u dodiru sa zrakom raspadali i trebalo je poduzimati hitne mjere za osiguranje tunelske površine i ljudi. Iskop i osiguranje u ovim materijalima na klasičan

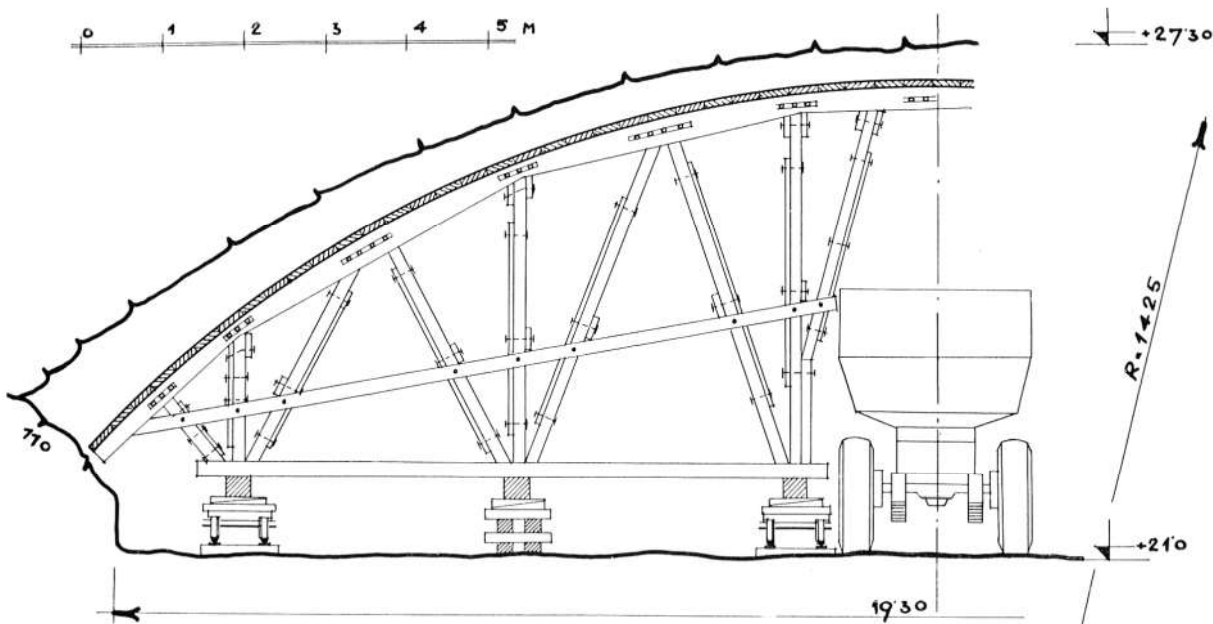
način, zbog sporog napredovanja, nije davao garanciju da će se čitav tunel dovršiti u određenom roku, a osim toga na ovaj način nije bilo moguće koristiti u potpunosti nabavljenu snažnu tunelsku mehanizaciju. Zbog toga se odlučilo slijedeće:

- iskopavati u punom profilu i u ovom lošem tunelskom materijalu uz upotrebu skele i švedske metode bušenja
- odmah po otpucavanju mina očistiti tunelsku površinu i torkretirati je
- u lošem tunelskom materijalu osigurati tunelske površine torkretom sa perfo-ankerima, a naročito loše dionice još podgrađivati i čeličnim prstenima
- izvore vode kaptirati uz upotrebu brzovezujućih sredstava, svodeći ih u drenažni kanal kako bi se omogućilo torkretiranje tunelske površine i na mjestima procurivanja vode.

Smatralo se, da će ovaj način rada, koji je po prvi put primijenjen u našoj zemlji, omogućiti brzo napredovanje i u lošem tunelskom materijalu. Osim toga na isti se način moglo raditi i u dobrom tunelskom materijalu, gdje nije potrebno osiguravati tunelsku površinu. Ovo je od velikog značaja, jer promjena tunelskog materijala nije iziskivala i promjenu organizacije posla, što bi bilo skupčano sa velikim gubicima na vremenu, a time i većim troškovima građenja. Ovako su se pojedine radne operacije svrstale u jedan radni proces iako se sastav brdske mase mijenjao.

Nabavilo se torkret aparat i oko 120 čeličnih prstena od alpina-profila za podgrađivanje loših tunelskih dionica.

Predpostavka o iskopu tunela u punom profilu u lošem materijalu realizirala se i od prosječnog napredovanja od 1,5 m/dan na klasičan način, dostignut je sedmomjesečni prosjek napredovanja od 5,5 m/dan. Ovako uigrane radne ekipe, dolaskom u vapnenac masiva Mosora postizavale su velika dnevna napredovanja, pa je proboj tunela izvršen za čitavih 350 m dalje od prethodno postavljene i ugovorene granice. Maksimalna dnevna napredovanja bila su do 14 m.



Pokretna skela za betoniranje svoda strojnarnice

Tunelski profil promjera oko 6,80 m bušen je švedskom metodom sa bušače skele sa 11 komada pneumatskih čekića.

Materijal je utovarivan utovarivačem gusjeničarom »Eimco 105« kapaciteta preko 100 m³/sat i transportiran kip kamionima (dumperima) sadržine koša oko 4 m³.

Po završenom probijanju tunela prešlo se na betoniranje tunelske obloge minimalne debljine 30 cm. U tu svrhu nabavljeno je 42 m čelične teleskopske oplata sa potrebnim uređajima i betonskim vlakom. Gradilište je imalo drobilanu i poluautomatsku betonaru kapaciteta 500 m³/dan. Ovo postrojenje je trebalo opskrbljivati betonom sve objekte gradilišta Gata.

Suha betonska smjesa je transportirana kip kamionima od betonare do betonskog vlaka. Suhoj betonskoj smjesi dodavala se voda na betonskom vlaku u prisilnoj miješalici sadržine 750 lit. Beton se u početku dopremao u čeličnu oplatu betonskom pumpom, marke »BSM«, a kasnije, radi ubrzanja radnog procesa, pneumatskim topom marke »Betor«.

Paralelno sa betoniranjem potkovastog dijela tunelske obloge betonirao se i podnožni svod. Za ovu fazu dopremana je sa betonare mokra betonska smjesa. Pogon strojeva na betonskom vlaku je električna energija. U tu svrhu proveden je u tunel vod od 3 kV napona i tu transformiran na 0,4 kV.

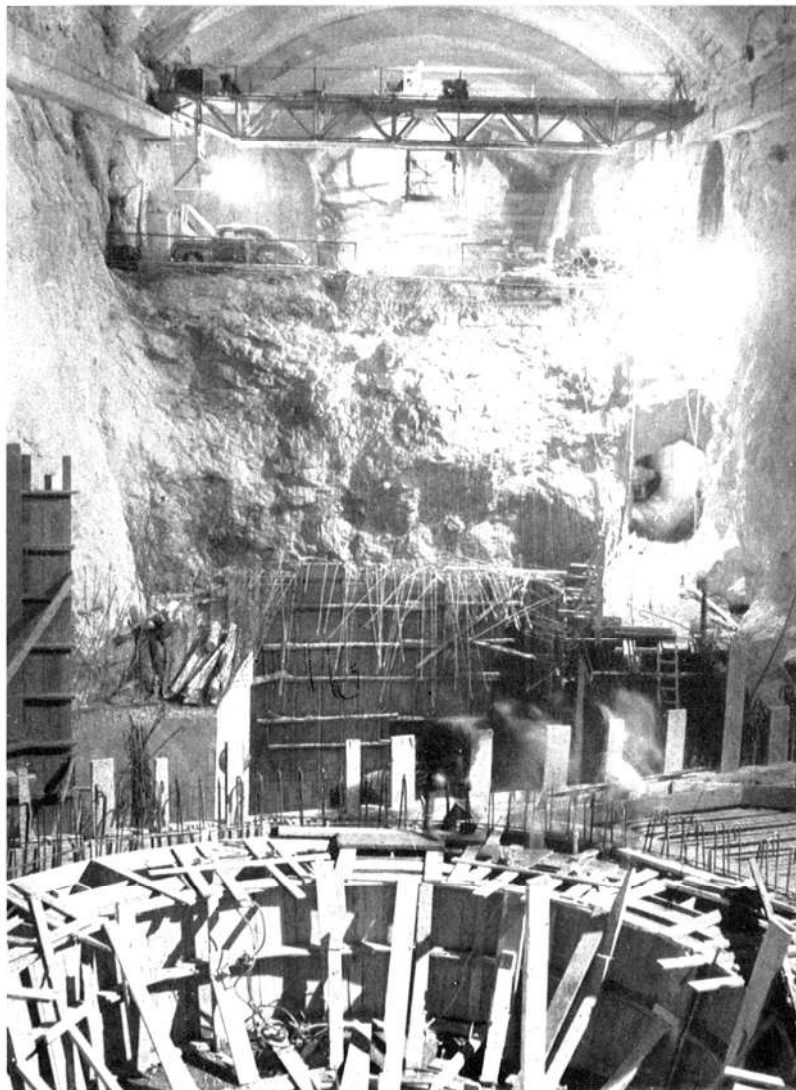
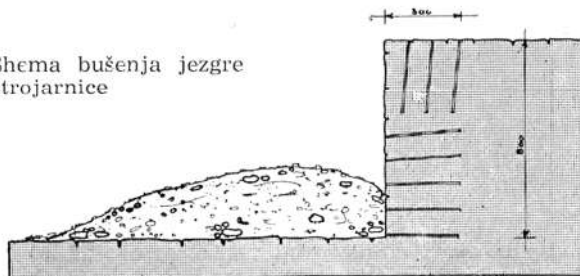
Uz betoniranje obloge, na stanovitom odstojanju je i injektiran dovodni tunel.

Kroz dolinu Gata i u području vodnih komora izvedeno je oko 400 m armirano betonske obloge sa ukupno oko 500 tona betonskog željeza. Beton je ugrađivan pomoću električnih pervibratora »Wacker«. Betonska obloga je rađena kvalitetno shodno tehničkim propisima, a probne kocke i probna tijela vadena iz gotove tunelske obloge davali su zadovoljavajuće rezultate čvrstoće i vodonepropusnosti.

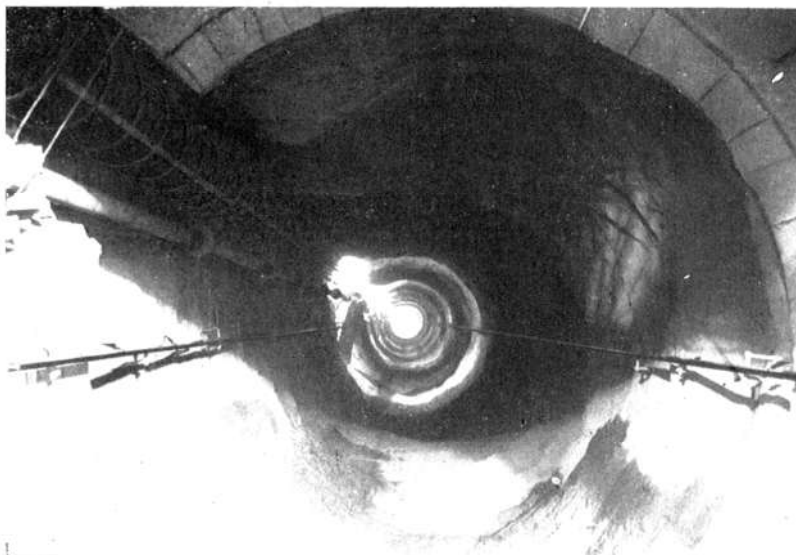
Prosječno dnevno napredovanje od početka do završetka betoniranja bilo je 12 m/dan. Najbolji mjesečni učinak je bio u III mjesecu 1961. godine: 528 m ili 19,6 m/dan a maksimalni dnevni učinci su bili 24 m. Ukupni prosjek kako na izbijanju tako i na betoniranju dovodnog tunela znatno je manji od stvarnih radnih prosjeka radi velikog broja dana zastoja uslijed dugotrajnih i čestih poplava tunela jer je podizanjem podzemnog nivoa vode, na dionici »Konstruktor« drenirano i teklo tunelom i do 15 m³/s vode za vrijeme poplave.

Svaki pojedini tunel ima pri kraju svoju vertikalnu vodnu komoru visine 39 m, svijetlog otvora 6 m i 30 m dugu donju horizontalnu komoru, te vanjsku gornju komoru kao basen za izravnanje. Otvoreni basen vodnih komora je učinjen dijelom podizanjem nasipa, a dijelom betonskom branom od armirano betonskih višelučnih zagata.

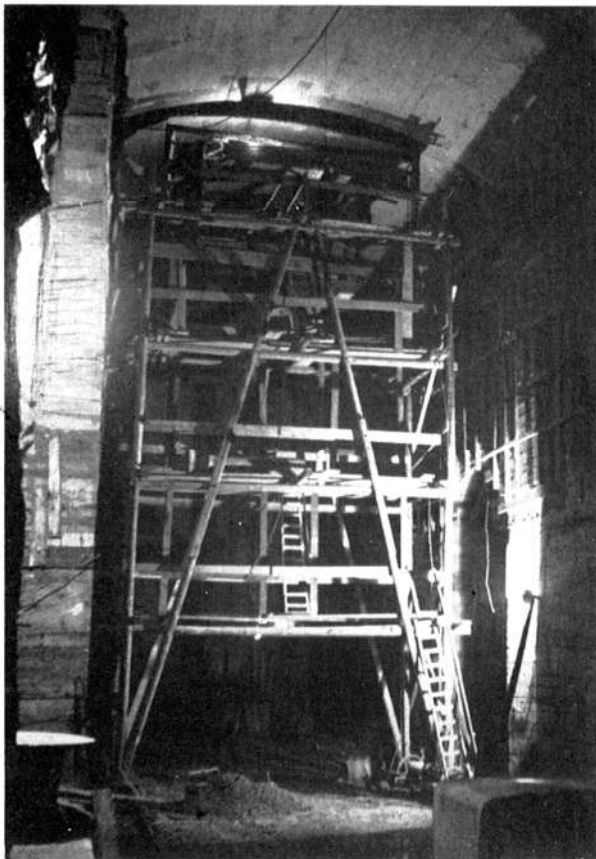
Shema bušenja jezgre strojarnice



Iskop strojarnice dovršen, betoniranje u toku (vidi se privremeni kranski most)



Pogled niz vertikalni tlačni cjevovod u fazi montaže i betoniranja



Betoniranje zasunske komore pomoću pokretne skele



Dovodni tunel u fazi iskopa

Oba tunela su spojena na području vodne komore II koja je izvedena u vapnenom masivu, a sastoji se od vertikalnog dijela vodne komore svijetlog otvora 13 m, visine cca 61 m i od horizontalne donje vodne komore dužine 80 m i svijetlog promjera cca 7 m. Ovaj objekat je bio u izvedbi tehnički vrlo složen zbog velikih dimenzija i otežanog pristupa kroz kosi spojni rov iz zasunske komore. Kosi spojni rov je služio za pristup radnika na radno mjesto, a probijeni šaht u sredini vertikalnog okna vodne komore, za uklanjanje otpucanog materijala. Posebnim liftom su se radnici spuštali na radno mjesto, a beton se dizao posebnim vitlom na električni pogon. Samo na ovom objektu je iskopano ukupno 17.000 m³ i ugrađeno oko 6.000 m³ betona.

Na ovom gradilištu je izvedeno osam podzemnih objekata pojedinačne širine od 39 do 230 ml.

Četiri tlačna cjevovoda svaki dubine 233,5 m, promjera 4,5 m predstavljali su svakako tehnički najteži objekat ove gradnje. Način izbijanja i betoniranja cjevovoda predložen od izvođača radova omogućio je da se ovaj objekat izvede u rekordnom vremenu uz maksimalnu sigurnost radnika.

Cjevovod je rađen po ideji ing. Paške Kuzmanića na originalan način: u punom profilu, uz prethodno bušenje bušotina 300 mm u centru profila cjevovoda. Izbijanjem odozgo prema dolje napredovalo se koristeći pomenutu bušotinu 300 mm za transport otpucanog materijala na dno bušotine, odakle ga se od-

vozilo na deponiju gradilišta Zakučac. Na ovaj se način dnevno napredovalo u punom profilu i do 4,5 m.

Tlačni cjevovodi su na sistemu ubetoniranih čeličnih cijevi. Betonirano je paralelno sa montažom i varenjem čeličnih cijevi od strane montažnog poduzeća »Metalna« Maribor. Dužina ovih elemenata cijevi je bila 6 m.

Za transport betona do mjesta ugradnje, na svakom cjevovodu je postavljena vertikalna čelična cijev profila 150 mm kroz koju je ubacivan beton sa vrha cjevovoda. Dva električna pervibratora profila 100 mm prenosila su beton oko čelične cijevi i pri tom ga ugrađivali. Ovako organizirani transport i ugradnja betona omogućila je, uz veliku sigurnost radnika, i vrlo velike satne učinke. Od predviđenih 32 sata za betoniranje jedne cijevi, bilo je na ovaj način potrebno svega 8 sati i ugradilo bi se oko 50 m³ betona. Ovako brz rad na betoniranju ubrzao je i montažu, jer je montažno poduzeće moglo gotovo paralelno raditi na dva cjevovoda.

Uzimane probne kocke sa tri razna mjesta na profilu davale su beton tražene marke i nije bilo znatnih rasturanja čvrstoće probnih kocaka.

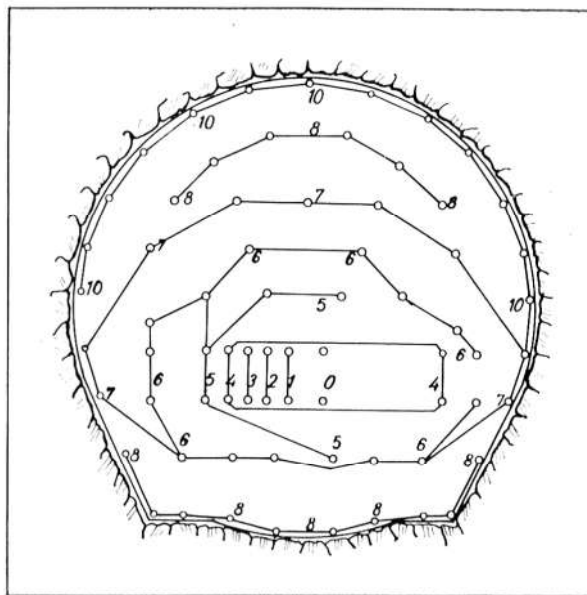
Izrada kontaktnih injekcija pokazala je da je prostor između stijene brda i čeličnih cijevi u potpunosti ispunjen.

Ukupni radovi na cjevovodima iznose oko 22.000 m³ iskopa i oko 7.000 m³ betona.

Radovima se započelo na gradilištu Radovići i to izgradnjom dijela dovodnog tunela, nakon što je u aprilu 1958. godine dovršeno pomoćno koso okno Radovići. Projektom je bilo predviđeno da se oko dvije trećine 9,6 km dovodnog tunela izvede iz ovog okna. Nije bio predviđen rad s ulazne strane zbog nepovoljnih hidro-geoloških uvjeta i mogućnosti filtriranja većih količina podzemne vode iz područja Cetine u dosta nisko situirani tunel.

Poduzeće »Hidroelektra« došlo je do zaključka da je pod danim okolnostima ekonomično započeti iskop dovodnog tunela i s ulazne strane. Troškovi otvaranja jednog novog gradilišta i izgradnja 185 m dugog horizontalnog pomoćnog postranog okna, kompenziraju se u izvjesnoj mjeri manjim troškovima izgradnje samog dovodnog tunela uslijed kraćih radnih dionica. No što je najvažnije, ovakova organizacija rada osiguravala je pravovremeno izvršenje radova. »Hidroelektra« je imala tradiciju i iskustvo u građenju takovih objekata, jer se već od oslobođenja specijalizirala u gradnji hidroelektrana. Ova okolnost ima uz svoje prednosti i svoje nedostatke, jer je uslijed toga poduzeće raspolagalo dobrim dijelom rabljenom i donekle zastarjelom građevinskom mehanizacijom sa kojom se nisu mogli postizavati napredovanja i uspjesi, kao sa novijom i savremenijom opremom.

Na ovaj način došlo je do formiranja dvaju gradilišta i to kod kosog okna Radovići i kod ulaza tunela kod Prančević. S obzirom da je kasnije poduzeću povjeren izgradnja brane Prančević, kao i dvaju ulaznih uređaja za dovodne tunele I i II etape, to gradilište Prančević postaje glavni centar radova te služi potrebama izgradnje svih objekata, dok je na gradilištu Radovići srazmjerno mala ekipa za iskop tunela u smjeru Radovići — Prančević. Nakon izvršenog proba tunela »Hidroelektra« je praktički napustila ovo gradilište, te izvođenje svih radova koncentrirala na gradilište kod ulaza tunela i brane Prančević. Na taj



Shema bušenja tunela u punom profilu

način je bio znatno olakšan rad na izgradnji nizvodne dionice tunela iz smjera Radovići, što ne bi bio slučaj, da su ovo okno trebala koristiti dva izvodačka poduzeća kroz cijelo vrijeme građenja.

Iskop dovodnog tunela počeo je, kako je već rečeno, iz dva smjera. Rad je započet iz okna Radovići primjenom bušačeg uređaja »Jumbo« sa tri automatski pokretana teška pneumatska bušača (driftera). S obzirom na veličinu ovog uređaja nije se moglo iskopati u punom profilu, već samo potkopom cca 11 m². Za utovar bio je upotrebljen utovarivač Eimco-21 sa kašikom 0,20 m³, a za odvoz standardni vagoneti od 1,5 m³ sa vučom diesel-lokomotive. Iz ovog smjera postignuta su maksimalna dnevna napredovanja od 9,0 m.

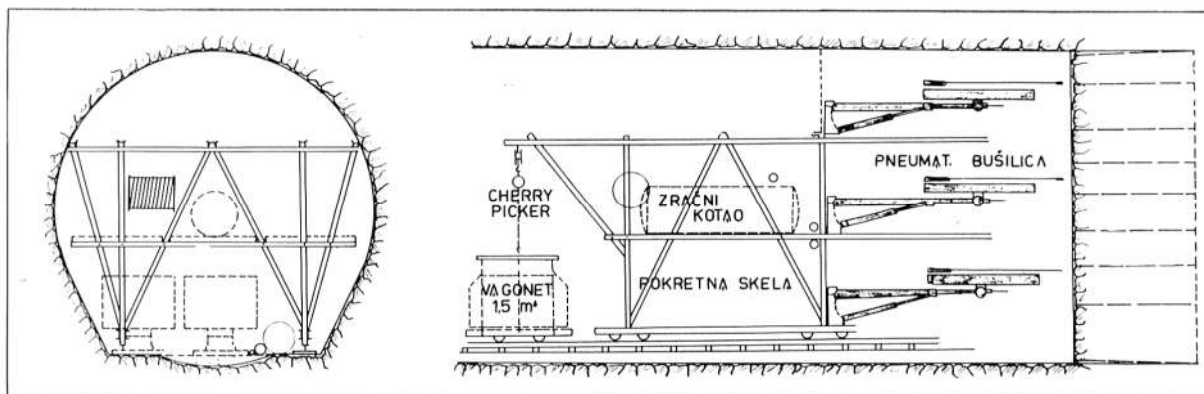
Nakon što je formirano gradilište s ulazne strane tunela i dovršeno prilazno okno Prančević, koje ulazi u tunel na stacionaži km 0 + 170, započelo se iskopom iz toga smjera prema Radoviću. Na ovom gradilištu upotrebljena je međutim nešto drukčija metoda građenja i to: iskop u punom profilu (36 m²). Za bušenje mina upotrebljena je na kolosijeku pokretna bušača skela sa dvije platforme. Na ovima, kao i na donjem horizontu, radilo je istovremeno 10—12 pneumatskih bušilica s nogom za potiskivanje, domaće proizvodnje RK-21. Na stražnjem dijelu skele bio je montiran uređaj za prebacivanje vagoneta s jednog na drugi kolosijek u poprečnom smjeru (tzv. »Chery picker«). Ovaj uređaj radi na pogon komprimiranim zrakom i lako se pokreće po svom nosaču, koji diže vagonete i prebacuje ih na susjedni kolosijek.

Za jedan otpučaj bušeno je prosječno 70 mina, dubine do 2,20 m. Prosječan utrošak eksploziva kretao se od 1,6 do 1,7 kg/m³, od toga oko 2/3 visoko-brizantnog eksploziva. Mine su paljene električnim putem uz primjenu kapsula s milisekundnim usporjenjem.

Iskopani materijal utovarivan je većim utovarivačem i to Eimco-40 W s lopatom od 0,40 m³. Za odvoz primijenjena su ista sredstva kao u smjeru Radovići: standardni vagoneti 1,5 m³ sadržine i diesel lokomo-



Gradilište Prančević — deponij



Skela za bušenje

tive s prečištačem ispušnih plinova. S ovakvom organizacijom rada i primijenjenim sredstvima postignuta su napredovanja do 6 m dnevno. Kočnica većem napretku bila su neprikladna sredstva za odvoz (standardni vagoneti mjesto specijalnih tunelskih sadržine 3,0 m³), kao i okolnosti, da tunel s ulazne strane prolazi djelomično kroz geološki nepovoljnije formacije (niska krovina, vrtače, razlomljene stijene i sl.), pa je češće dolazilo do prekida bušenja i iskopa zbog potrebe podgrađivanja i osiguranja iskopanog profila.

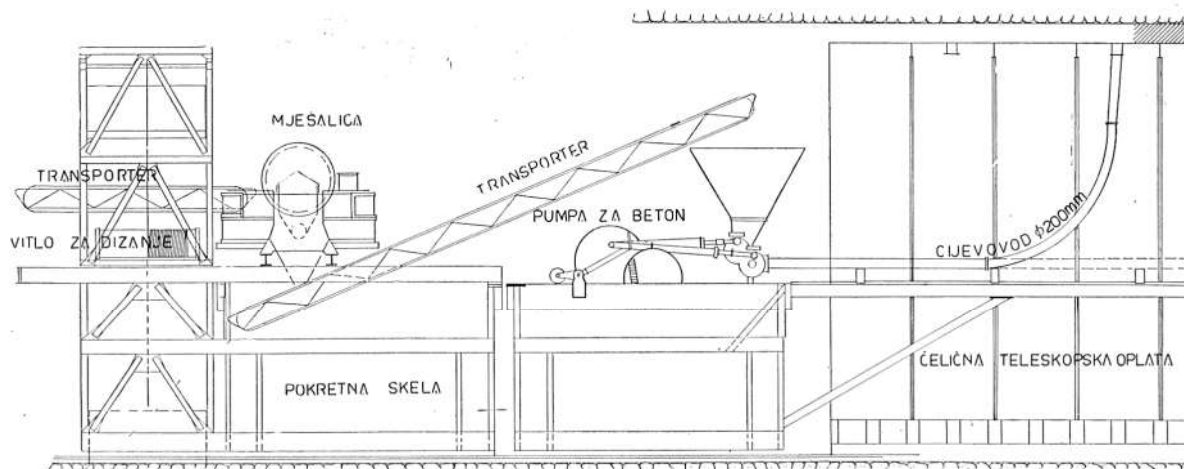
Premda je projektom bio predviđen kružni profil tunela sa promjerom iskopa za normalni tip obloge od 6,70 m, ipak je iz praktičnih razloga izveden potkovičasti profil. Ovo s razloga usvojene metode betoniranja u 2 faze i potrebe da prvo betonirani svod imade odgovarajuće oslonce, kao i obzirom na potreban prostor za transportne kolosijeke.

Osobita pažnja posvećena je dobroj ventilaciji tunela, pa su oba radna mjesta bila snabdjevena jakim ventilacionim uređajima kapaciteta 24.000 m³/sat i limenim ventilacionim vodovima promjera 900 mm. Izvođačko poduzeće primijenilo je osim novo nabavljenog utovarivača »Eimco-40 W« samo mehanizaciju kojom je raspolagalo s prethodnih gradnja

hidroelektrana (HE »Gojak« i HE »Nikola Tesla«), jer u danim uvjetima nije bila ekonomski opravdana veća investicija za savremeniju i prikladniju mehanizaciju.

Betoniranje tunelske obloge debljine 30 cm bilo je izvršeno u 2 faze. Najprije je betoniran gornji potkovičasti dio, a zatim donji dio. Kod betoniranja svoda upotrebljena je teleskopska čelična podgrada prema vlastitom projektu poduzeća (izrada »Ante Jonić«, Split). Ova se oplata sastoji od pojedinih elemenata dužine 6,0 m. Svega je bilo 4 takva elementa, dok je peti element služio kao rezerva.

Beton je pripreman u neposrednoj blizini mjesta ugradnje. U tunel je dovažana suha betonska mješavina u vagonetima 0,75 m³. Dozirano je pomoću tornja smještenog uz prilazno okno Prančević. Vagoneti su dopremeni do betonskog vlaka, koji se sastojao od miješalice i pumpe za beton, te transporter za prebacivanje agregata, odnosno betona. Ovdje je sadržaj izručivan u posudu, koju je vitlo dizalo i istresalo u miješalicu. Bila je primijenjena miješalice od 750 l za prisilno miješanje, proizvod tvornice Eirich, Zapadna Njemčaka. Ovom miješalicom postignut je jednoličan i dobro izmiješan beton za vrlo kratko vrijeme miješanja. Iz miješalice je beton transpor-



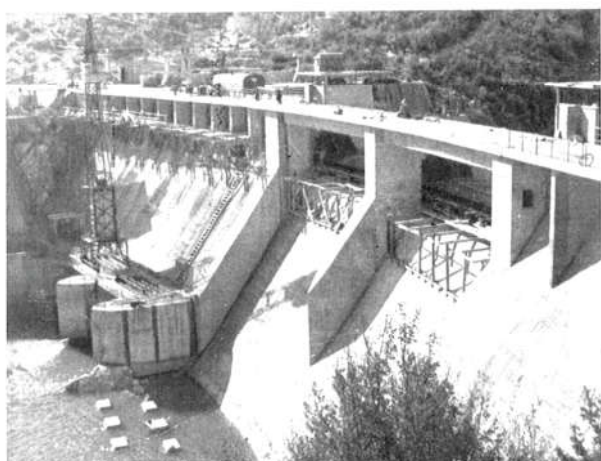
Betonski vlak



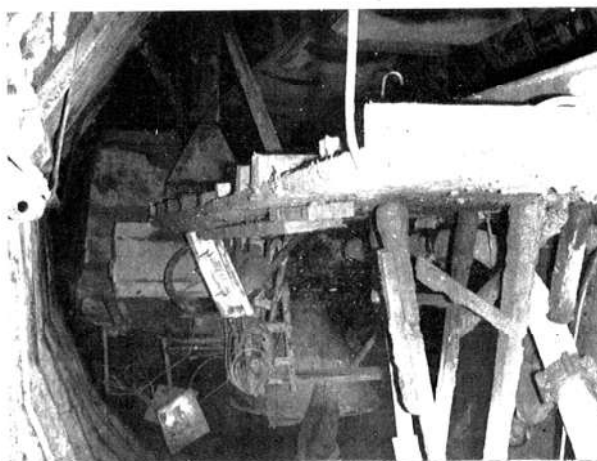
Teleskopska oplata u tunelu



Temeljni ispust sa slapištem



Brana u završnoj fazi gradnje



Pumpa za beton na pokretnom vlaku



Zagat i građevinska jama prve etape



Poplava gradilišta u drugoj etapi

terom ubacivan u pumpu za beton BSM, Zapadna Njemačka, kapaciteta 15–20 m³/sat iz koje je cjevovodom promjera 200 mm ubacivan u oplatu. Da bi se izbjegla segregacija betona, ubacivan je najprije kroz revizionna okna u bokovima (lijevo i desno), a poslije kroz specijalno u oplatu ugrađene priključke u tjemenu. U toku ubacivanja beton je intenzivno vibriran kroz veći broj otvora za reviziju igličastim pervibratorima Wacker, Zapadna Njemačka, sa 9.000 frekvencija u minuti, te oplatnim vibratorima P. C. T., Francuska, sa 6.000 frekvencija u minuti. Primjenom pumpe potpuno je ispunjavan prostor iza oplate. Pritisak kod ubacivanja betona u završnoj fazi svakog ostsječka betoniranja bio je takav, da je nekoliko puta došlo do deformacije čelične oplate. Pogon betonskog vlaka bio je električni, pa je u tu svrhu bilo potrebno u tunel uvesti pogonsku električnu energiju. Kao najekonomičnije rješenje pokazalo se uvođenje visokog napona od 3.000 V uz primjenu rudarskih lakopokretnih oklopljenih transformatora od 100 KVA.

Beton za dno tunelske obloge pripremljen je za jedan dio tunela u standardnoj miješalici od 250 l pokretnoj na gumenim točkovima, koja se pomicala paralelno sa napredovanjem rada, dok je za drugi dio tunela uvožena gotova betonska mješavina autokiperima, što je znatno ubrzalo rad.

Izgradnja brane i ulaznih uređaja. Konstrukcija brane i terenski uvjeti gotovo da su diktirali izgradnju brane u 2 etape. U prvoj etapi izgrađena je desna polovica brane s temeljnim ispustom i slapištem, dok je rijeka Cetina tekla preostalim nezagrađenim dijelom korita. U drugoj etapi zagrađen je ovaj dio korita i Cetina prebačena u temeljne ispuste te izgrađena lijeva polovica brane sa preljevnim dijelom i slapištem. Građevne jame bile su omeđene zagatima u vidu kamenog nasipa s nepropusnom jezgrom od ilovače, te betonskim zagatima masivne i olakšane izvedbe. Izgradnja zagata bila je dovršena uglavnom bez većih teškoća, jer se izvodila za vrijeme niskih vodostaja rijeke Cetine. Pritok podvirne vode u građevnu jamu ispod samih zagata bio je minimalan, a

nešto veći kroz dijelom raspucale slojeve krečnjačke stijene u temelju.

Radovi su bili u najvećoj mjeri mehanizirani. Iskop je bio pretežno u srasloj stijeni pomoću pneumatskih bušača; iskopani materijal utovaren je utovarivačima 0,8 – 1,0 m³ u kipere FAP i Berliet od 7 tona odvožen na nizvodno situiranu deponiju. Beton je bio pripreman u betonari na desnoj obali neposredno uz desni gravitacioni dio brane. Košare betona od 750 l bile su prebacivane na mjesto ugradnje pomoću dvije toranjske dizalice Loro Parisini pokretnih na kolosijeku s krakom od 25 m i nosivošću od 5,0 tona. Jedna dizalica služila je za desnu, a druga za lijevu polovicu brane.

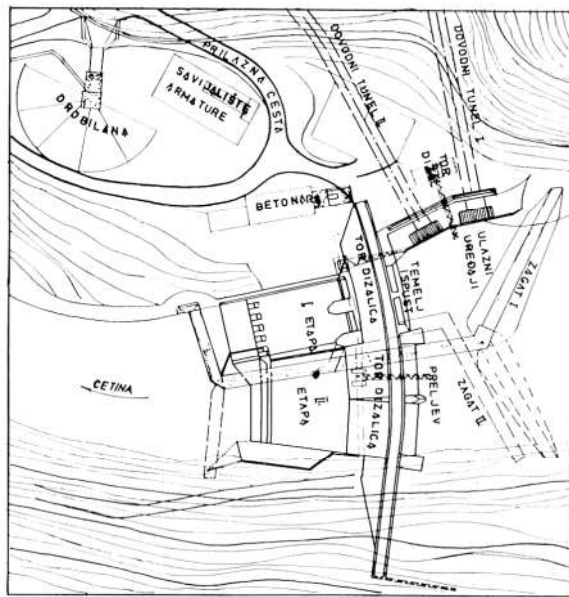
Na sličnom principu izgrađeni su ulazni uređaji. Zbog povišenog položaja ovih objekata spram korita i vodostaja Cetine izvođeni su za vrijeme izgradnje I i II etape brane. Za njihovu gradnju bila je postavljena posebna toranjska dizalica Ceretti-Tanfani s krakom od 25 m.

Gradnja brane i ulaznih uređaja tekla je bez nekih naročitih teškoća. Povremeno preplavljivanje gradilišta bilo je neminovno. Interesantni su bili slučajevi, kada je nivo podzemne vode bio viši od nivoa rijeke Cetine, pa su znatne vodne količine istjecale iz dovodnog tunela kroz okno Prančević.

Rezultati i postignuta iskustva. Iz iznesenog vidljivo je da se radilo uz maksimalno učešće građevinske mehanizacije, tako da je na gradilištu bilo strojeva u vrijednosti u prosjeku preko 500 milijuna dinara. Ovo odgovara stupnju mehaniziranosti preko 0,9 što najbolje ilustrira velik stupanj mehaniziranosti radilišta. Premda je bila primijenjena pretežno raspoloživa rabljena oprema poduzeća, ipak je bilo potrebno iz investicionog zajma nabaviti nove strojeve u vrijednosti 130,3 milijuna dinara, kako bi se osiguralo dovršenje radova u roku. Brzina gradnje spram prethodnim sličnim gradnjama bila je povećana za više od 50%. U pogledu kvalitete postignut je općenito uzevši znatan napredak, premda je bilo pojava i rezultata koji nisu zadovoljavali.



Ulazni uređaji u završnoj fazi građenja



Gradilište Prančević

Od noviteta primijenjenih po prvi puta u FNRJ na ovoj gradnji, kao i postignutih iskustava vrijedno je napomenuti:

- primjena električnih upaljača sa milisekundnim usporanjem kod probijanja tunela. U početku gradnje trebalo ih je nabaviti iz uvoza, kasnije su isporučivani od domaće industrije;
- primjena visokobrizantnih eksploziva brzine detonacije preko 7000 m/s, koje je domaća industrija upravo pri početku gradnje počela proizvoditi;
- osobito brzo probijanje tunela moguće je postići samo primjenom kompletne specijalne građevinske opreme usklađene uvjetima rada. Zbog pomanjkanja specijalnih tunelskih vagoneta velike sadržine (3,0 m³ i više) i specijalnih sredstava za vuču (akumulatorske lokomotive ili specijalne tunelske lokomotive) utovar i odvoz iskopanog materijala je znatno usporen, što se negativno odrazilo na brzinu napredovanja;

- za postizavanje brzog napredovanja iskopa tunela neophodno je potrebno primijeniti savremene metode iskopa, podgrađivanja i privremenog osiguranja iskopanog profila na dionicama, gdje je nepovoljniji geološki sastav terena, makar je takav rad po m³ iskopa u većini slučajeva skuplji;

- prijevoz cementa u rinfuznom stanju, koji je svakako ekonomičan kad je tvornica cementa u blizini, kamionom od tvornice do gradilišta;

- primjena krečnjačkog materijala iz iskopa uz efikasno pranje. Premda se gotovo sve do sada izgrađene hidroelektrane u FNRJ nalaze u kršu i vapnencima, ipak kod njihove izgradnje nije bila predviđena upotreba materijala iz iskopa za proizvod agregata u masovnim razmjerima, što je naravno bilo skopćano s većim troškovima gradnje;

- »Rheax« uređaj za hidrauličko separiranje finih frakcija agregata, kao i uklanjanje prašine svakako doprinosi postizavanju jednoličnije kvalitete agregata i betona, no može se primijeniti u granicama ekonomičnosti samo u slučaju ako se raspolaze dovoljnom količinom jeftine tehničke vode;

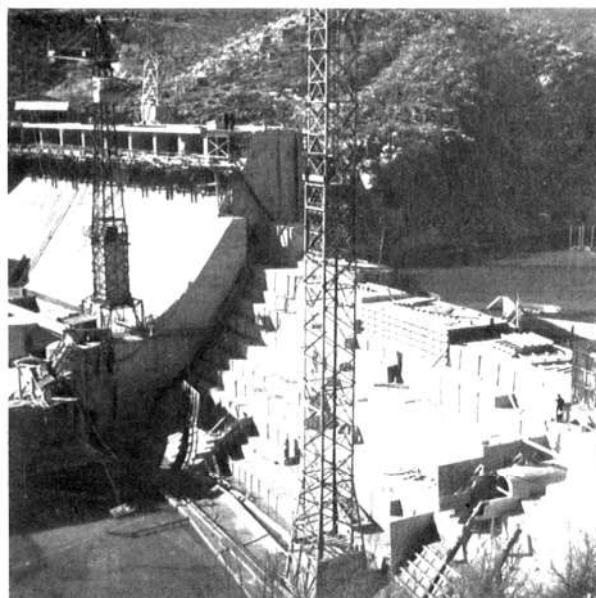
- primjena pumpe za betoniranje tunelske obloge, koja istina, postavlja pred izvođača izvjesne organizacione teškoće, ali osigurava dobar kvalitet rada tj. omogućava odlično ispunjavanje prostora iza oplata. Ovim se postizava znatna ušteda na injeksionoj masi i troškovima injektiranja. Nadalje je beton, koji se ugrađuje jednoličan i kvalitetan, jer se beton od nejednoličnog i nepropisnog sastava i konsistencije uopće ne da ugrađivati pumpom;

- domaća industrija i vlastite radionice poduzeća mogu izradivati savremenu građevinsku opremu (teleskopske oplata za tunel, toranjske betonare i dr) ako raspolaze ispravnom tehničkom dokumentacijom. U konkretnom slučaju pokazali su se prototipovi pojedinih građevinskih strojeva i instalacija izrađeni prema detaljnim nacrtima »Hidroelektre« (projektant ing. Zdravko Linarić) kvalitetni i jednakovrijedni uvoznim uređajima, pa je time postignuta znatna ušteda deviznih sredstava;

- jedan od bitnih uvjeta za brže gradnje je mogućnost odgovarajućeg stimuliranja izvođača radova.



Građevinska jama brane druge etape



Preljevni dio brane

Tunelogradnja

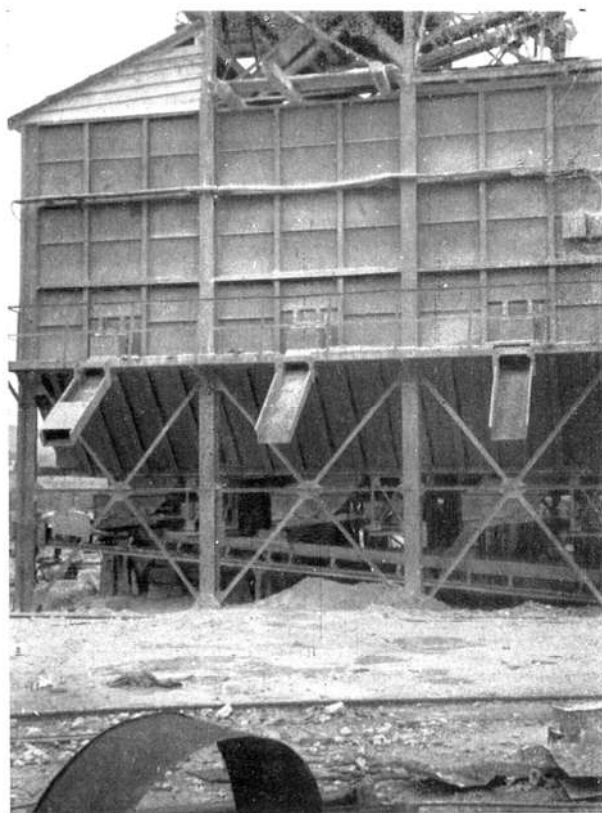
GRADEVINSKO PREDUZEĆE

U izgradnji dovodnog tunela hidroelektrane »Split« uzelo je učešća i građevinsko poduzeće »Tunelogradnja« iz Beograda. Povjerena joj je izgradnja srednje dionice u dužini od 3600 m.

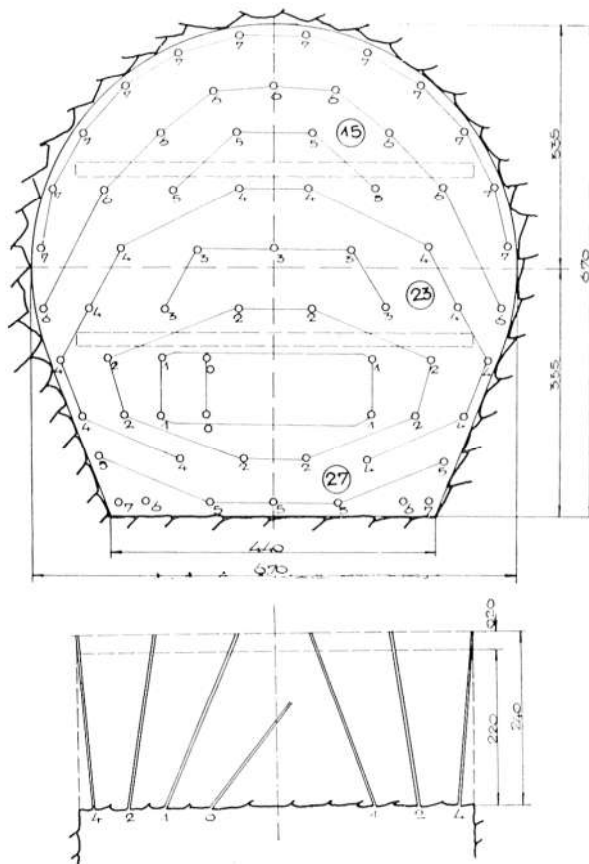
Do ove dionice tunela moglo se doći samo kroz pomoćno bočno okno, koje se sa terena iznad sela Radovići koso spuštalo prema niveleti tunela. Dužina kosog pomoćnog okna iznosila je 385 m, a visinska razlika između terena na ulazu u okno i nivelete na spoju sa dovodnim tunelom 44 m. Uvjeti rada bili su time znatno otežani u odnosu na normalni rad kroz ulaz odnosno izlaz tunela.

U geološkom pogledu položaj ove dionice bio je uglavnom isti kao i ostalih dionica. Pretežni dio nalazio se u krednim krečnjacima, na nekim mjestima razlomljenim i sklonim krunjenju i opadanju.

Znatna utjecaj na uvjete izgradnje imala je podzemna voda. Već su ispitivanja, koja je izvršio projektant prije izrade projekta, pokazala, da se nivo podzemne vode drži normalno ispod nivelete tunela, a da se za vrijeme dugotrajnih kiša penje visoko iznad nivelete. U takvim slučajevima bilo je projektom predviđeno crpenje vode iz tunela. Ova prognoza se u praksi u potpunosti obistinila samo s tom



Postrojenje drobilane



Raspored mina i zalomak — horizontalni presjek

razlikom, da je nadiranje podzemne vode u tunel kroz kraške kanale bilo tako silovito, da mu se nikakovo crpenje nije moglo suprostaviti te se je tunel morao prepustiti poplavlivanju i rad obustaviti dok se voda nije sama istim putem povukla iz tunela.

Ova je dionica, čiji su radni uvjeti bili najteži, tražila od tehničke službe »Tunelogradnje« naročitu studiju organizacije rada. Prije svega je trebalo riješiti problem transporta kroz koso napadno okno, a da ni u kom slučaju, niti pri probijanju, niti pri betoniranju ne bude kočnica tempu radova. Klasično rješenje izvlačenja vagoneta pomoću vitla odmah je odbačeno zbog opasnosti takovog načina rada za radnike.

Preostala su samo još rješenja, da se materijal izvlači kroz niskop pomoću kamiona ili čeličnog transporta. Ekonomsko-tehničko upoređenje pogodnosti oba načina transporta pokazalo je, da je u svakom slučaju povoljniji transport čeličnim transporterom, te je poduzeće odlučilo, da investira 50 milijuna dinara u nabavku transportera u Zapadnoj Njemačkoj od firme Hemscheidt.

U pogledu izbora mehanizacije, a s obzirom da profil dovodnog tunela hidroelektrane »Split« po veličini odgovara profilu željezničkih tunela za električnu vuču, riješeno je da se primijeni ista mehanizacija kojom je poduzeće radilo na tunelu »Sozina« s tim



Plat vagoneti sa kontenerima ispod miješalica



Ugrađivanje betona topom

da se otklone nedostaci koji su uočeni u praksi u tehnološkom i u ekonomskom pogledu.

Kao prvo bilo je odlučeno da se dionica tunela na cijeloj dužini najprije probije i da se tek nakon toga pristupi betoniranju tunelske obloge. Ovo razdvajanje dviju osnovnih radnih faza bilo je učinjeno radi olakšanja organizacije radova.

Probijanje tunela. Tunel je probijen u punom profilu. Idealni kružni oblik profila zamijenjen je radnim profilom potkovičastog oblika. Za bušenje mina primijenjena je bila laka troetažna skela, izrađena od cijevastih elemenata na pokretnom postolju od čeličnih nosača $2 \times 2/NP30$ i 4 točka promjera 400 mm. Na skeli su bili raspoređeni bušači čekići na pneumatskim nogama i to: 3 čekića u gornjoj etaži i po 4 čekića u srednjoj i donjoj etaži, ukupno 11 čekića. Težina skele za bušenje iznosila je oko 1500 kg za razliku od 11.000 kg, koliko je iznosila skela u »Sozini«, konstruirana za teške bušače mašine (drifttere). Ovakav način bušenja mina (švedska metoda) pokazao se znatno efikasnijim od primijenjene metode u »Sozini«.

Tehnološki podaci:

– profil probijanja	37 m ²
– dubina mina	2,40 m
– broj mina	70 komada
– dužina mina na 1 m ³ iskopa	2,00 m/m ³
– utrošak eksploziva oko	1,60 kg/m ³

Na probijanju se radilo u 3 smjene po 8 sati. Prosječno je u svakoj smjeni bilo zaposleno:

- u tunelu: 21 građevinskih radnika V prosječne radne grupe, 9 metalških radnika VI prosječne radne grupe
- van tunela: 6 građevinskih radnika IV prosječne radne grupe, 6 metalških radnika VI prosječne radne grupe.

Ukupno 42 radnika u smjeni V prosječne radne grupe. Raspored utroška radnog vremena u pojedinim fazama rada (prosječno):

bušenje	70 minuta	19,5%
utovar	150 minuta	42,0%
ostali radovi	140 minuta	38,5%
1 ciklus	360 minuta	100%

Prosječni utrošak radne snage za probijanje 1 m³ stijene: 2,85 radna sata. Rekordna napredovanja:

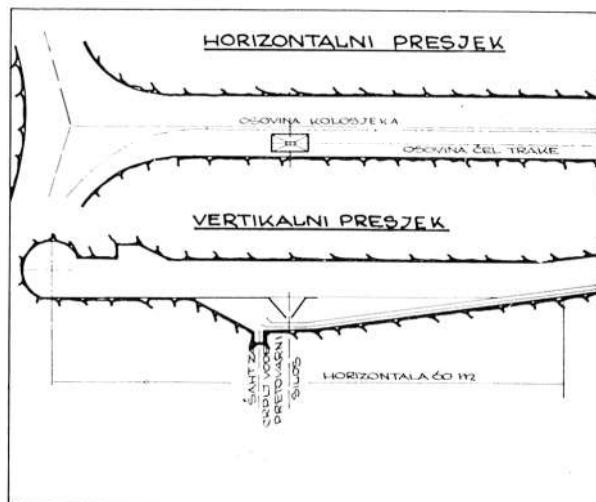
– mjesečno	307,25 m
– nedjeljno	78,20 m
– dnevno	15,00 m

Gornji rezultati pokazuju, da je postignut svjetski nivo u brzini probijanja tunela.

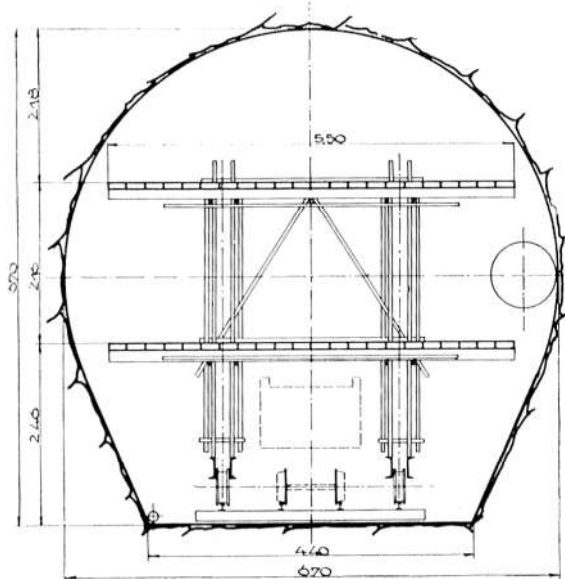
Rezultati bi bili sigurno i bolji da česte poplave u tunelu nisu rušile i kvarile postrojenja. Za vrijeme probijanja tunela bilo je 6 poplava, koje su onemogućile rad u tunelu ukupno za 81 radni dan.

Betoniranje tunela. Izradi betonske obloge tunela posvećena je također velika pažnja. Prije svega se vodilo računa da se postigne odgovarajući kvalitet vodonepropusnog betona odgovarajuće čvrstoće. U tom cilju na gradilištu je organiziran terenski laboratorij sa zadatkom da pronade najbolje rješenje izrade betona od materijala sa kipe tunelskog iskopa.

Rad postrojenja za drobljenje, separiranje i doziranje kao i transport betonskog agregata od postroje-



Uređenje čvora na spoju kosog okna i dovodnog tunela



Poprečni presjek lake skele za bušenje

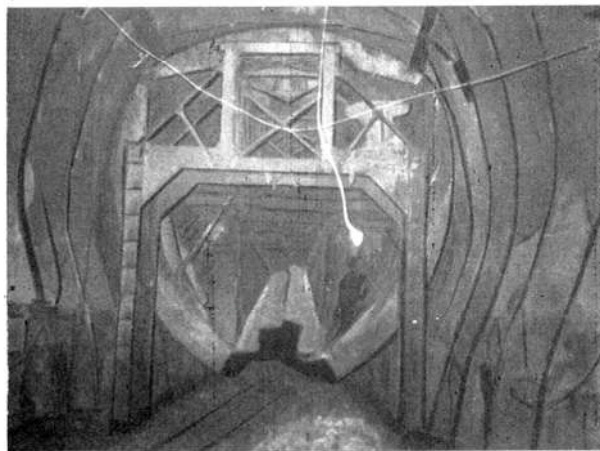
nja do čvora niskopa sa dovodnim tunelom bio je potpuno automatiziran. Pri tome je čelična transportna traka bila veoma uspješno iskorištena za transport betonskog agregata kroz bočno okno u tunel.

Betonski agregat u suhom stanju prevozio se od čvora do mjesta ugrađivanja u kontejnerima smještenim na vagonetima.

Postrojenje za ugrađivanje betona sastojalo se je od čelične teleskopske oplate ukupne dužine 48 m, betonskog pneumatskog topa zapremine 500 l (gotovog betona) i dvije miješalice od 500 l za naizmjenični rad i snabdijevanje betonskog topa bez zastoja.

Tehnološki podaci:

- teoretska površina betona kružnog oblika 6,07 m²
- teoretska površina betona radnog profila 7,77 m²
- stvarna površina betona zbog prekoprofila 9,0 m²



Teleskopska oplata

Od toga.

- površina potkovice 5,80 m²
- podnožnog svoda 3,20 m²

Potkovića je betonirana na principu kontinuiranog betoniranja neprekidno u tri smjene po 8 sati. Od ukupne dužine 3600 m bilo je 3391 m tunela obloženo nearmiranim betonom, a ostalih 209 m armiranim betonom.

Potpuno betoniranje završeno je za 11 mjeseci i 23 dana odnosno za 328 kalendarskih dana što odgovara 272 radna dana. Tri poplave u to vrijeme, smanjile su broj radnih dana za 53 tako, da je cio posao betoniranja tunela završen za 219 radnih dana. Prosječna brzina betoniranja punog profila betonske obloge bila je prema tome:

$$\frac{3600}{219} = 16,5 \text{ m/radni dan}$$

Treba napomenuti, da su poplave za vrijeme betoniranja izbacile kroz kraške kanale u tunel oko 5.000 m³ muljevitog nanosa, koji je prouzrokovao graditeljima neopisive teškoće pri čišćenju i pripremi podloge za betoniranje podnožnog svoda. Sigurno bi rezultati bili još daleko bolji, da se to nije desilo.

Rekordna napredovanja samo potkovičastog dijela:

- mjesečno 640 m
- nedjeljno 170 m
- dnevno 34 m

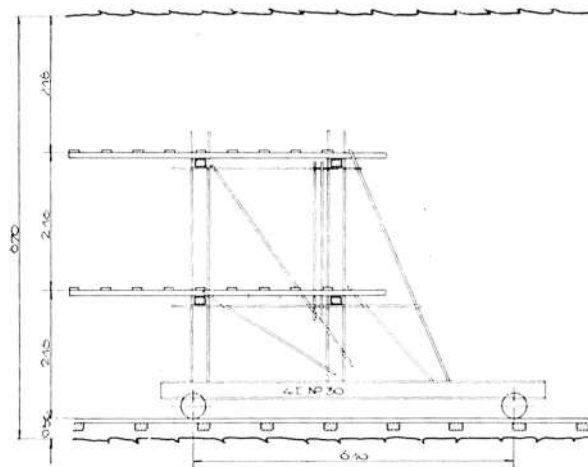
Maksimalno dnevno napredovanje istovremenog betoniranja potkovičastog dijela i podnožnog svoda postignuto istog dana iznosilo je:

- potkova 24 m
- podnožni svod 80 m

što otprilike iznosi 390 m³ ugrađenog betona.

Kako rezultati probijanja tunela, tako i rezultati postignuti u betoniranju tunela, svrstali su se u red vrhunskih svjetskih rezultata.

Naročitu važnost ovi rezultati imaju za planiranje novih investicija u hidroenergetskoj izgradnji, jer dokazuju da je naše građevinarstvo sposobno graditi brzo i kvalitetno.



Podužni presjek lake skele za bušenje

Elektrosond - Geostrage - Geoistraživanja - Istražno

Basen Prančević. Šire područje akumulacionog basena Prančević i trase dovodnog tunela kraškoga je karaktera, a zastupljeno je pretežno gornjokrednim vapnencima, djelomično dolomitiziranim vapnencima i dolomitima.

Tercijarne naslage javljaju se također na nekoliko mjesta u manjem obimu i zastupljene su eocenskim vapnencima, laporima i pješčarima. Kvartar se javlja po kraškim poljicima.

Tektonika je bila veoma intenzivna, stvorivši brojne veće ili manje rasjede, navlake i lomove.

Sa stanovišta energetskog iskorištenja donjega toka rijeke Cetine, utvrdilo se da je najpovoljniji zahvat upravo u području Prančević. Zato je trebalo čim više raščistiti i rasvijetliti geologiju i hidrogeologiju ovoga područja, kako bi se dobili solidni i pouzdani elementi za konačno usvajanje ili neusvajanje ove varijante.

U tu svrhu već 1953. godine pod vodstvom dr. prof. J. Poljaka i prof. I. Crnolatca, započinju radovi na geološkom kartiranju šireg i užeg područja, geološkom strukturnom bušenju i uspostavljanju piezometarske mreže. Geoelektričnim mjerenjima, bušenjem i mjerenjem vodopropusnosti ispituje se stepen, obim i dubina karstifikacije.

Svi ovi radovi odvijali su se intenzivno skoro do konca 1959, a tokom 1960. i 1961. nastavlja se istraživanje i rasvjetljuju još izvjesni, ne toliko bitni, detalji.

Ovi obimni, ali nužni radovi na istraživanju, dali su solidne elemente za donošenje jednoznačnih zaključaka o geologiji i hidrogeologiji ovoga područja. Time je zapravo bio okvirno konačno i utvrđen i obim potrebnih injekcionih radova za otješnjenje pregradnog profila i kompenzacijonog basena Prančević.

Obim injekcionih radova na pregradnom profilu i basenu Prančević

objekat	jalovo bušenje m	osnovno bušenje m	injektiranje m	kontrolno bušenje m	utrošak suhe tvari kg/m injektiranja
zavjesa u basenu zavjesa brane:	4.880	11.783	12.834	2.305	199
konsolidacione	3.250	17.010	17.726	5,015	243
kontaktne		2.780	2.542		63
čelična blindaža			(375 buš.)		(176 kg/bušot.)
ulazni uređaj		1.249	1.249		273

Već u projektu predviđena je upotreba glineno-cementnih tiksotropnih injekcionih smjesa, pri čemu je u početku predviđeno da glinena komponenta ne bude veća od 60%. Laboratorijska ispitivanja treba da potvrde opravdanost upotrebe i većeg postotka gline. U tu svrhu ispituju se gline sa obližnjih nalazišta, a njihov izbor je izvršen kroz ispitivanje Attebergovih granica krutosti i žitkosti, indeksa plastičnosti, granulometrijskog sastava, načina aktivizacije, konzistencije i sedimentacije glinenih suspenzija, te odnosa S i O₂ : Al₂ O₃.

Kad su se utvrdile gline najpovoljnijih svojstava pristupilo se istraživanju ekonomski najoptimalnije finalne injekcije smjese, a koja bi u potpunosti zadovoljila kriterij postavljen tehničkim uvjetima.

Rezultat je tih laboratorijskih ispitivanja bio da se postotak gline povećao od 60 na 70% uz upotrebu cementa P. C. 250 iz splitskoga basena.

Na injekcionim smjesama radili su laboratoriji »Instituta građevinarstva Hrvatske« i »Zavoda za mehaniku tla«, Tehničkog fakulteta u Sarajevu. Također su izvođačka poduzeća »Istražno«, Titograd i »Geostrage« Sarajevo, imala solidno opremljene i vodene terenske laboratorije koji su sprovodili tekuću redovitu kontrolu nad injekcionom smjesom i njenim komponentama.

Rezultati kontrolnih bušenja i mjerenja vodopropusnosti, govore da su radovi uspješno izvedeni.

Dovodni tunel. Cio dovodni tunel do vodne komore I, bio je podijeljen na tri dionice i na injektiranju su bila angažirana tri poduzeća: »Elektrosond«, »Geostrage« i »Geoistraživanja«.

Tunel do vodne komore I uglavnom prolazi kroz vapnenac, osim što na nešto više od hiljadu metara siječe flišne lapore i pješčare. U vapnencima se nalazilo na fenomene razvijenog krasa.

Međutim sa tehničkog stanovišta kod samog injektiranja nije bilo nekih težih problema.

Najveći problem je bio, kako uskladiti istovremeni rad pet izvođača na betoniranju i injektiranju i to na dionici od stacionaže 2 + 920 do 9 + 570, a k tome da se održi veoma nategnut rok završetka radova. Zalaganjem svih, koji su učestvovali na tim poslovima, svladane su sve poteškoće i posao je na vrijeme završen.

Od tunelskog ulaznog uređaja do stacionaže 6 + 503, upotrebljavan je cement »Ocean« PC-350, a od stacionaže 6 + 503 do 9 + 570 cement PC - 250 uz dodatak 5—10% bentonita aktiviziranog mljevenog. Ovakva smjesa ispitana je u laboratoriju izvođača ove dionice, »Geoistraživanja« Zagreb i dobili su se zadovoljavajući rezultati čvrstoće, modula elastičnosti i otpornosti na agresivnu vodu.

Ovakova injekciona smjesa bila je podesna da se pripravlja u centralnoj injekcionoj stanici te da se transportira preko smjesovoda i relejnih stanica na velike udaljenosti do injekcionih baterija.

Na cijelom tunelu u početku se upotrebljavala klasična metoda rada na injektiranju, tj. prsteni su se injektirali po fazama, a u samom profilu pojedinog prstena bušotina po bušotina. Tokom rada prešlo se na grupno injektiranje i do deset bušotina (konsolidacionih i kontaktnih) na prstenu i to bez vremenskog pomaka među fazama.

Ovakav način injektiranja ne samo da ubrzava rad, nego ima i svoje opravdanje sa tehničkog gledišta, jer se ovako pojedini potez tunela istovremeno stavlja pod tlak i time je izbjegnuto parcijalno opterećenje betonske obloge.

Obim injekcionih radova na dovodnom tunelu i utrošak suhe tvari

Vrsta radova — injekcije	Izveden broj bušotina	Injektirano suhe tvari kg/bušotina
Vezne	19.560	247
Konsolidacione	5.267	165
Kontrolne	954	20

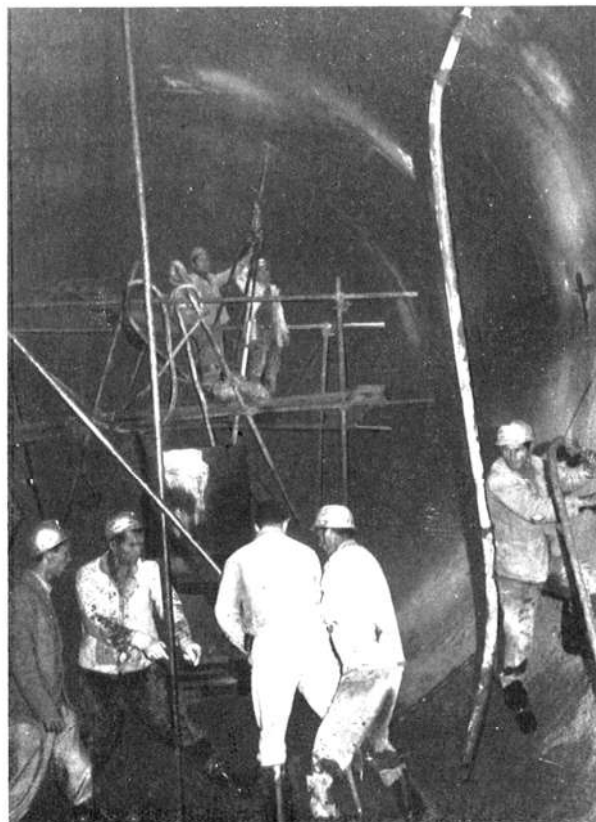
Ukupni utrošak suhe tvari je 5,725.712 kg ili 598 kg/m tunela. U gornjoj tabeli nisu uračunati utrošci suhe tvari na tamponima — Prančević, Radović i Gata. Izvršena tlačna proba tunela govori da su radovi na konsolidaciji izvedeni uspješno.

Radovi na čvoru strojarnice, vodnih i zasunskih komora. Ovdje je trebalo izvesti obimne injekcione radove na injektiranju kontakta beton — stijene, beton — čelik, te na konsolidaciji stijene.

Kao i kod dovodnog tunela iskrsnuli su organizacioni problemi oko usklađivanja radova građevinskog izvođača, izvođača montažnih radova i izvođača injekcionih radova »Elektrosond«. Međutim ovdje nije bio glavni problem pravilno korištenje transportnih komunikacija, nego je trebalo strogo održavati rokove predviđene preciznim operativnim planovima. Ovo je i postignuto zalaganjem svih kolektiva, u čemu je mnogo pridonijelo stimulativno nagrađivanje, kao i na dovodnom tunelu. Izvođač injekcionih radova naročito je pod teškim uvjetima radio na injektiranju vertikalnih tlačnih cjevovoda, pa ipak ih je izvršio u relativno kratkom roku, tj. kroz 40 dana.



Injektiranje dovodnog tunela



Injektiranje račve dovodnog tunela

Obim izvedenih radova i utrošak suhe tvari

Objekat	Izvedeno bušotina	Zainjektirano kg suhe tvari	Utrošak suhe tvari kg/bušotina
Tlačni cjevovod	2.120	242.482	115
Strojarnica i trafopostrojenje	720	288.547	4.000
Vodna komora I	263	65.389	250
Vodna komora II	1.288	328.518	254
Zasunska komora	236	70.453	298
Dovod. tunel kod vodnih komora	1.103	167.909	152
Odvodni tunel	894	263.955	294
Pristupni tunel i kabelski rov	323	430.465	1.330
UKUPNO:	6.947	1,857.718	267

Kako se izvode još neki manji injekcioni radovi u svrhu konzerviranja nekih objekata, čiji konačni završetak zavisi o izgradnji II etape HE »Split«, to će pokazatelji obima radova i utroška suhe tvari morati naknadno pretrpjeti izvjesne korekture.

Bilo je i na ovom objektu tehničkih problema oko konsolidacije, kao i na svakom drugom objektu, koji se radi na krašu, ali ti su problemi lakše i uspješno riješavani, jer su iza izvođača, projektanata i ostalih saradnika stajala već bogata iskustva sa »Peruće« i ostalih izgrađenih hidroenergetskih objekata.

Metalna

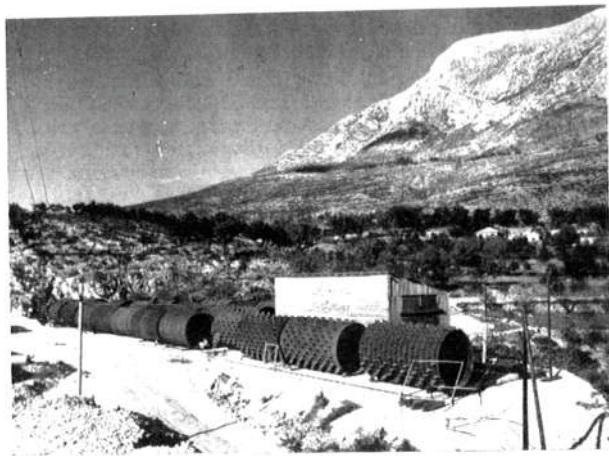
TOVARNA KONSTRUKCIJ, STROJNIH NAPRAV,
POLJEDELSKIH STROJEV IN LIVARNA

Tlačne cijevi. Firma VOEST preuzela je izradu donjeg horizontalnog dijela i donjeg koljena, a gornji horizontalni dio sa gornjim koljenom i vertikalni dio izradila je Metalna. Cjelokupnu montažu izvršila je Metalna po projektu Voest.

Karakteristični podaci:

Svijetli promjer cjevovoda	3,5 i 3,3 m
Maksimalni statički tlak ispred predturbinskog zatvarača	275 m VS
Maksimalni dinamični tlak ispred predturbinskog zatvarača	339 m VS
Maksimalni statički tlak kod zasunske komore	41,6 m VS
Maksimalni dinamički tlak kod zasunske komore	71,6 m VS
Dužina cjevovoda (1 komad)	279,3 m
Međusobni razmak osi cjevovoda	15,0 m
Kota vode u brdu (mjerodavne za vanjski tlak)	273,5 m. n. m.
Upotrebljeni materijal	H II A - S, Al 50, Al 58
Dodatak na koroziju minimalno	1 mm
Debljina stijene	10–27 mm
Težina cjevovoda (2 komada)	1074 t

Velika se važnost polagala na izbor materijala. U gornjem dijelu, gdje je cjevovod izložen manjim unutarnjim opterećenjima zbog manje debljine stijene upotrebljen je lim kvalitete H II A-S proizvod Željezare Jesenice. Taj lim ima garantiranu granicu razvlačenja od 24 kg/mm² i žilavost u stanju starenja od 3,4 kgm/cm² kod + 10°C (V notch proba sa oštrim zarezom). Za ostali dio upotrebljen je specijalni čelik



Varenje sidara na montažne komade tlačnog cjevovoda

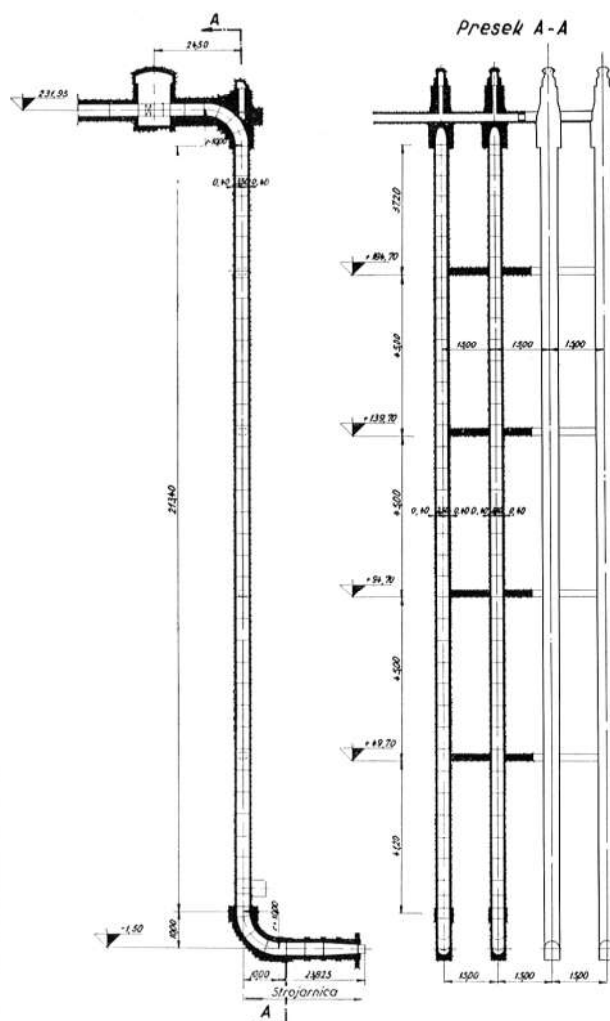
za cjevovode, proizvod Željezare Voest sa oznakom Aldur 50 i Aldur 58 sa slijedećim glavnim karakteristikama:

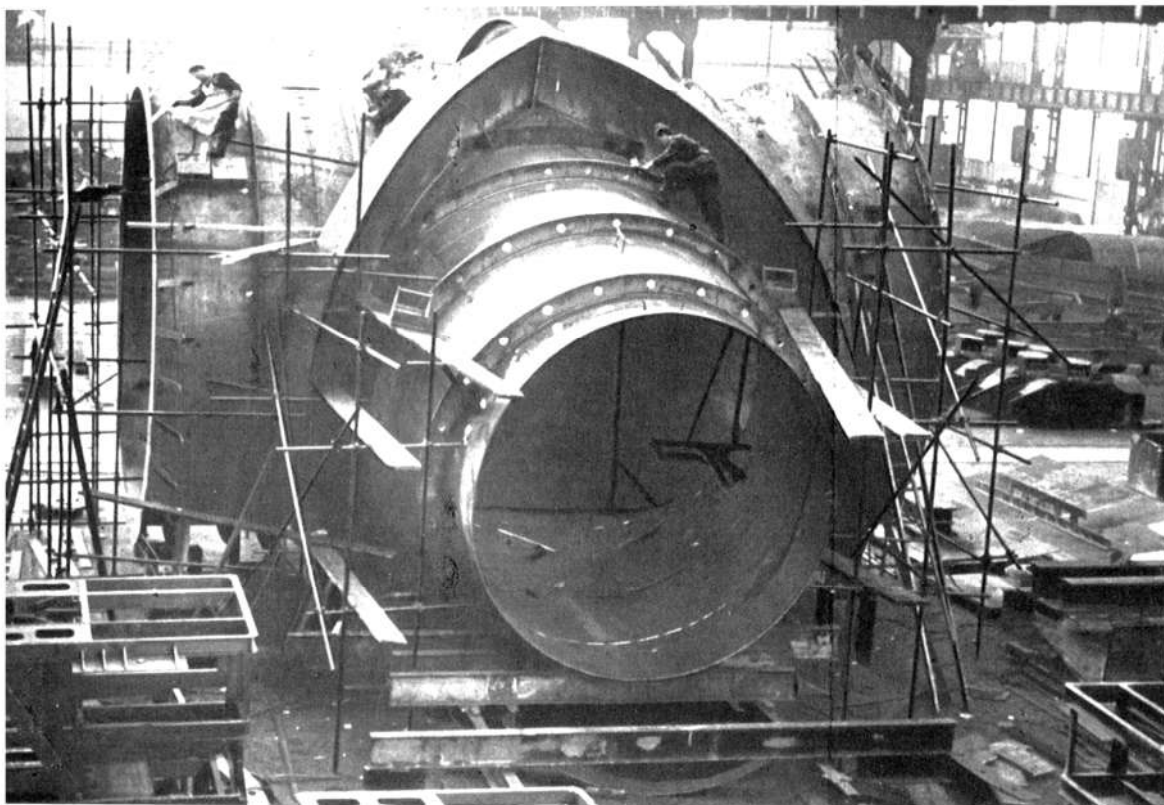
	Aldur 50	Aldur 58
Garantirana granica razvlačenja	34 kg/mm ²	40 kg/mm ²
Čvrstoća na zatezanju, minimalno	50 kg/mm ²	58 kg/mm ²
Žilavost u stanju starenja (DVM proba)	6 kgm/cm ²	6 kgm/cm ²

Svi ankeri, težine 120 tona za oba cjevovoda, su iz domaćeg materijala Č 0345 V.

Kontrolni organ investitora pregledao je limove ultrazvukom već u tvornici proizvođača i tom prilikom odbacio sve ploče, koje su imale nedozvoljene greške (lunkere, dvoplasnost i slično).

U radionici su bili izrađeni montažni cijevni komadi dužine 6 m. Svi spojevi su vareni, većinom na automatu i kontrolirani 100% ultrazvukom, a određena mjesta i rentgenskim snimcima. Tlačna proba pojedinih montažnih komada u radionici nije bila propi-





Obloga vodne
komore

sana, jer se smatralo na temelju iskustva, da je 100% kontrola svih varova ultrazvukom dovoljna.

Vertikalni transport od zasunske komore na mjesto ugradnje obavljen je 16-tonskim vitlom. Za potrebe montažnog varenja, injektiranje i antikorozijsku zaštitu povremeno su bile postavljene skele iz lakih cijevnih profila nosivosti 1,5 t po cijeloj visini cjevovoda. Skele su bile montirane i pričvršćene na mjestima rupa za injektiranje. Ljestvama se pristupalo na skele. Skele su bile po završenim radovima izvučene iz cjevovoda u zasunsku komoru i mogu se ponovno upotrebljavati.

Radijalni montažni varovi izvedeni su V oblikom pomoću podložnih prstena. Prsteni su iz plosnatih čeličnih traka 50 mm × 6 mm, a njihova je gornja strana obrađena zbog lakšeg namještanja cijevnog komada.

Radijalni montažni varovi i betoniranje slobodnog prostora između čelične cijevi i stijene izvršeno je naizmjenično u obimu visine jednog montažnog komada, to jest 6 m. Betonska mješavina je transportirana kamionima do zasunske komore, a zatim u specijalnom sudu vitlom spuštена do mjesta ugradnje sukcesivno sa montažom pojedinih komada.

Cjevovod je očišćen mlazom pijeska i zaštićen sa 4 premaza Inertola I dick L.

Za slučaj eventualnog vanjskog tlaka, prouzrokovana od vode, koja bi možda infiltrirala kroz brdo i beton do čeličnog lima, cjevovod je osiguran protiv ubočenja ankerima iz plosnatog čelika (Schubpratzen), koji su navareni na vanjsku površinu cjevovoda. Ukupno ima 9.806 komada ankera na jednom cjevovodu. Sve ankere je bilo potrebno navariti na gradilištu, jer bi se navarivanjem u radionici onemogućio transport cijevi željeznicom.

Tlačni pokus bio je izvršen kod prvog cjevovoda sa tlakom 7,1 atmosfera, što predstavlja visinu računskog tlaka u zasunskoj komori. Veći probni tlak nije poželjan, jer bi ovakva proba bez potrebe prouzrokovala u okolnoj stijeni relativno velike napone i deformacije, ma da bi čelična cijev mogla izdržati mnogo veći tlak. Svrha probe je bila, da se ustanovi nepropusnost cjevovoda i stupanj suradnje betona i stijene. Pomoću volumetrijskog mjerenja (to je mjerenje količine dodatne vode, koja je potrebna za postizanje probnog tlaka kod već vodom napunjenog cjevovoda), bilo je ustanovljeno, da je procenat suradnje betona i brda u prosjeku 85%, tako da otpada na čeličnu cijev samo 15%. Time je bilo utvrđeno, da je potpuno opravdan srazmjerno visok stepen suradnje (50%), koji je bio propisan u narudžbenim elaboratima.

Istovremeno su bile mjerene deformacije u raznim prečnim presjecima cjevovoda. Mjereno je mjernim trakama vezanim kablom na električni mjerni most. I ta mjerenja su potvrdila, da je stupanj suradnje visok. Tako je na primjer izmjereno najveći napon u čeličnom limu od 407 kg/cm², a dozvoljeni napon na istom mjestu iznosio je 2000 kg/cm² (Aldur 58).

Slična mjerenja su bila izvršena i kod tlačnih cjevovoda I i II HE Jablanica i kod HE Moste. Svuda je bilo konstatirano, da je stvarna suradnja vrlo visoka i da je opravdano računati i dimenzionirati zabetonirane cjevovode sa visokim procentom suradnje uz uvjet, da su injekcioni radovi dobro izvršeni i da se cjevovod nalazi u zdravoj stijeni.

*

Osim tlačnih cijevi Metalna je u potpunosti izradila i montirala svu hidromehaničku opremu brane, vodnih komora i izlazne građevine.

Litostroj

TITOVİ ZAVODI

Glavne turbine izradene su u tvornici Litostroj – Ljubljana po licenci zapadno-njemačke tvornice Voith Heidenheim, koja je isporučila i glavu regulatora, pogonski točak, turbinsku osovinu, neke dijelove korničnog uređaja kuglastog zatvarača i segmente sa kliznim prstenom nosećeg ležaja.

U skladu sa konstrukcijom generatora izabrana je koncepcija agregata sa 3 vodeća ležaja i sa nosećim ležajem ugrađenim u gornjem križnom nosaču generatora.

Spiralno kućište turbine je ubetonirano. Primljena novog tipa difuzora pojednostavljuje izradu čelične obloge i betonskog dijela, te daje i bolji raspored strujanja vode od klasičnog oblika. Čelična obloga difuzora izvedena je do mjesta brzine strujanja vode od 5 m/s. Ubetonirana je bila u prvoj fazi betoniranja strojarne, a pristup joj je ispod pogonskog točka posebnim hodnikom iz prostora predturbinskog zatvarača.

Pogonski točak kao i ostali dijelovi turbine demontiraju se prema gore.

Sporohodni pogonski točak je u izvedbi vjeran modelnom pogonskom točku. Izrađen je od kromiranog čeličnog liva sa 13% sadržine Cr. Plohe, koje su u dodiru sa vodom, polirane su. Naročito tačno su obrađeni ulazni i izlazni dijelovi lopatica točka. Odabrani materijal vrlo je otporan protiv štetnih pojava od kavitacije, pa je time omogućen rad točka sve bliže granici kritične kavitacije. Ova prednost izražava se u visokom stupnju korisnog djelovanja točka. Dosadašnja praksa sa pogonskim točkovima od ovog materijala pokazala je, da nije potrebna obloga vijenca točka posebnim labirintnim prstenima zbog visoke čvrstoće i otpornosti protiv kavitacije i mehaničkih oštećenja. U slučaju oštećenja ovih dijelova, poslije

višegodišnjeg rada, obradit će se taj dio točka i na to mjesto smjestiti nove štitne prstene. Točak je statički izbalansiran i pregledan ultrazvukom.

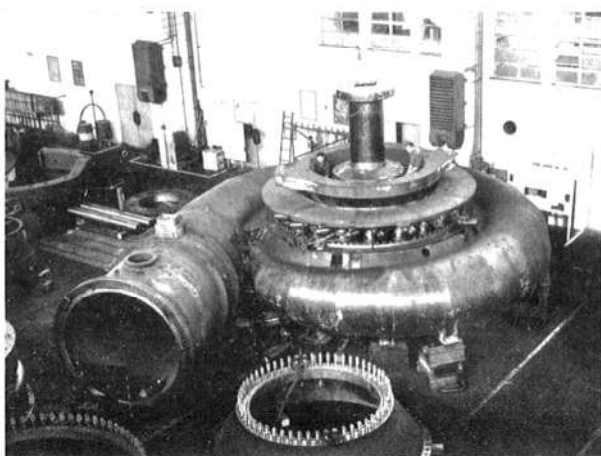
Zbog nedovoljnog iskustva u izradi i varenju visokokvalitetnih limova debljine 80 pa i više mm, bilo je prvim projektima turbine predviđeno spiralno kućište od lijevanog čelika. Zahvaljujući razvitku tehnike varenja i metalurgije, ipak je izvedeno kućište od visokokvalitetnog čeličnog lima, otpornog protiv starenja i sa granicom razvlačenja 36 kg/mm². Svaka ploča lima, upotrebljena za izradu kućišta, bila je detaljno ispitana na mehaničke i kemijske osobine, pa pored ostalog i na zareznu žilavost u umjetno starenom stanju kod 0°C. Naročito pažljivo bilo je izvedeno varenje kompliciranog kućišta sa statorskim lopaticama. Svi vareni dijelovi bili su naponsko žareni, a limovi i varovi pregledani ultrazvukom, odnosno rentgenom i na gradilištu međusobno zavareni. Prije ubetoniranja bilo je kućište ispitano vodom na tlak od 43 kg/cm². Na kućištu su izvedeni priključci za stalno mjerenje protoka vode po sistemu Winter-Kenedy. Ulazni priječnik kućišta je 2.400 mm.

Gornji turbinski poklopac u varenoj izvedbi zatvara turbinu sa gornje strane i služi kao nosač brtvenice, turbinskog vodećeg ležaja i vodećeg aparata. Kao i donji turbinski poklopac ovaj je na mjestu sprovednog aparata obložen limom od kromiranog čelika, a labirintni prsteni od visokokvalitetne bronzne smanjuju gubitak vode kroz zazor između fiksnih i rotirajućih dijelova turbine.

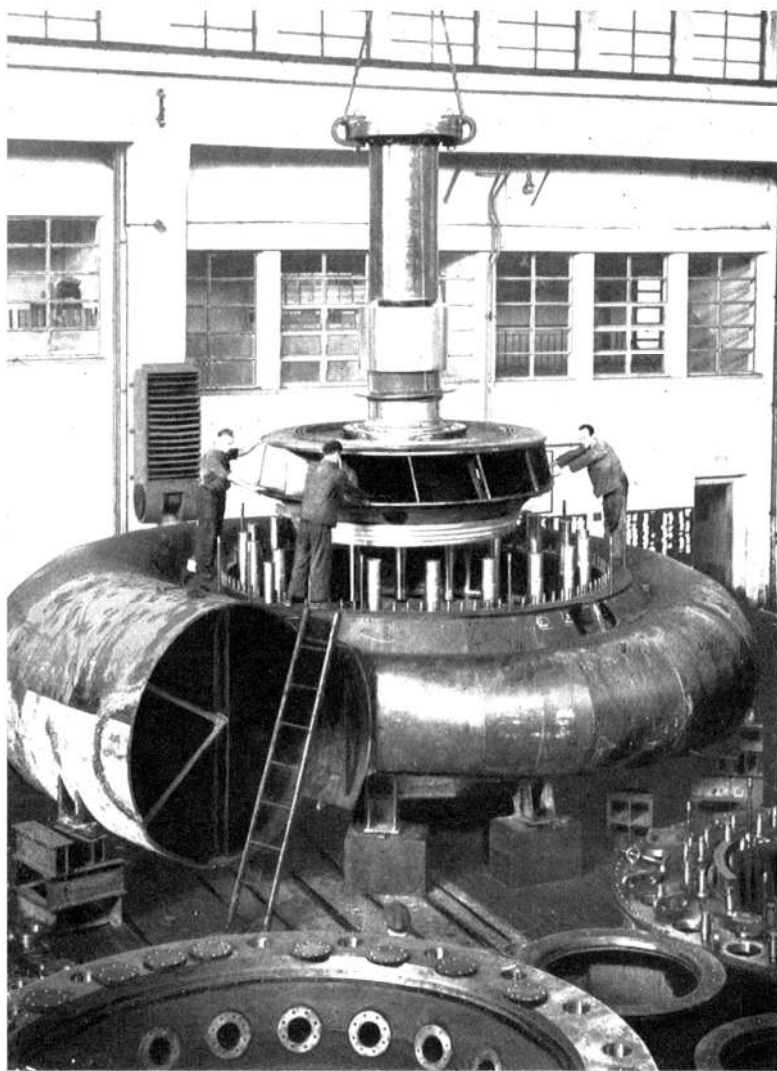
Sprovedne lopatice, kao organ za regulaciju protoka vode i time regulaciju snage agregata, izradene su od kromiranog livenog čelika, glatko polirane i leže na izmjenljivim bronzanim ležajima. Podmazivanje mašću svih 110 ležajnih mjesta sprovednog kola kao i poluga za reguliranje, obavlja se automatski elektromotornom klipnom crpkom sa posebnim uređajem za štednju maziva. Crpka se uklapa automatski u određenim vremenskim intervalima, a isklapa se prema visini postignutog pritiska u tlačnom sistemu, odnosno prema podešenom vremenskom intervalu.

Na kraju rukavca svake lopatice uklinjen je unutrašnji dio ručice, koja je preko sigurnosnog vijka vezana sa vanjskim dijelom ručice. U slučaju upada tuđeg tijela između dvije lopatice u fazi zatvaranja turbine, kidanjem sigurnosnog vijka spriječit će se lom lopatica, a posebni graničnik sprečava udaranje unutrašnje ivice defektne lopatice u pogonski točak.

Turbinska osovina promjera 800 mm izrađena je od kovanog visokokvalitetnog SM čelika i probušena radi dovoda zraka u područje ispod pogonskog točka. Potrebni zrak se uzima na priрубničkom spoju generatorske i turbinske osovine. Time je spriječeno vlaženje generatora u slučaju kvara membranskog povratnog ventila koji je smješten neposredno ispod turbinske osovine.



Probno montirana turbina



Upuštanje pogonskog točka i turbinske osovine kod probne montaže u tvornici Litostroj

Brtvenje osovine izvedeno je višedijelnim ugljenim brtvama. Efikasnim sistemom labirinata i odvoda otpadne vode ispod brtve, postignut je u samoj brtvi i kod punog otvora sprovednog kola, tlak od 0,6 atm, uz sigurnost od prekomjernog trošenja brtve.

Brtvenica se hladi čistom vodom iz rashladnog sistema.

Turbinski vodeći ležaj je samomazajući sa prisilnom cirkulacijom ulja kroz uljni hladnjak. Cirkulacija je postignuta adhezijom crpkom izrađenom u donjem dijelu ležajne košuljice. Ova crpka potiskuje svježe ulje u kanale za podmazivanje. Toplo ulje skuplja se u komori iznad ležaja pa se ohlađeno vraća u crpku. Dodatno hlađenje ležaja izvedeno je direktnom cirkulacijom vode iz sistema za hlađenje kroz kućište ležaja. Promjer ležaja je 1.050 mm. Ležaj radi sa temperaturom od 36°C.

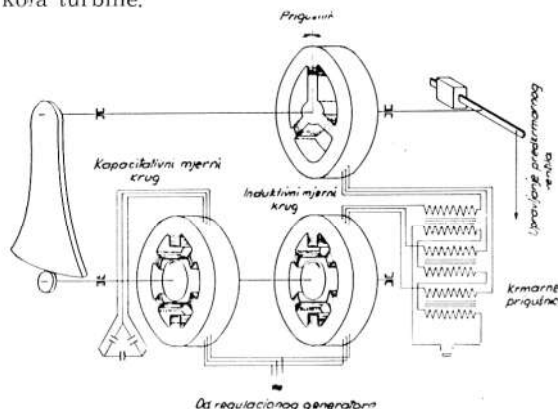
Iznad generatora, upušten u križni nosač, nalazi se noseći ležaj agregata, kombiniran sa gornjim generatorskim vodećim ležajem. Ovaj ležaj izrađen je za aksijalno opterećenje od 610 t, za trajan rad kod 300 1/min i kratkovremenski rad kod pobjega turbine. Vanjski promjer kliznog prstena iznosi 1.950 mm. Izveden je kao segmentni klizni ležaj sa hidrodinamičkim podmazivanjem. Aksijalna snaga se prenosi preko rotirajućeg zvana i kliznog prstena na fiksirane segmente, kojima je gornja strana izlivena sa bijelom kovinom. (WM80F). Segmenti su podloženi elastičnim

podlogama sintetičke gume otporne na ulje. Preciznost izrade pojedinih dijelova osigurava ravnomjerno opterećenje segmenata, a elastičnost podloge omogućava segmentima za vrijeme rada agregata samopodešavanje zbog stvaranja uljnog filma između segmenata i kliznog prstena. Iznad nosećeg ležaja smješten je u istom kućištu i gornji generatorski vodeći ležaj promjera 1.000 mm. Oba ležaja izvedena su kao samomazajuća, to jest bez klasične elektromotorne crpke za cirkulaciju ulja. Ova koncepcija osigurava stalnu cirkulaciju ulja nezavisno od vanjskog izvora električne energije. Ulje cirkulira na slijedeći način: Na rotirajućem dijelu nosećeg ležaja ovješena je i osigurana protiv rotacije adheziona uljna crpka. Ova ima u donjem dijelu podtlačnu komoru, u srednjem dijelu samu crpku, a tlačnu komoru u gornjem dijelu. Toplo ulje ispod segmenata sakuplja se u podtlačnoj komori. Rotirajuća, grubo obrađena vanjska površina kliznog prstena povuče sa sobom, zbog velikih obodnih brzina toplo ulje i tlači ga pomoću kanala crpke u gornju tlačnu komoru. Posebni odvajači usmjeravaju ulje u cirkulacioni sistem. U uljnim hladnjacima specijalne izvedbe sa malim otporima i sa kapacitetom hlađenja 2×155.000 kcal/h ulje se ohladi i preko filtera sa magnetnim ulošcima dolazi ponovo ispred svakog segmenta. Klizni prsten ga povuče sa sobom između segmenata gdje se samovoljno stvara visoki tlak potreban za hidrodinamičko podmazivanje. Na izlazu iza segmenta, ulje je odvajačima usmjereno u podtlačnu komoru adhezijone crpke. Priključkom na tlačnu cijev ulje se uzima i za podmazivanje gornjeg generatorskog vodećeg ležaja.

Oba ležaja su izolirana protiv lutajućih struja. U nosećem ležaju ugrađena su dva živina termometra sa kontaktima za signalizaciju i isključenje kod prekomjernog porasta temperature i otporni termometar za daljinsku kontrolu temperature. Vodeći ležaj ima ugrađenu istu zaštitu kao turbinski vodeći ležaj. Noseći ležaj radi sa temperaturom 62°C, a vodeći 42°C. Gornji dio difuzora je obložen čeličnim limom, koji je ukrucenjem vezan sa betonom. Kroz ulazni otvor se može izvršiti revizija pogonskog točka. Gornji dio difuzora je od kromiranog čelika. Obodno zračenje je atmosferskim tlakom.

Kad agregat radi kao sinhroni kompenzator predviđeno je hlađenje labirinta iz sistema rashladne vode.

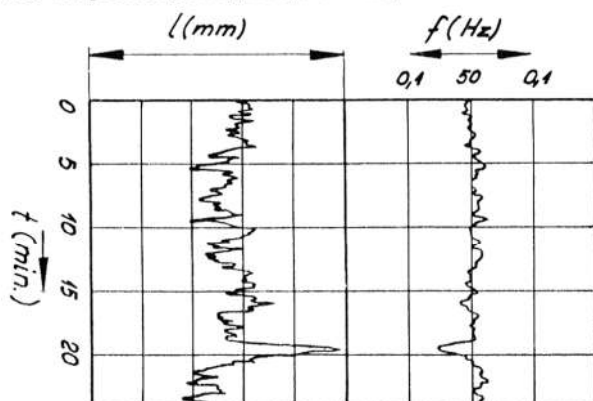
Automatska regulacija broja okretaja sastoji se od električne glave regulatora sa hidrauličkim stabilizacijom i upravljačkim dijelom, naprave za tlačno ulje i servomotora za otvaranje i zatvaranje sprovednog kola turbine.



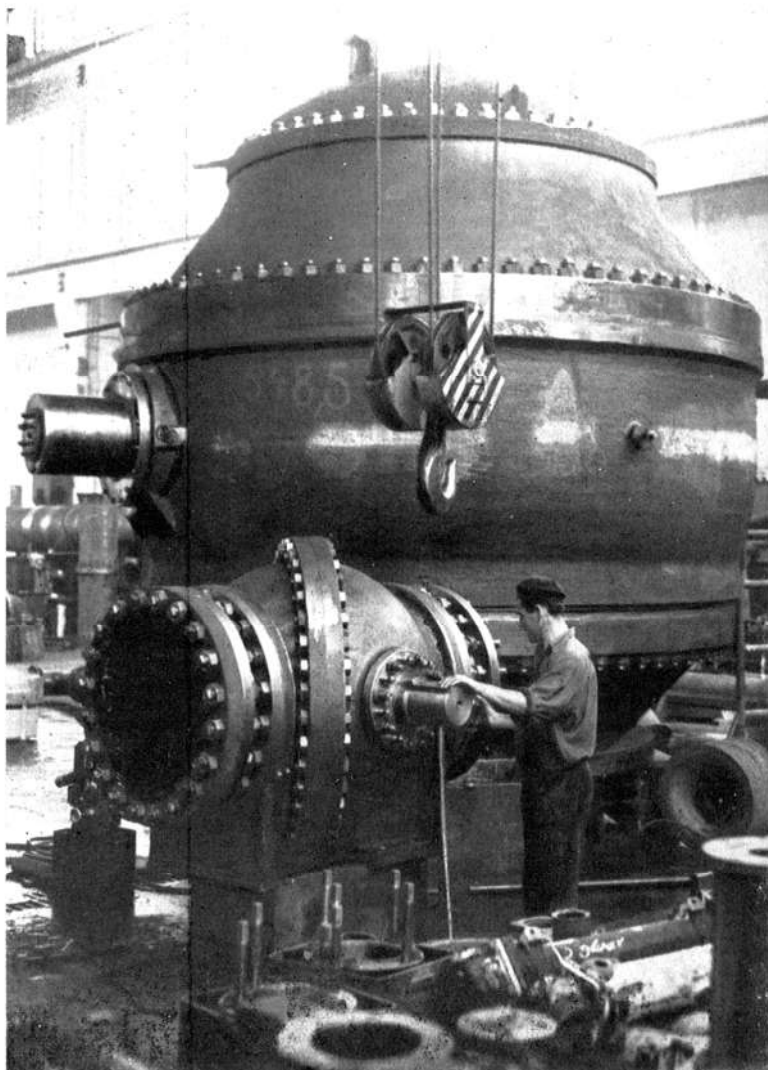
Principijelna shema električne glave regulatora

Električna glava regulatora proizvod je firme Brown Boveri Cie. Izrađena je na principu mjerila frekvence. Regulacioni generator na osovini agregata napaja je strujom. Niska granica njezine neosjetljivosti (ispod 0,01%), pouzdan rad i kod pada napona ispod 30% nazivnog, jednostavnost izrade i izvedba bez konstantno rotirajućih dijelova, njezine su najkarakterističnije osobine. U glavi je ugrađen kapacitativni i induktivni sistem. Kapacitativni mjerni krug je vezan u seriju sa trofaznim kondenzatorom, a induktivni mjerni krug u seriji sa prigušnicom okretaja. Rotori oba sistema smješteni su na istoj osovini. Momenat zaokreta prvog i drugog mjernog sistema djeluje u suprotnom pravcu te su kod nazivne frekvence 50 Hz u srednjem ravnotežnom stanju. Kod najmanje promjene frekvence pojačan je obrtni momenat jednog ili drugog mjernog kruga i osovina se zaokrene u lijevo ili desno. Time se okrene i prigušnica okretanja i to do trenutka u kojem protivmomenat prigušnice ne stvori ponovo ravnotežno stanje. Osovina zauzima prema tome, kod svake frekvence odgovarajuće ravnotežno stanje što daje glavi regulatora statičku karakteristiku.

Glava regulatora daje impulse stabilizacionom i upravljačkom dijelu regulatora koji je prekriven pleksi-staklom i smješten na lako pristupačnom mjestu iza ploče strojeva. Impulsi se prenose preko predkormilarnog uljnog sistema na kormilarni servomotor, koji mehaničkom vezom upravlja glavnim razvodnim ventilom regulatora. Da bi se postigla što veća osjetljivost regulatora i što više smanjilo trenje pomičnih dijelova regulatora, cilindri servomotora u tom sistemu rotiraju pomoću specijalnog uljnog motora. Osjetljivost regulatora može se regulirati i pomoću uljne kočnice sa elektromagnetom za daljinsko upravljanje, što je naročito važno za brzu sinhronizaciju generatora i za namjerno podešavanje većih promjena u opterećenju agregata. Regulator je izveden za ručno i daljinsko upravljanje ograničenja otvaranja, promjene broja okretaja (opterećenje agregata) i uljne kočnice, a samo za ručno upravljanje statike, sve za vrijeme pogona. Otvor sprovodnog kola turbine i položaj ograničenja otvaranja može se pratiti na dvostrukom pokaznom instrumentu na mjestu upravljanja regulatorom. U slučaju kvara dijelova automatske regulacije, može se ova odvojiti iz regulacionog sistema, a broj okretaja turbine, a time i opterećenje agregata može se regulirati ručno direktnim napajanjem servomotora sprovodnog kola uljem iz tlačnog kotla. Kod ove regulacije agregat je automatski zaštićen od prekomjernog broja okretaja.



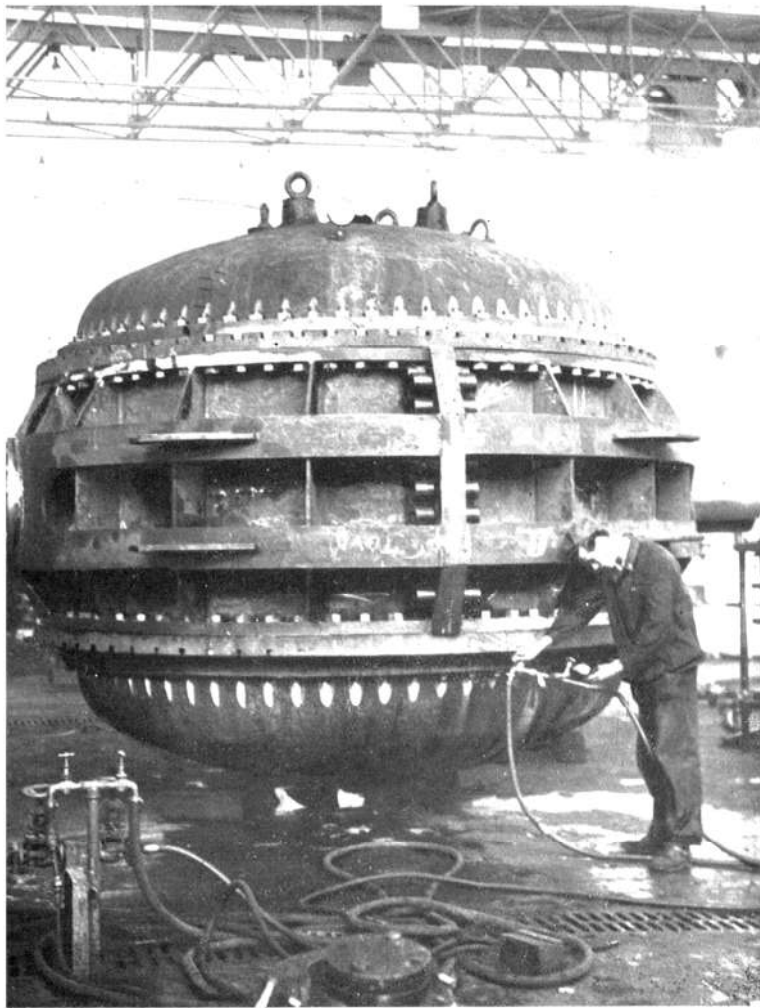
Rezultati ispitivanja regulatora u tvornici dobavljača



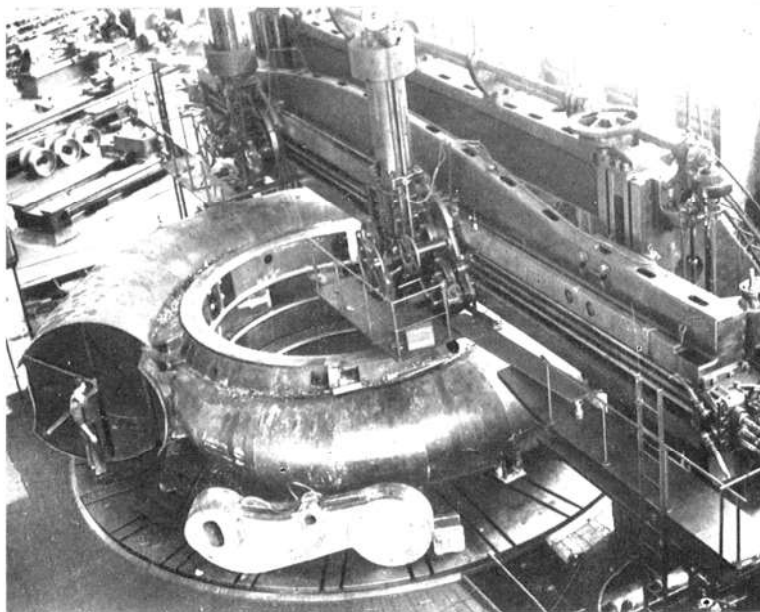
Ispitivanje kuglastih zatvarača promjera 2400 mm i 600 mm tlačnom vodom u tvornici Litostroj

Uređaj za pripremu tlačnog ulja je u turbinskom kotlu. Elektromotorna crpka, koja je u redovnom pogonu stalno uklopljena, crpi ulje iz uljnog rezervoara u tlačni kotao. Kod postignutog tlaka od 20 atm, preklopni ventil usmjerava ulje i ono cirkulira bez tlaka u uljni rezervoar. Ako se smanji uljni tlak, bilo zbog ispadanja glavne crpke, bilo zbog povećanja potrošnje ulja (otvaranje kuglastog zatvarača), kod 19 atm automatski se uklopi rezervna uljna crpka istog kapaciteta kao glavna i održava konstantni uljni tlak između 17 i 19 atm. Minimalni uljni tlak kojim regulator može još da zatvori turbinu, iznosi 12,7 atm. Potrebnu količinu tlačnog ulja, odnosno nivo ulja u kotlu, održava zračni jastuk. Umjesto klasičnih elektromotornih zračnih kompresora, kod ove regulacije primijenjen je hidraulički kompresor. Čim pogonsko osoblje primijeti kod pogonskog tlaka u kotlu viši uljni nivo i time gubitak zraka, uključi dovod atmosferskog zraka u međurezervoar koji je ugrađen u uljnom kotlu. Potrebno komprimiranje zraka obavlja tlačno ulje crpke kormilareno preklopnim ventilom. Kod normalnog pritiska u kotlu, preklopni ventil ispušta ulje u rezervoar.

U toj fazi ulazi zrak u međurezervoar. Kod pada pritiska, preklopni ventil usmjeri tlačno ulje u kotao, povratni ventil na dovodu atmosferskog zraka se zatvori i tlačno ulje potiskuje zrak u tlačni kotao. To se ponavlja sve dok u kotlu nije uspostavljen normalni



Ispitivanje kućišta leptirastog zatvarača promjera 3500 mm tlačnom vodom u Litostroju



Obrada spiralnog kućišta u tvornici Litostroj

odnos zrak — ulje. Zatvaranjem dovoda zraka u međurezervoar prekinuto je korištenje tlačnog ulja za komprimiranje zraka.

Na regulacionom prstenu sprovednog kola turbine nalaze se zapori koji sprečavaju otvaranje zatvorene turbine uslijed tlaka vode kod nestanka tlačnog ulja ili pogrešnog rukovanja. Ovi zapori se blokiraju automatski aktiviranjem uređaja za brzo zatvaranje turbine. Time je spriječeno blokiranje turbine u zatvorenom položaju kod pogonskih rasterećenja. Regulator u tom slučaju održava turbinu u praznom hodu. Posebni uljni hladnjak održava konstantnu temperaturu ulja za regulaciju. Kućište, zaokretno tijelo i disk za brtvenje predturbinskog kuglastog zatvarača izrađeni su od visokokvalitetnog livenog čelika. Sjedišta brtvenih elemenata izrađena su od kromiranog čelika i bronz. Zatvarač je izveden bez klasičnog obilaznog voda za punjenje spiralnog kućišta i izjednačenje tlaka ispred i iza zatvarača u fazi otvaranja. Voda za izjednačenje tlaka spušta se u spiralno kućište kroz procijep između odmaknutog diska za brtvenje i brtvenog prstena u kućištu. Zbog sigurnosti pogona, zatvarač se otvara tlačnim uljem regulacije, a zatvara tlakom vode iz glavnog tlačnog cjevovoda. Vodni servomotor je pod stalnim tlakom tako, da zatvarač ima stalnu tendenciju zatvaranja. Kod otvaranja uljni pritisak pomakne klipove uljnog i vodnog servomotora u gornji položaj. Ispust ulja iz servomotora bilo namjerno, proradom zaštite ili zbog gubitka tlačnog ulja prouzrokuje zatvaranje zbog stalnog pritiska tlačne vode na klip vodnog servomotora. Disk za brtvenje zatvarača upravljan je posebnim sistemom. Da bi se postiglo brtvenje kod zatvorenog zatvarača, disk nasjeda na brtveni prsten kućišta, a puni statički tlak vode i cjevovoda u komori između diska i okretnog tijela osigurava potpuno brtvenje. U prvoj fazi otvaranja kormilarni ventil ispusti vodu iz ove komore i tlak nestane. Disk se odmakne od svog sjedišta i tlak vode u spiralnom kućištu se izjednači sa tlakom u cjevovodu. Tek kada je ova faza završena, tlak ulja otvori zasun. Sve pojedine faze otvaranja i zatvaranja potpuno su automatizirane i međusobno mehanički i hidraulički blokirane. Da ne bi došlo do zaglavljivanja kormilarnih uređaja za vodu zbog nečistoće i taloženja na spoju između tlačnog cjevovoda i ovih uređaja, ugrađen je rezervoar sa čistom vodom. U njemu voda iz tlačnog cjevovoda održava konstantni pritisak a utrošena čista voda za upravljanje, automatski se nadoknađuje klipnom crpkom iz posebnog sistema.

*

Osim prije specijalno navedene, Litostroj je isporučio još oko 700 tona razne opreme: dvije poluportalne dizalice nosivosti svaka 160 tona, mosnu dizalicu nosivosti 30 t u zasunskoj komori, dva vodostonska leptirasta zatvarača promjera 3500 mm, difuzorske zatvarače, uređaje rashladne i drenažne vode, kućne turbine i vodni otpor.

Glavni generatori. Napon generatora nije unaprijed određen, već je tu ostavljena sloboda projektantu, kako bi odabiranjem najpovoljnijih vrijednosti stroj bio što ekonomičniji. Projektant turbine je odredio brzinu vrtnje kod pobjega i ona iznosi 558 o/min, dok je prirodni zamašni moment bio dovoljan da omogući regulaciju brzine vrtnje turbine kao i vrijeme njenog zatvaranja.

Uzevši u obzir osnovne parametre generatora, nekoliko zahtjeva mnogo je otežalo izvršenje zadatka. Snaga generatora znatno prelazi dosad izrađene generatore u našoj zemlji (preko 2 puta) te se uzevši u obzir brzinu vrtnje od 300 o/min svrstavaju među najveće generatore tog tipa na svijetu. S druge je strane zahtjev za relativno niskom sinhronom reaktancijom, uz istovremeni veliki opseg regulacije napona od + 10%, znatno povećao veličinu stroja.

S obzirom da se snaga tog generatora približava graničnoj snazi za tu brzinu vrtnje, određivanje glavnih dimenzija je trebalo započeti tako, da se odredi maksimalni promjer provrta statora uzevši u obzir dozvoljena mehanička naprezanja. Nakon detaljnih analiza električnih i mehaničkih naprezanja odabran je promjer od 5 metara. S tim promjerom uz brzinu vrtnje kod pobjega od 558 o/min dobivena je obodna brzina od 146 m/s. Kako se zbog transporta kod takova promjera ne može izvesti konstrukcija rotorskog jarma s jednodijelnim čeličnim prstenima već se mora izvesti rotor od štancanih čeličnih limova, to je obodna brzina veoma visoka, jer su i naprezanja u rotoru znatna. Zadatak je konstruktora bio da tačno odredi sva naprezanja u rotoru, specijalno jarma i elemenata za pričvršćenje polova te da odredi odgovarajući materijal.

Na taj način određena je jedna od glavnih dimenzija generatora, dok druga tj. dužina statorskog paketa slijedi iz strujnih i magnetskih opterećenja. Mehaničkim je proračunom određena maksimalna radijalna visina polova, a time i prostor za smještaj uzbuđnog namota. Strujno je opterećenje određeno hlađenjem tj. maksimalnom količinom zraka koji se može protjerati kroz stroj. Takovim razmatranjima određena su specifična opterećenja i magnetska indukcija u zračnom rasporu, te strujni oblog. Uz ova opterećenja određena je druga glavna dimenzija tj. dužina statorskog paketa. Uz ove dimenzije izlazi, odabравši kao najpovoljniji tip statorskog namota dvoslojni valoviti namot sa dva štapa po utoru, napon od 16.000 V.

Uz ovako određene glavne dimenzije stroja pristupilo se proračunu svih karakteristika stroja kao i svih gubitaka. Ukupni gubici iznose 1640 kW te prema tome korisnost generatora iznosi 98,48%. Iako je korisnost vrlo visoka ipak je ogromna količina topline koju treba odvesti iz stroja. Želimo li temperaturu generatora održati u dozvoljenim granicama (max. temperatura u takvom statoru 120°C) moraju ventilatori u svakoj sekundi protjerati kroz stroj cca 70 m³ zraka, a kroz hladionike proteći oko 240 m³ vode na sat.

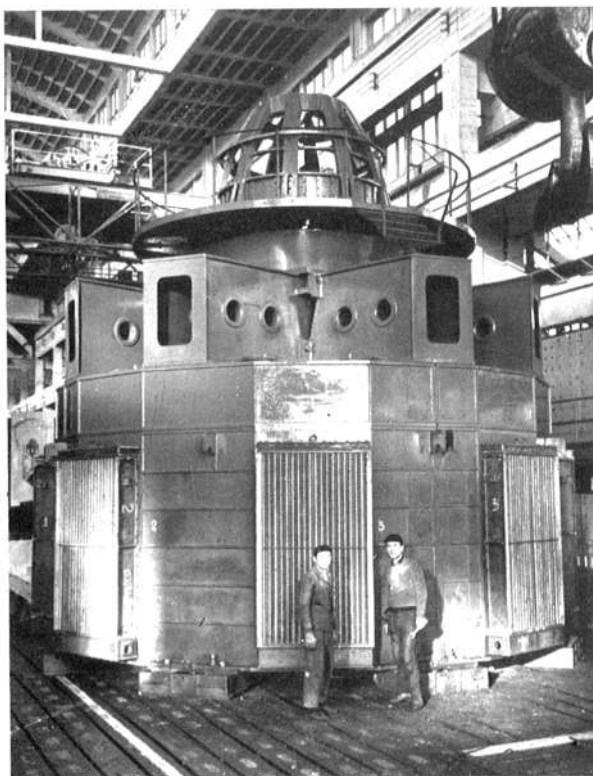
Ispitivanja zagrijavanja generatora u elektrani potpuno su potvrdila proračune ventilacije i zagrijavanja te su maksimalne temperature statora i rotora ispod temperature, koja je garantirana prilikom sklapanja ugovora.

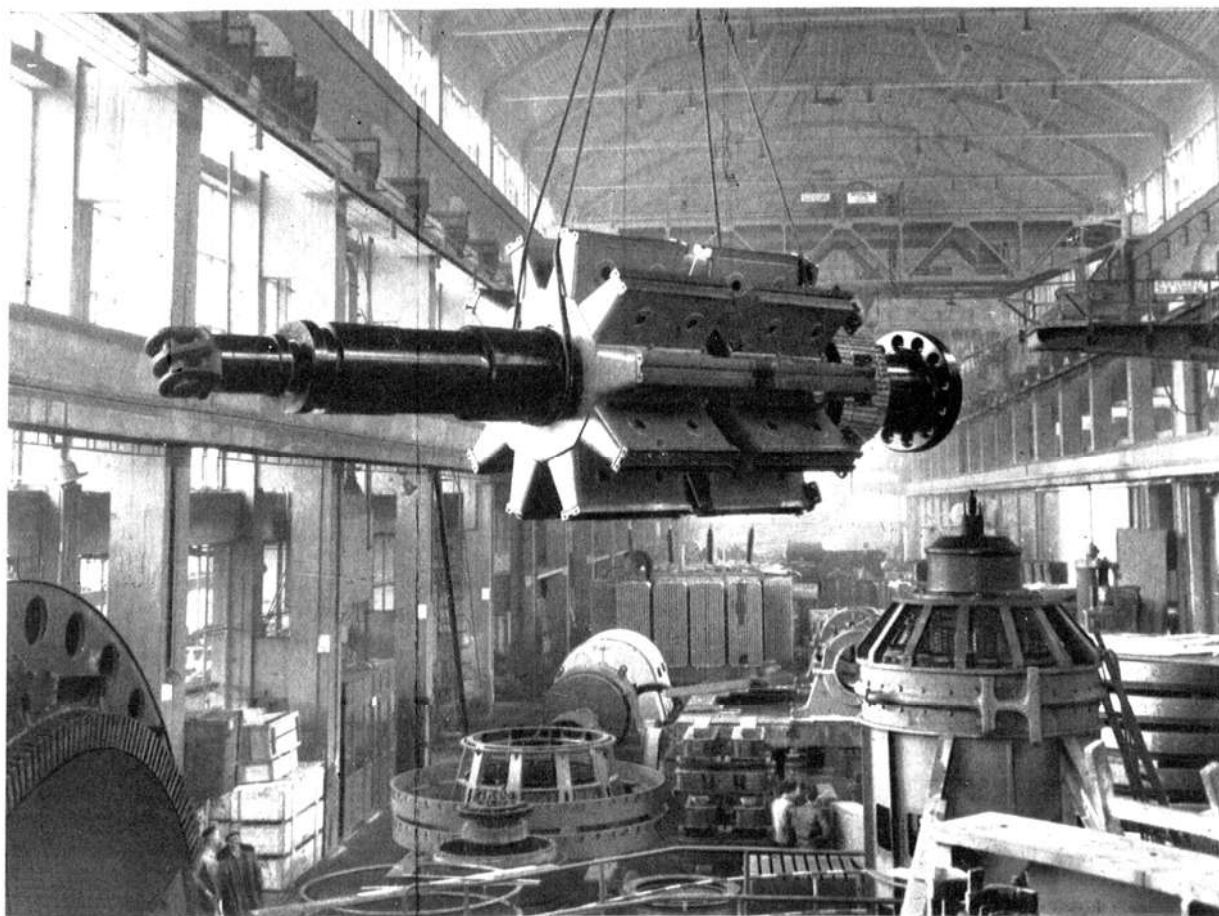
Zbog relativno visokog napona (16 kV) naročita je pažnja posvećena izolaciji statorskog namota. Klasič-

na ljuska od šelak-mikafolija je napuštena te je nakon dugog istraživanja odabran za ljusku samicafolij. Samicafolij je materijal sastavljen od tinjca kemijski rastavljenog u vrlo tanke listiće, a kao vezivno sredstvo odabrane su etoksilinske smole. Nakon glačanja i prešanja pod temperaturom, taj je materijal potpuno homogen, mehanički i električni vrlo čvrst i jako otporan na prodiranje vlage. Ispitivanja te izolacije kako za vrijeme proizvodnje, tako i u samom stroju dala su potpuno zadovoljavajuće rezultate.

Kao što je ranije napomenuto jedan od najsloženijih zadataka prilikom izrade projekta tog generatora bilo je odabiranje tipa rotora. Razmatrano je nekoliko varijanata od kojih je na koncu odabrana ona s tzv. lančanim rotorom. Jaram rotora je izrađen od čeličnih limova 2 mm debljine, koji su preklopno složeni u prsten i stegnuti pomoću velikog broja svornika. Zbog velike dužine rotora, jaram je aksijalno razdijeljen u dva dijela koji su zasebno sastavljeni. Na taj je način olakšana montaža, a ujedno i povećana sigurnost da su limovi čvrsto stegnuti u jednu cjelinu. Zbog toga što limovi imaju mnogo rupa za prolaz steznih svornika te zbog gubitaka presjeka radi preklopa limova, jaram mora radijalno biti znatno deblji od čeličnih prstena iz jednog komada. Rotor postaje na taj način teži, ali je cijena lima znatno manja od cijene kovanog čelika. Također je zbog male debljine lima kontrola materijala sasvim sigurna pa može otpasti vitlanje u tvornici što opet znatno pojeftinjuje izvedbu.

Polovi su pričvršćeni na jaram rotora sa tri izdanka u obliku glave čekića. Tim načinom učvršćenja dobivena su povoljna naprezanja i na polnim limovima kao i na krajnjim polnim pločama koje nose i čeonu stranu polnog svitka. Prednost ovog načina učvršćenja prema lastinu repu je u tome, što se zbog veće dužine





Trofazni sinhroni generator 120.000 kVA, 16.000 V, 300 o/min — prenos osovine sa zvijezdom rotora

vrata lakše izjednačavaju vrhovi naprezanja putem plastične deformacije te lakšeg prilagođivanja ploha koje nasjedaju jedna na drugu. Cijeli je pol sastavljen od čeličnih limova debljine 2 mm, s garantiranim magnetskim i mehaničkim svojstvima, a s obe se strane pola nalazi po jedna tlačna ploča od kovanog čelika. Pol je stegnut svornicima koji su pod prešom zavarani s krajnjim pločama. U polnoj papučici je ugrađen prigušni kavez.

Polni namot je od plosnatog bakra. Zbog problema odvoda topline iz polnog namota, odabrana su dva profila različite širine, a zavoji su složeni tako, da je profil svakog trećeg zavoja 15 mm širi od ostalih zavoja. Rashladna površina je time znatno povećana, pa je i hlađenje mnogo bolje. Takovom rebrastom izvedbom štedi se na bakru. Zbog velike širine bakrenih profila napušteno je savijanje bakra u formi svitka, već je svaki zavoj izveden u obliku paralelograma iz četiri komada koji su na uglovima mehanički spojeni (utorima u obliku lastina repa), a zatim tvrdo lemljeni. Zavoji su međusobno izolirani azbestnim papirom koji je natopljen umjetnosmolnim lakom. Nakon ulaganja izolacije cijeli je svitak podvrgnut postupku tlačenja i pečenja te predstavlja čvrstu cjelinu koja se više ne može deformirati pod utjecajem centrifugalne sile. Tako formirani svitak montiran je na izoliranu polnu jezgru i učvršćen. Iako se jaram rotora sastoji iz dva aksijalna dijela, pol je izrađen

iz jednog komada, a fiksiran je na rotorski jaram pomoću dvostrukih klinova.

Jaram rotora je montiran na varenu zvijezdu koja počiva na osovini. Na donjem dijelu jarma ugrađena je prstenasta ploča koja služi za kočenje. Sa svake strane rotora nalazi se po jedan aksijalni ventilator. Ventilatori su rađeni tako da je svaka lopatica učvršćena neovisno od druge. Lopatice su profilirane i izrađene od aluminijske legure. Kut nagiba lopatice se može udešavati i na taj način u izvjesnim granicama utjecati na količinu zraka.

Cijeli je rotor težak 320 tona i montira se pomoću dvije mosne dizalice.

Stator generatora je trodjelan. Kućište statora je zavareno od čeličnih limova i profila. Specijalno oblikovanje limova u tzv. kutiji daje kućištu veliku krutost uz relativno malu težinu. Osim toga, oblikom tih kutija se stvaraju kanali za zrak s malim otporom. U kućište je ugrađen statorski paket od dinamo limova 0,5 mm debljine sa svega 1,3 W gubitaka kod indukcije od 1 T. Cijeli je paket stegnut preko tlačnih ploča i tlačnih prsti s velikim brojem svornika. Učvršćenje paketa s kućištem postignuto je putem latica, koje jednim krajem obuhvaćaju svornik, a drugi im je kraj zavaren na kućište. Tlačni prsti su od nemagnetskog materijala da se u njima smanje gubici. Na vanjskoj strani plašta kućišta montirano je

8 hladionika. Hladionici su izrađeni od bakrenih cijevi na kojima se nalaze tanke lamele za povećanje rashladne površine. Svaki je hladionik spojen preko ventila s glavnim kružnim cjevovodom, tako da se može i za vrijeme pogona zatvoriti dovod vode radi čišćenja. Hladionici su dimenzionirani da generator može dati punu snagu i ako je jedan hladionik van pogona.

Dvoslovni valoviti namot sa dva štapa po utoru ugrađen je u utore statorskog paketa. Svaki je štap sastavljen od mnogo međusobno isprepletenih vodiča (sistem Roebel) da bi se dodatni gubici u utorskom dijelu štapa sveli na minimum. Izolacija utorskog dijela je ljuška od samicafolija dok su glave bandażirane mika-kompaundnom vrpcom i lakirane. U utorskom dijelu kao i na prelazu iz utorskog dijela u glavu izvedena je zaštita protiv tinjanja. Glave su međusobno čvrsto bandażirane i poduprte na kućište statora. Time je postignuta dovoljna mehanička čvrstoća te namot može bez štete izdržati sile koje nastupaju kod kratkog spoja. Statorski namot ima dvije paralelne grane s tri izvoda faza, a u zvjezdistu je izvedena na svaku granu (6 izvoda) zbog ugradnje zaštite od spoja među zavojima.

Cijeli je stator postavljen na 8 temeljnih blokova, koji su pomoću temeljnih vijaka ubetonirani u temelje.

Generator ima s gornje strane kombinirani noseći i vodeći ležaj (isporučen od proizvođača turbine), a s donje strane vodeći ležaj. Oba su ležaja samomaznog tipa, tj. za njihovo podmazivanje nije potrebna separatna pumpa, već rotirajući dijelovi stvaraju sami potreban pritisak za cirkulaciju ulja.

Gornji je ležaj ugrađen u gornjim rukama, koje su izvedene s 8 krakova, a nosi teret od 610 tona (težinu rotora generatora i turbine te hidraulični pritisak vode). Donji je ležaj ugrađen u donje ruke. Na donjim se rukama nalaze i hidrauličke kočnice koje služe za kočenje kod zaustavljanja agregata te za dizanje rotora kod montaže i remonta.

Glavni uzбудnik je ugrađen iznad generatora na istoj osovini. Snaga mu je 435 kW kod 300 V. Uzбудnik je dimenzioniran tako da u slučaju perturbacija u mreži može udarno uzbuditi generator te mu maksimalni napon iznosi 540 V, a kratkotrajna snaga 1410 kW. Za uzбудu glavnog uzbudnika ugrađen je iznad njega pomoćni uzбудnik od 7,2 kW i 160 V.

Generator se regulira tako da pomoćni uzбудnik, reguliran iz posebnog amplitudinskog agregata, regulira uzbudnu struju glavnog uzbudnika, a time i uzбудu generatora. Za regulaciju brzine vrtnje turbine na istoj se osovini nalazi regulatorski generator. Za pogon amplitudinskog agregata ugrađen je također na istoj osovini jedan sinhroni generator, koji napaja samo pogonski asinhroni motor spojen s amplitudinom. Za montažu generatora predviđen je u elektrani odgovarajući prostor, jer se cijeli rotor slaže tek u elektrani. Svaki je dio rotora u tvornici vagan. Kod montaže se nastojalo raspodijeliti pojedine dijelove tako, da nastanu što manje nesimetrije, a time i što manje radova na balansiranju. Rezultat takova rada je, da je generator pušten u pogon, a da balansiranje uopće nije bilo potrebno.

Zbog velike dužine štapova statorskog namota, odustalo se od ulaganja u tvornici. Cijeli je namot uložen u centrali, gdje je i ispitan na visoki napon. Radovi na montaži su tekli bez poteškoća.

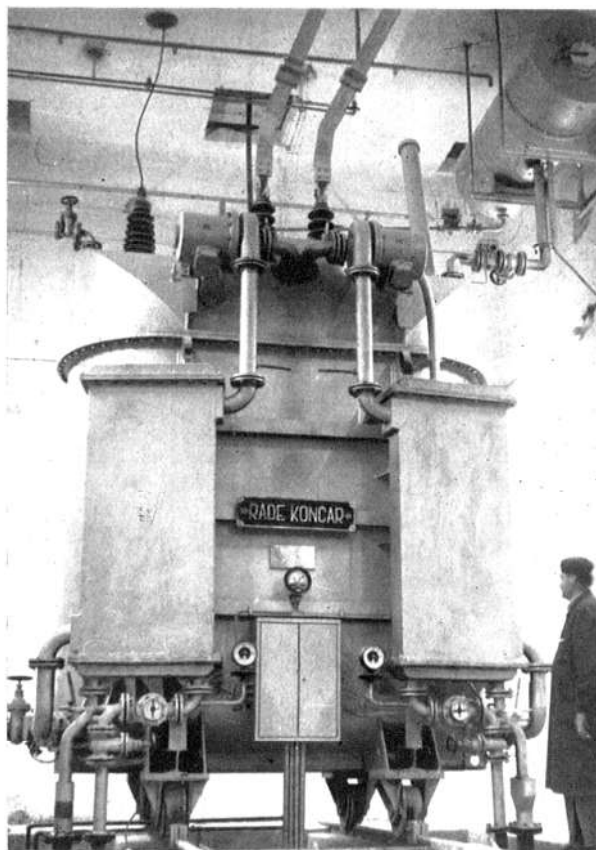
Osim ispitivanja pojedinih dijelova generatora u tvornici, sva ispitivanja izvršena su i na terenu prilikom

puštanja generatora u pogon i to u vrlo kratkom roku bez ikakvih poteškoća i zastoja. Ispitivanja zagrijanja generatora potpuno su potvrdila proračune, tako da ostaje izvjesna rezerva.

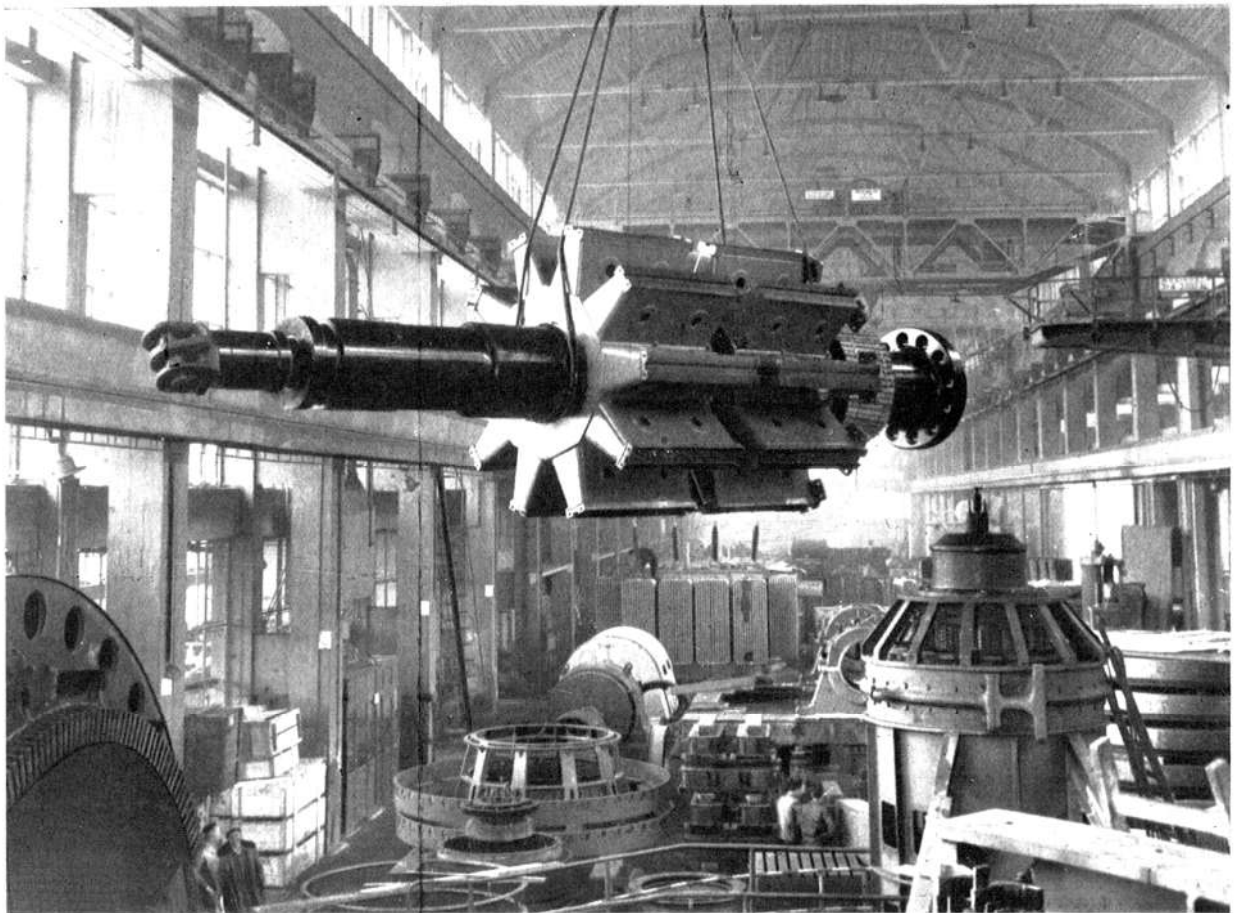
Jednofazni transformatori 40 MVA za napon 121 kV su prvi veliki transformatori izrađeni u tvornici »Rade Končar« sa hladno valjanim transformatorskim limom. Upotrebom hladno valjanog lima, uz smanjenje gubitaka, znatno se ušteduje i na težini transformatora.

Jezgra je izvedena od hladno valjanog lima specifičnih gubitaka $w_{10} = 0,6$ W/kg kod indukcije 1 T. Limovi su međusobno izolirani carliteom. Sve stezne ploče, stezni svornici, kao i okviri jarmova izolirani su prema jezgri. Toplina stvorena u aktivnom dijelu jezgre odvodi se uljem, koje tjerano naravnim uzgonom prolazi kroz kanale u stupovima i jarmovima.

Namoti koncentrične izvedbe izrađeni su od elektrolitskog bakra izoliranog papirom. S gledišta izolacije namota, koncentrični oblik namota je najpovoljniji. Osnovni dio namota ima sasvim pravilnu podjelu polja relativno male gustoće, a dobro iskorišćenje izolacionog kanala. Jedina mjesta koja čine poteškoće kod koncentrične izvedbe su rubovi namota, gdje su silnice polja jako koncentrirane. Zato su na čone strane pojedinih namota postavljeni izolirani metalni prsteni sa vrlo velikim radiusom zakrivljenja, koji su vezani električki za krajni zavoj, te imaju potencijal namota i pokrivaju njegove oštre rubove. I po-



Jednofazni učinski transformator 40.000 kVA, 121/V3/16 kV



Trofazni sinhroni generator 120.000 kVA, 16.000 V, 300 o/min — prenos osovine sa zvijezdom rotora

vrata lakše izjednačavaju vrhovi naprezanja putem plastične deformacije te lakšeg prilagođivanja ploha koje nasjedaju jedna na drugu. Cijeli je pol sastavljen od čeličnih limova debljine 2 mm, s garantiranim magnetskim i mehaničkim svojstvima, a s obe se strane pola nalazi po jedna tlačna ploča od kovanog čelika. Pol je stegnut svornicima koji su pod prešom zavarani s krajnjim pločama. U polnoj papuči je ugrađen prigušni kavez.

Polni namot je od plosnatog bakra. Zbog problema odvoda topline iz polnog namota, odabrana su dva profila različite širine, a zavoji su složeni tako, da je profil svakog trećeg zavoja 15 mm širi od ostalih zavoja. Rashladna površina je time znatno povećana, pa je i hlađenje mnogo bolje. Takovom rebrastom izvedbom štedi se na bakru. Zbog velike širine bakrenih profila napušteno je savijanje bakra u formi svitka, već je svaki zavoj izveden u obliku paralelograma iz četiri komada koji su na uglovima mehanički spojeni (utorima u obliku lastina repa), a zatim tvrdo lemljeni. Zavoji su međusobno izolirani azbestnim papirom koji je natopljen umjetnosmolnim lakom. Nakon ulaganja izolacije cijeli je svitak podvrgnut postupku tlačenja i pečenja te predstavlja čvrstu cjelinu koja se više ne može deformirati pod utjecajem centrifugalne sile. Tako formirani svitak montiran je na izoliranu polnu jezgru i učvršćen. Iako se jaram rotora sastoji iz dva aksijalna dijela, pol je izrađen

iz jednog komada, a fiksiran je na rotorski jaram pomoću dvostrukih klinova.

Jaram rotora je montiran na varenu zvijezdu koja počiva na osovini. Na donjem dijelu jarma ugrađena je prstenasta ploča koja služi za kočenje. Sa svake strane rotora nalazi se po jedan aksijalni ventilator. Ventilatori su rađeni tako da je svaka lopatica učvršćena neovisno od druge. Lopatice su profilirane i izrađene od aluminijske legure. Kut nagiba lopatice se može udešavati i na taj način u izvjesnim granicama utjecati na količinu zraka.

Cijeli je rotor težak 320 tona i montira se pomoću dvije mosne dizalice.

Stator generatora je trodjelan. Kućište statora je zavarano od čeličnih limova i profila. Specijalno oblikovanje limova u tzv. kutiji daje kućištu veliku krutost uz relativno malu težinu. Osim toga, oblikom tih kutija se stvaraju kanali za zrak s malim otporom. U kućište je ugrađen statorski paket od dinamo limova 0,5 mm debljine sa svega 1,3 W gubitaka kod indukcije od 1 T. Cijeli je paket stegnut preko tlačnih ploča i tlačnih prsti s velikim brojem svornika. Učvršćenje paketa s kućištem postignuto je putem latica, koje jednim krajem obuhvaćaju svornik, a drugi im je kraj zavarano na kućište. Tlačni prsti su od nemagnetskog materijala da se u njima smanje gubici. Na vanjskoj strani plašta kućišta montirano je

8 hladionika. Hladionici su izrađeni od bakrenih cijevi na kojima se nalaze tanke lamele za povećanje rashladne površine. Svaki je hladionik spojen preko ventila s glavnim kružnim cjevovodom, tako da se može i za vrijeme pogona zatvoriti dovod vode radi čišćenja. Hladionici su dimenzionirani da generator može dati punu snagu i ako je jedan hladionik van pogona.

Dvoslojni valoviti namot sa dva štapa po utoru ugrađen je u utore statorskog paketa. Svaki je štap sastavljen od mnogo međusobno isprepletenih vodiča (sistem Roebel) da bi se dodatni gubici u utorskom dijelu štapa sveli na minimum. Izolacija utorskog dijela je ljuška od samicafolija dok su glave bandažirane mika-kompaundnom vrpcom i lakirane. U utorskom dijelu kao i na prelazu iz utorskog dijela u glavu izvedena je zaštita protiv tinjanja. Glave su međusobno čvrsto bandažirane i poduprte na kućište statora. Time je postignuta dovoljna mehanička čvrstoća te namot može bez štete izdržati sile koje nastupaju kod kratkog spoja. Statorski namot ima dvije paralelne grane s tri izvoda faza, a u zvjezdištu je izvedena na svaku granu (6 izvoda) zbog ugradnje zaštite od spoja među zavojima.

Cijeli je stator postavljen na 8 temeljnih blokova, koji su pomoću temeljnih vijaka ubetonirani u temelje.

Generator ima s gornje strane kombinirani noseći i vodeći ležaj (isporučen od proizvođača turbine), a s donje strane vodeći ležaj. Oba su ležaja samomaznog tipa, tj. za njihovo podmazivanje nije potrebna separatna pumpa, već rotirajući dijelovi stvaraju sami potreban pritisak za cirkulaciju ulja.

Gornji je ležaj ugrađen u gornjim rukama, koje su izvedene s 8 krakova, a nosi teret od 610 tona (težinu rotora generatora i turbine te hidraulični pritisak vode). Donji je ležaj ugrađen u donje ruke. Na donjim se rukama nalaze i hidrauličke kočnice koje služe za kočenje kod zaustavljanja agregata te za dizanje rotora kod montaže i remonta.

Glavni uzбудnik je ugrađen iznad generatora na istoj osovini. Snaga mu je 435 kW kod 300 V. Uzбудnik je dimenzioniran tako da u slučaju perturbacija u mreži može udarno uzbuditi generator te mu maksimalni napon iznosi 540 V, a kratkotrajna snaga 1410 kW. Za uzбудu glavnog uzbudnika ugrađen je iznad njega pomoćni uzbudnik od 7,2 kW i 160 V.

Generator se regulira tako da pomoćni uzbudnik, reguliran iz posebnog amplidinskog agregata, regulira uzbudnu struju glavnog uzbudnika, a time i uzбудu generatora. Za regulaciju brzine vrtnje turbine na istoj se osovini nalazi regulatorski generator. Za pogon amplidinskog agregata ugrađen je također na istoj osovini jedan sinhroni generator, koji napaja samo pogonski asinhroni motor spojen s amplidinom.

Za montažu generatora predviđen je u elektrani odgovarajući prostor, jer se cijeli rotor slaže tek u elektrani. Svaki je dio rotora u tvornici vagan. Kod montaže se nastojalo raspodijeliti pojedine dijelove tako, da nastanu što manje nesimetrije, a time i što manje radova na balansiranju. Rezultat takova rada je, da je generator pušten u pogon, a da balansiranje uopće nije bilo potrebno.

Zbog velike dužine štapova statorskog namota, odustalo se od ulaganja u tvornici. Cijeli je namot uložen u centrali, gdje je i ispitivan na visoki napon. Radovi na montaži su tekli bez poteškoća.

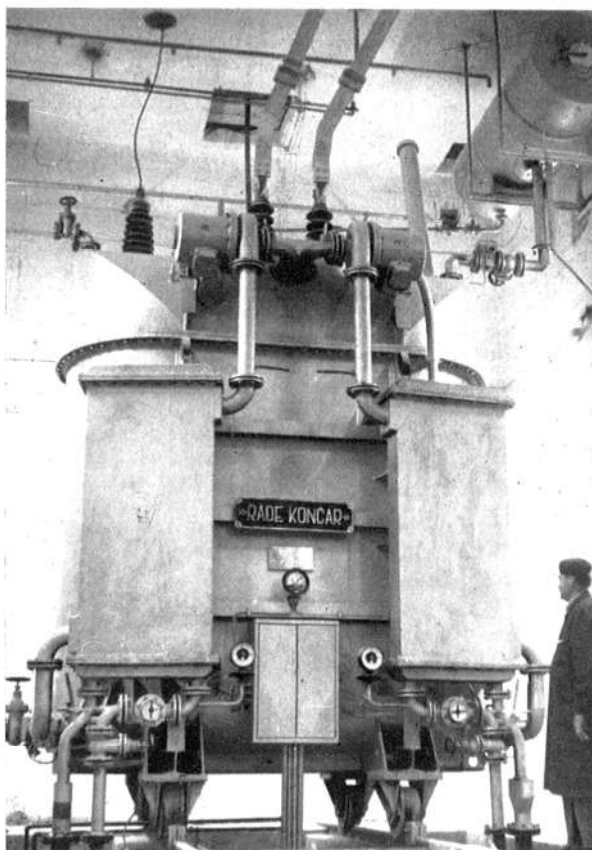
Osim ispitivanja pojedinih dijelova generatora u tvornici, sva ispitivanja izvršena su i na terenu prilikom

puštanja generatora u pogon i to u vrlo kratkom roku bez ikakvih poteškoća i zastoja. Ispitivanja zagrijanja generatora potpuno su potvrdila proračune, tako da ostaje izvjesna rezerva.

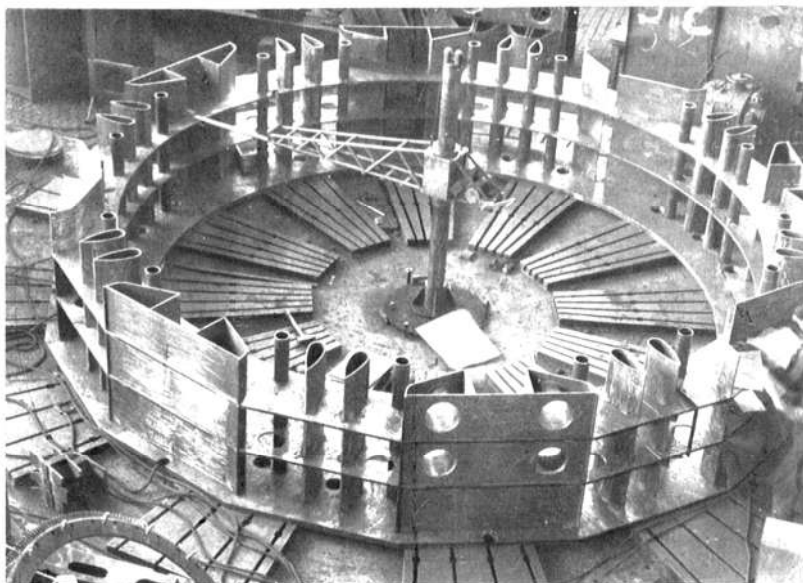
Jednofazni transformatori 40 MVA za napon 121 kV su prvi veliki transformatori izrađeni u tvornici »Rade Končar« sa hladno valjanim transformatorskim limom. Upotrebom hladno valjanog lima, uz smanjenje gubitaka, znatno se ušteduje i na težini transformatora.

Jezgra je izvedena od hladno valjanog lima specifičnih gubitaka $v_{10} = 0,6$ W/kg kod indukcije 1 T. Limovi su međusobno izolirani carliteom. Sve stezne ploče, stezni svornici, kao i okviri jarmova izolirani su prema jezgri. Toplina stvorena u aktivnom dijelu jezgre odvodi se uljem, koje tjerano naravnim uzgonom prolazi kroz kanale u stupovima i jarmovima.

Namoti koncentrične izvedbe izrađeni su od elektrolitskog bakra izoliranog papirom. S gledišta izolacije namota, koncentrični oblik namota je najpovoljniji. Osnovni dio namota ima sasvim pravilnu podjelu polja relativno male gustoće, a dobro iskorišćenje izolacionog kanala. Jedina mjesta koja čine poteškoće kod koncentrične izvedbe su rubovi namota, gdje su silnice polja jako koncentrirane. Zato su na čeonu stranu pojedinih namota postavljeni izolirani metalni prsteni sa vrlo velikim radiusom zakrivljenja, koji su vezani električki za krajni zavoj, te imaju potencijal namota i pokrivaju njegove oštre rubove. I po-



Jednofazni učinski transformator 40.000 kVA, 121/V3/16 kV



Montaža i varenje statorskog kucišta u tvornici

red toga što ulazni svici imaju pojačanu izolaciju, namoti su otporni na prenapone nastale zbog atmosferskih smetnji, što je utvrđeno na temelju mnogobrojnih ispitivanja udarnim naponima.

Namoti su tako mehanički ukrućeni, da je potpuno osigurana mehanička otpornost prema silama kratkog spoja.

Priključci sa namota na provodnike načinjeni su od okruglog i plosnatog bakra i bakrenog užeta. Gornje naponski ulaz spojen je na utikač kabelaške glave, a izlaz je spojen na 60 kV kondenzatorski provodnik. Ulje u kućištu kabelaške glave, kao i kondenzatorskog provodnika nije u vezi s uljem u kotlu. Kućište kabelaške glave ima poseban Buchholz-relej. Provodnici donjeg napona također su smješteni na poklopcu i punjeni uljem, koje je u vezi s uljem u kotlu.

Kotao transformatora izrađen je od čeličnog lima i ukrućen armaturom, tako da udovoljava svim zahtjevima u pogonu, za vrijeme transporta, kao i kod montažnih operacija, među koje spada i sušenje transformatora pod vakuumom u vlastitom kotlu.

Konzervator je postavljen na konzole u zidu. Podijeljen je na dva dijela od kojih jedan pripada transformatoru, a drugi kućištu kabelaške glave. Svaki ovaj dio ima zaseban magnetski uljokaz koji pokazuje razinu ulja u njemu. Oba dijela konzervatora spojena su s transformatorom pomoću cjevovoda sa zasunima i Buchholz-relejima.

Za hlađenje transformatora služe dva rashladna uređaja od kojih je u pogonu samo jedan, dok drugi služi kao rezerva. Hlađenje ulja, koje dolazi u hladionik tjerano uljnom sisaljkom sa gornjeg priključka na poklopcu, postiže se oduzimanjem topline ulja koje struji oko cijevi, vodom koja struji kroz cijev. Rashladeno ulje ulazi u kotao kroz donji priključak hladionika. Protok ulja i vode kontrolira se pokazivačima protoka, koji u slučaju prekida dovoda rashladne vode i cirkulacije ulja, daju preko živinog kontakta impuls za uzbunu.

Transformator je opremljen sa svim potrebnim što garantira siguran rad u pogonu.

Pneumatski prekidači 110 i 220 kV. U razvodnom postrojenju ugrađeni su pneumatski prekidači s ras-

klopnom snagom od 2500 MVA na 110 kV i 5000 MVA na 220 kV.

Prekidač od 110 kV ima 2 lučne komore u seriji, a simetričnu raspodjelu napona osiguravaju dva paralelna vodena otpora velike omske vrijednosti (2×200.000 ohma).

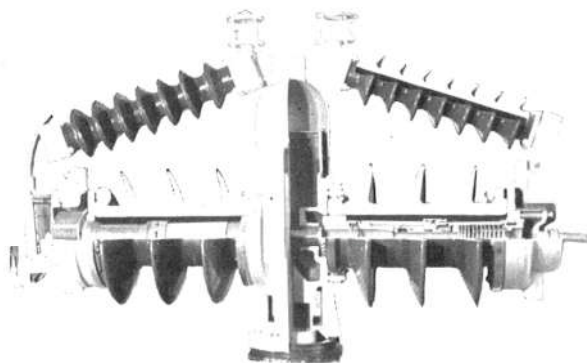
Luk se gasi pomoću komprimiranog zraka, a komore su tako konstruirane, da gašenje uslijedi najkasnije dvije periode iza odvajanja kontakta.

Radi kratkog trajanja luka trošenje kontakta je neznatno, a porcelanski izolatori su zaštićeni ekranima od steatita, koji se mogu lako mijenjati.

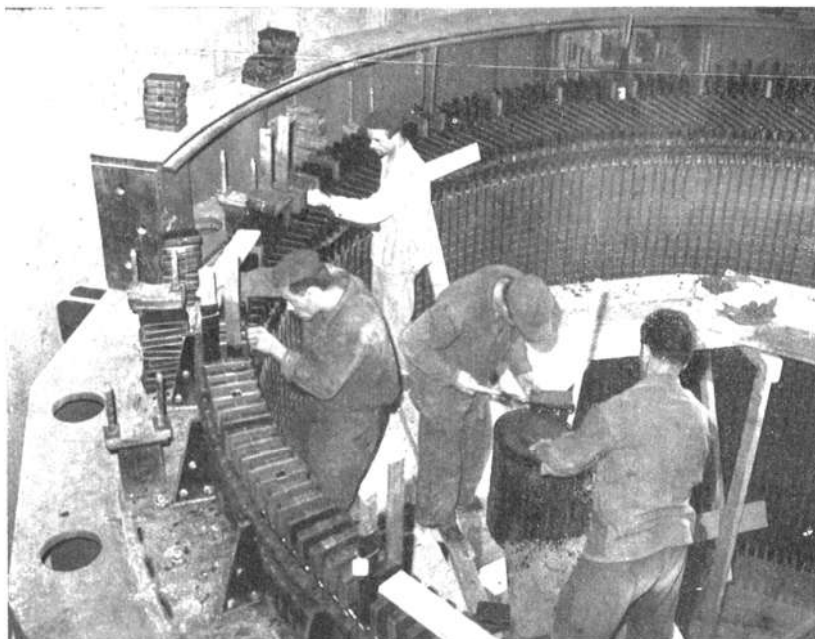
Komora je naročito sposobna za prekidanje struja vrlo visokih napona, čak i kod dvostrukih, što dolazi u obzir kod opozicija faza.

Zrak, koji izlazi iz komora nailazi na metalne mreže (dejonizatore), koje ga dejoniziraju a ujedno sprečavaju upad insekata i ptica u komore.

Kontakti u komorama samo prekidaju luk, dok potrebni izolacioni razmak stvaraju noževi rastavljača. Ovi se noževi otvaraju kratko vrijeme iza gašenja luka i kada su dovoljno otvoreni, zrak prestaje djelovati i kontakti u komorama se zatvaraju.



Pneumatski učinski prekidač reda 110, tipa 2 Pv 100 g 600 — presjek lučne komore



Spajanje statorskog namota

Uklapa se samo noževima rastavljača, dok komore uopće ne stupaju u djelovanje.

Vodeni otpori, pored ravnomjerne podjele napona, poboljšavaju uvjete gašenja i što je naročito važno, kod prekidanja neopterećenih dalekovoda i transformatora, sprečavaju pojavu visokih prenapona iznad dozvoljenih granica. U kućištu, koje se nalazi ispod komore smješteni su organi za upravljanje komprimiranim zrakom, koji se koristi za gašenje luka (glavni ventil, elektroventil itd.).

U kućištu ispod rastavljača nalaze se svi pomoćni organi, koji služe za pokretanje noževa rastavljača. Tu su dvoradni pogonski cilindar s priborom i električni pomoćni organi kao i kableske uvodnice, signalne sklopke, elektroventil, krajnja sklopka i drugo. Pored ovoga, u svakom se polu nalazi brojač ciklusa, koji evidentira broj uklapanja i isklapanja. Postolje prekidača sačinjavaju dvije cijevi međusobno spojene, koje služe ujedno i kao rezervoar komprimiranog zraka potrebnog za dva uklapanja i dva iskla-

panja. Na ulazu u rezervoar smješten je povratni ventil, koji sprečava povrat zraka u instalaciju, ukoliko bi tlak u instalaciji pao.

Svi strujno vodljivi dijelovi građeni su od bakra i bakarnih legura s izuzetkom noževa rastavljača, koji su od duraluminijevih cijevi, da bi se smanjila masa pokretnih dijelova. Međutim, na prelazima bakar-aluminij stavljen su bimetalne pločice Cup-al, kako bi se spriječila korozija metala.

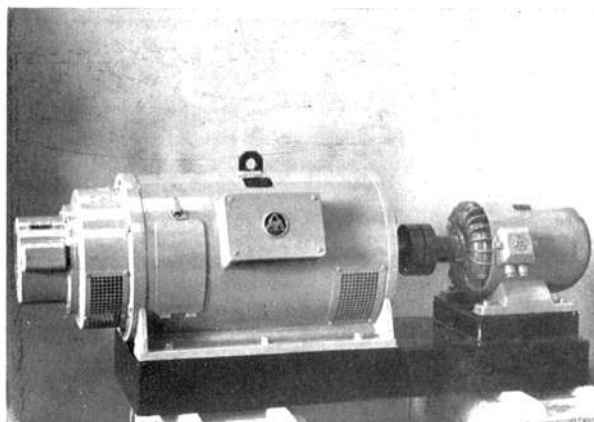
Prekidači za 220 kV po svojoj koncepciji su indentski prekidači od 110 kV, a sastoje se od dvije komore i dva rastavljača u seriji. Izolacija prema masi je pojačana s još jednim potpornim izolatorom tako, da je aparat sastavljen od istih elemenata kao prekidač od 110 kV. I ovdje su ugrađeni vodeni otpori, koji raspodjeljuju napon na četiri prekidna mjesta. Komorama se upravlja sa dva odvojena glavna ventila, ali je izvedeno takovo električno i pneumatsko blokiranje da, ako jedan ventil ne proradi, ne može ni drugi. Isto tako je izvedeno osiguranje, da, ako ne prorade komore, ne može se otvarati ni rastavljač. Rastavljač se pokreće zajedničkim pogonskim dovodnim cilindrom i izolacionim vretenom stavljenim u potporne izolatore.

Svi prekidači su predviđeni za automatsko ponovno uklapanje bilo jednopolno bilo tropolno.

Minimalna beznaponska pauza iznosi do 0,4 s. Relejni uređaji za ponovno uklapanje smješteni su u komandnoj prostoriji a proizvod su firme BBC.

Uređaji za upravljanje prekidačima nalaze se u komandnom ormariću neposredno pored samih prekidača. Normalno se upravlja istosmjernim naponom 220 V, ali postoji i mogućnost upravljanja komprimiranim zrakom 5 at. Ovo upravljanje se primijenjuje samo iz nužde, jer su sva blokiranja izvedena električno.

Svi su aparati podvrgnuti detaljnom mehaničkom i izolacionom ispitivanju prije izlaska iz tvornice. Ispitivanja rasklopne snage izvršene su na prototipovima u francuskoj ispitnoj stanici Fontenay kraj Pariza 1957. i 1959, o čemu su izdani atesti.



Amplitudinski agregat 7 kW, 250 V, 23 A

Izolacija prekidača 110 kV je puna tako da se može upotrebiti za mreže sa krutom i izoliranom nultočkom, dok su prekidači 220 kV izvedeni sa smanjenom izolacijom, tj. samo za mreže sa kruto uzemljenom nultočkom.

Za **automatsku regulaciju napona** sa uspjehom je primijenjen brzi regulator napona ABMn II, usavršen u tvornici »Rade Končar«. To je zapravo nova, poboljšana izvedba starog regulatora ABMn I, prilagođena velikim uzbuđnim snagama i većem broju uzbuđnih strojeva ovog generatora.

Glavni uzbuđnik sinhronog generatora uzbuđuje se sa strane iz pomoćnog uzbuđnika, prigrađenog zajedno sa glavnim uzbuđnikom na osovini generatora. Pomoćni uzbuđnik uzbuđuje se sa strane iz amplitudina, koji se preko dva upravljačka namotaja uzbuđuje iz protutaktnog (push-pull) magnetskog pojačala. Magnetskim pojačalom se upravlja uspoređivanjem struja u dva odvojena upravljačka namota, kod jednog protječe konstantno struja iz referentnog generatora, a kod drugog struja mjernog kruga napona generatora. Toj se mjernoj struji prije ulaza u pojačalo još vektorski pribraja struja kompaudacije i kompenzacije preko strujnih transformatora, čime je osigurana pravilna raspodjela jalove energije kod paralelnog rada generatora na mreži.

Magnetsko pojačalo u ovom regulatoru je protutaktno, jednostepeno, u trofaznom mosnom spoju, napajano visokofrekventnim naponom frekvencije 500 Hz, kako bi se postigla mala vremenska konstanta pojačala uz visoko pojačanje. Iz istih razloga upotrebljene su u pojačalu visokovrijedne magnetske jezgre Permenorm 5000Z i posebno odabrani selenski ispravljači. Postignuto pojačanje snage 24000 (za promjenu izlazne snage od 30 W potrebna je promjena ulazne

snage od 1,25 mW) kod vremenske konstante 8 ms svjedoči o dinamičnoj kvaliteti magnetskog pojačala. Amplitudin je dvostepeno istosmjerno rotaciono pojačalo, koje uz nominalni izlaz od 7 kW treba samo 1,5 W uzbuđne snage, t. j. pojačanje snage 4600, uz vremensku konstantu 0,04 s u prvom stupnju i 0,07 s u drugom stupnju.

Spoj za dobivanje konstantne referentne struje iz posebnog trofaznog generatora s permanentnim magnetima i visokim induktivnim unutarnjim otporom i opterećenog malim otporom (patentiran u Jugoslaviji) osigurava izdašnu referentnu struju, neovisnu o promjenama brzine vrtnje pomoćnog agregata.

Poseban visokofrekventni generator, koji je zajedno sa referentnim generatorom prigrađen na osovini amplitudina daje napon 500 Hz za napajanje pojačala.

Pogonski motor ovog amplitudinskog agregata napaja se iz posebnog sinhronog generatora s permanentnim magnetima, montiranog na glavnoj osovini. Time je osiguran potpuno autonoman pogon, neovisan o vanjskim smetnjama, kao npr. nestajanje napona kućne proizvodnje, kratkog spoja generatora i sl.

Kod tako velikih generatora kao što je hidrogenator od 120 MVA problem stabilizacije, a time u vezi i problem cjelokupnog projekta automatske regulacije napona, mnogo teži je nego kod regulacije napona manjih generatora, za koje je u tvornici »Rade Končar« izgrađen već priličan broj automatskih regulatora napona. Već sama činjenica, da je u uzbuđnom krugu ovog generatora zbog velikih uzbuđnih struja bio uz glavni uzbuđnik potreban još i pomoćni uzbuđnik, čime je porastao broj elemenata sa vremenskim kašnjenjem u regulacionom krugu, zahtijevala je pomno studiranje stabilitetnih problema. Sa druge strane, povećani su i zahtjevi na veću točnost i veću brzinu regulacije, jer se sve nastale smetnje tako velikih jedinica mnogo jače primijete u električnoj mreži. Radi toga izvršena je prethodna analiza regulacionog kruga na analognoj elektronskoj računskoj mašini.

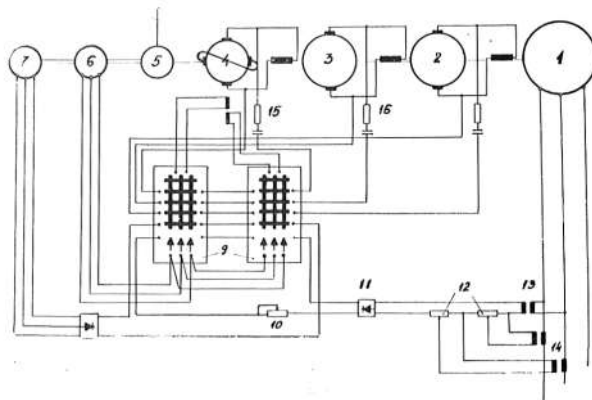
Na osnovu ovih analiza dimenzionirani su elementi u uzbuđnom krugu i odabrani parametri stabilizacionih elemenata. Da bi se omogućila što veća brzina regulacije, t. j. da bi se forsirale velike vremenske konstante generatora i glavnog uzbuđnika, projektirani su pomoćni uzbuđnik i amplitudin sa velikom rezervom uzbuđne snage.

Osobito amplitudin je obilno dimenzioniran (njegovi računski podaci su 7/14 kW, 250/350 V i 28/40 A, dok je za uzbuđbu pomoćnog uzbuđnika potrebno samo 0,4/5 kW, 40/140 V i 10/40 A). Za stabilizaciju procesa regulacije ugrađene su tri elastične povratne veze napona glavnog uzbuđnika, napona pomoćnog uzbuđnika i napona amplitudina, pomoću kojih promjena svakog od navedenih napona djeluje preko RC — elemenata na posebne upravljačke namote magnetskog pojačala.

Ručna regulacija napona regulatora neovisna je o amplitudinskom agregatu, te je time omogućen rad generatora i u slučaju eventualnog kvara na amplitudinu ili samom regulatoru. U ručnoj se regulaciji prekopča uzbuđbu pomoćnog uzbuđnika sa strane u porednu uzbuđbu sa ručnim regulatorom u seriji s uzbuđnim namotom. Radi stabilnog rada i u linearnom području karakteristike strojeva dodan je u uzbuđni krug pomoćnog uzbuđnika za vrijeme ručne regulacije poseban strani napon (tzv. umjetna remanencija).

Ispitivanja prilikom puštanja agregata u pogon pokazala su, da automatski regulator besprijekorno radi i da se čak kod udarnog rasterećenja punog tereta proces stabilizira u veoma kratkom vremenu.

Principijelna shema automatske regulacije napona generatora



1 — Sinhroni generator; 2 — Glavni uzbuđnik; 3 — Pomoćni uzbuđnik; 4 — Amplitudin; 5 — Pogonski asinhroni motor amplitudinskog agregata; 6 — Generator 500 Hz za napajanje magnetskih pojačala; 7 — Generator referentne struje; 8 — Ispravljač referentne struje; 9 — Trofazno magnetsko pojačalo u protutaktnom spoju; 10 — Podešavač napona u mjernom krugu napona; 11 — Ispravljač u mjernom krugu napona; 12 — Otpornici za kompenzaciju i kompaudaciju jalove energije; 13 — Naponski mjerni transformator; 14 — Strujni mjerni transformatori za kompenzaciju i kompaudaciju;

Kretanje troškova izgradnje

Promjene predviđenih troškova izgradnje bile su ovisne o:

- izmjenama koncepcije projekta na bazi glavnih i detaljnih projekata
- kretanju cijena materijala, plata, te promjeni instrumenata
- količini nepredviđenih dopunskih radova te zastoju uslijed više sile
- organizaciji i tempu izgradnje

Investicioni program, izrađen na bazi osnovne koncepcije projekta i u pogledu troškova obračunat na bazi tržišnih cijena i instrumenata koji su bili na snazi u 1954, bio je odobren od strane revizione komisije SIV-a februara 1957. godine.

Kod sklapanja ugovora sa Jugoslavenskom investicionom bankom došlo je do izmjene specifikacije investicionog programa, jer je investitor na temelju konzultacije sa predstavnicima uvozne i domaće opreme predvidio veću nabavu opreme kod domaćih isporučioća u odnosu na ranije predviđeno u odobrenom investicionom programu. Tom izmjenom je smanjena inozemna nabava i montaža opreme za 1.663,1 milijuna dinara i za 1.903,5 milijuna povećana nabava i montaža domaće opreme. Jugoslavenska investiciona banka je uzela obavezu da će odobriti razlike povećanih troškova koje stvarno nastanu ovom većom nabavom i montažom domaće opreme.

Usporedba zajma sklopljenog sa Jugoslavenskom investicionom bankom sa realnim troškovima izgradnje prema zadnjem sagledavanju daje slijedeća prekoračenja kod osnovnih investicionih elemenata:

Investicioni elementi	specifikacija zajma	zadnje sagledavanje	razlika	%
a) Građevinski radovi	10.039,0	12.300,9	+ 2.261,9	120,8
b) domaća oprema sa montažom	4.247,5	5.610,9	+ 1.363,4	132,0
c) uvozna oprema sa montažom	2.060,3	1.974,5	— 85,8	96,0
d) ostalo	1.051,9	1.588,1	+ 536,2	151,0
UKUPNO:	17.398,7	21.474,4	+ 3.825,7	123,5

Analiza prekoračenja pojedinog investicionog elementa pokazuje razloge radi kojih je došlo do pomenutog prekoračenja.

Elementi prekoračenja	visina prekoračenja	% u odnosu na ukupne investicije
A. Kod građevinskih radova		
Dodatni radovi više izvedeni kao rezultat promjena u glavnom projektu i promjena nastalih uslijed ovisnosti od terena i tehnološkog procesa rada, kao i dodatni troškovi uslijed utjecaja više sile poplave itd.	143,4	0,82
Povećani troškovi radi utjecaja klizanja cijena materijala, plata te promjena privrednih instrumenata	2.118,5	12,18
Ukupno:	2.261,9	13,00
B. Kod domaće opreme i montaže		
Povećani opseg dobave i ostali dodatni radovi	929,0	5,35
Povećani troškovi radi utjecaja klizanja cijena materijala i plata obračunato po kliznim skalama	434,4	2,50
Ukupno:	1.363,4	7,85
C. Kod uvozne opreme i montaže		
Smanjeni opseg dobave	— 688,6	— 3,95
Povećani troškovi radi promjene kursne razlike, povećane carine, radi utjecaja klizanja cijena materijala i plata obračunato po kliznim skalama, te radi troškova u vezi kreditiranja nabave opreme	602,8	3,46
Ukupno:	— 85,8	— 0,49
D. Ostalo		
Povećani radovi, a naročito u vezi oštete žive vode	339,3	1,95
Povećani troškovi radi promjene instrumenata, povećanja plata projekatana i osoblja investitora	196,9	1,13
Ukupno:	536,2	3,08

Osim ovog, zajam je prekoračen još za iznos od 340,0 milijuna dinara, koja su sredstva upotrebljena za premiranje ubrzanja radova.

Prema tome **sveukupno prekoračenje iznosi 4.435,7 milijuna dinara.**

Sumirajući pomenuta prekoračenja na tri osnovne grupe proizlazi da je svako pojedino prekoračenje u odnosu na visinu zajma kako slijedi:

— sa naslova nepredviđenih radova	723,1	4,15%
— sa naslova poskupljenja radova	3.352,6	19,25%
— sa naslova premiranja radi ubrzanja radova	340,0	1,96%

Nepredviđeni radovi

Podaci pokazuju da su nepredviđeni radovi imali manji utjecaj na povećanje troškova, iako je došlo do izmjene uvjeta gradnje u odnosu na postavke investicionog programa. Izmjene su nastale s jedne strane radi izmjena koncepcija izgradnje (npr. jedan zajednički odvodni tunel umjesto ranija dva tunela od kojih je u prvoj fazi trebalo izraditi samo jedan) zatim radi terenskih uvjeta (promjena kategorija iskopa radi promjene geološke strukture), te na koncu radi viškova rada koji su nastali u želji za ubrzanjem radova (izrada povećanih profila iskopa, koje je tražila mehanizacija sa mogućnošću bržeg napredovanja. Taj veći iskop je naknadno tražio skuplju popunu betonom).

Troškovi nepredviđenih radova bi bili uslijed pomenutih izmjena vrlo veliki da nisu znatnim dijelom kompenzirani kod građevinskih radova ubrzanom mehaniziranom gradnjom koja je povlačila sa sobom smanjenje režijskih troškova i veći efekat rada odnosno smanjenje cijene po jedinici količine.

Utjecaj na povećanje nepredviđenih radova je uvjetovala i nabava teže opreme koja je rezultat s jedne strane izmjene projekta, a s druge strane želje za većim koeficijentom sigurnosti izrade, jer je većina domaće opreme bila prototipna na ovom objektu. Međutim i to je bilo kompenzirano povoljnim ugovorenim cijenama donekle iz razloga što je domaća industrija htjela kod gradnje ovakvog objekta plasirati svoje proizvode i time postići dobre reference. U investicionom programu je bilo predviđeno da će odnosi između nabave i montaže opreme kod domaćih i inostranih isporučioaca biti sasvim drugačiji od onoga što je stvarno nabavljeno i montirano:

	Dobavljači montirane opreme		
	Domaći	Uvozni	Ukupno
Investicioni program	3.273,0	3.034,8	6.307,8
Stvarno nabavljeno	5.176,5	1.371,7	6.548,2
Razlika	+ 1.903,3	— 1.663,1	+ 240,4

Unatoč naporima domaće industrije, da se sa cijenama približi inostranim cijenama na bazi kursa Din/\$ puta koeficijent 1,2, to nije bilo moguće postići u cijelosti.

I kod »ostalog« je došlo do manjeg povećanja obima rada i to u povećanju projektnih usluga, u koncepciji investitorske službe koja je upotrebila jači kadar od onoga koji je bio predviđen investicionim programom, te u većim oštetnim troškovima općina radi smanjene žive vode u rijeci Cetini poslije zahvata brane Prančević.

Poskupljenje cijena materijala, plata i djelovanje instrumenata

Cijene materijala, plate, kao i instrumenti na snazi, bili su predviđeni u investicionom programu na bazi onih koji su važili u 1956. godini. Izgradnja je započela 1. IX 1957. i utrošak je bio po godinama slijedeći:

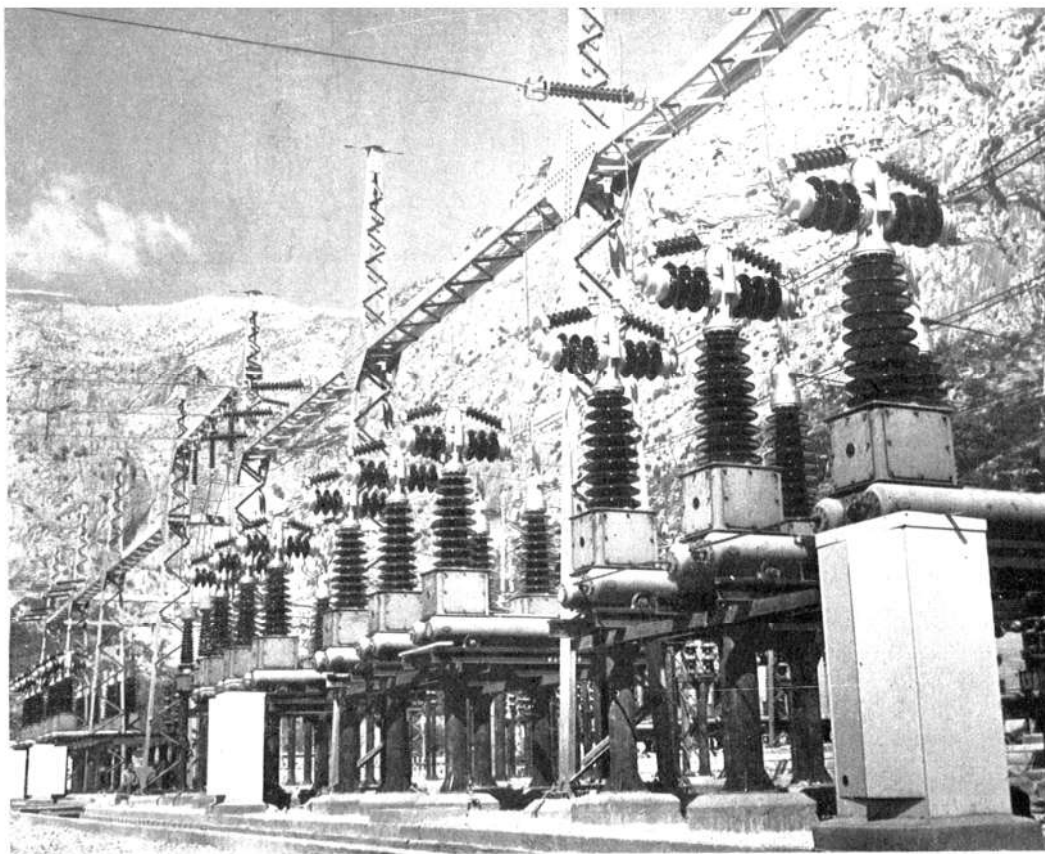
Godina	Ukupno	Građ. radovi	Oprema	Ostalo
1957.	212,6	177,0	12,3	12,8
1958.	1.631,8	1.025,9	441,0	164,9
1959.	3.270,0	2.373,7	693,7	202,6
1960.	6.386,4	3.614,4	2.373,4	398,5
1961.	8.319,7	4.744,5	3.242,1	333,1
1962.	1.654,4	355,3	832,9	476,2
Ukupno:	21.474,4	12.300,9	7.585,4	1.588,1

Veoma je teško dati ocjenu o realnosti poskupljenja odnosno prekoračenja zajma bazirajući se na našoj privrednoj stvarnosti. Pokušat ćemo u tom smislu dati nekoliko podataka:

Prema Jugoslavenskoj investicionoj banci, koja je do sada analitički ispitala kretanje tržišta i registrirala i objavila podatke o poskupljenju građenja samo do konca 1959, ti elementi u postocima iznose:

Godina	Građ. radovi	Oprema	Ostalo
1956.	1,00	1,00	1,00
1957.	0,94	1,04	0,87
1958.	0,85	0,98	0,87
1959.	0,81	0,96	0,75

Primjenom ovih postotaka na stvarno izvedene radove u tom periodu već bi nastalo poskupljenje od 16,5%. Međutim glavni dio radova izveden je u toku 1960. i 1961. godine, kada je poskupljenje naglo poraslo, jer su u to doba skokovi cijena materijala i povećanje nadnica bili daleko osjetljiviji nego u ranijem periodu, a i novi instrumenti su promijenili situaciju u pravcu poskupljenja radova. Kao primjer navodamo da je na temelju vođenih pregovora između investitora Bajine Bašte, Senja, Trebišnjice i HE Split, te građevinskih izvođača, bilo utvrđeno da samo djelovanje instrumenata povisuje cijene građevinskih radova u 1961. u odnosu na 1960. za najmanje 12%.



Pneumatski učinski prekidač reda 110, tipa 2 Pv 100 g 600 — dio postrojenja sa pneumatskim prekidačima

U toku 1960. i 1961. došlo je do izmjene kursa dolara i izmjene carinskog sistema. Ove izmjene instrumenta donose povećanje troškova za HE Split kod uvozne opreme za oko 500 milijuna dinara.

Premiranje radova radi ubrzanja roka izgradnje

Stalna tendencija da se rok izgradnje ovog objekta skрати, dovela je do niza akcija sa strane izvođača i investitora kojim se i postiglo skraćanje.

Glavne akcije u tom smislu su bile: pojačanje mehanizacije građevinskih poduzeća, otvaranje dodatnih saobraćajnica radi ubrzanja internog transporta, kontrola i osiguranje pravovremene izrade opreme te premiranje izvođača građevinskih radova i montera.

Premiralo se ustvari na tri načina:

- premiranje poduzeća iz posebno namjenski odobrenih sredstava zajma u visini od 340 milijuna dinara
- premiranje grupa radnika putem ugovora za dopunski rad iz posebnih namjenskih sredstava investitora
- premiranje poduzeća povezivanjem zatraženih i odobrenih povišenja cijena sa rokovima izgradnje i postignutim rezultatima u vezi tih rokova.

Ukupno prekoračenje od 23,5% na ugovoreni zajam sa bankom je sigurno ispod kretanja realnog porasta cijena materijala i plata te davanja kroz instrumente u našoj privredi. Ako se kod toga još uzme u obzir da se unutar toga prekoračenja nalaze nepredviđeni radovi nastali izmjenom projekata i novim terenskim uvjetima, ubrzanjem izgradnje i višom silom, onda je sigurno da je kod gradnje ovog objekta ustvari došlo do uštede. Ranije dovršenje objekta je također omogućilo znatnu proizvodnju energije prije ugovorenog roka i time su stvorena vanredna sredstva u visini od cca 1.400 milijuna dinara.

Radi usporedbe navadamo da je prema informativnim podacima banke traženo povećanje zajma ostalih hidroelektrana u gradnji u odnosu na investicione programe, a za koje objekte su polazne cijene bile približno na istoj visini kao i za hidroelektranu Split:

HE Kokin Brod — HE Bistrica	112%	HE Senj	42%
HE Trebišnjica	64%	HE Bajina Bašta	29%

Financiranje je u toku gradnje teklo praktično bez zastoja što je također omogućilo da se tempo izgradnje kreće prema mogućnostima izvedbe, a ne prema mogućnostima financiranja.

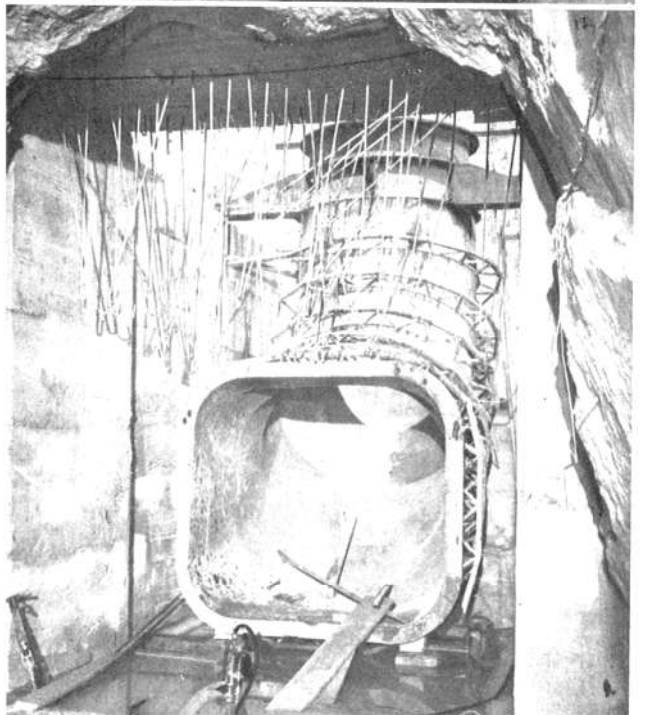
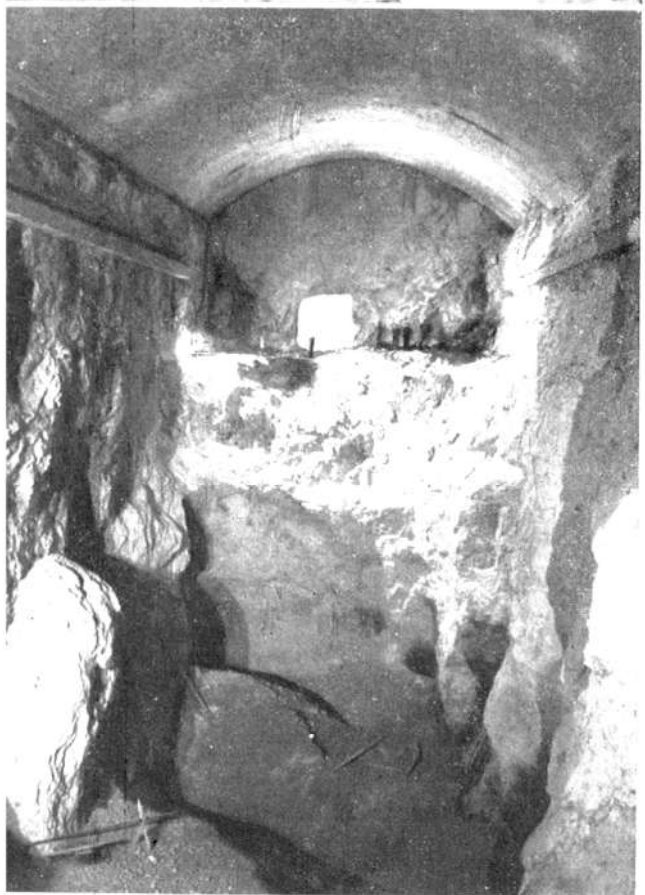
Hidroelektrana Split u prvoj etapi spada u red najjeftinijih hidroelektrana u zemlji zahvaljujući koncepciji projekta. Uzevši u obzir prekoračenje nastalo tokom gradnje stoji da je specifična investicija:

- po godišnjem kWh 14,5 Dinara — po instaliranom kW 99.000 Dinara.

Cijena je kWh 1,03 dinara u prosječnoj godini na bazi troškova pogona u iznosu od 1.550 milijuna dinara. Međutim hidroelektrana Split u prvoj etapi ne predstavlja kompletan objekat ako joj se ne pribroje i investicije hidroelektrane Peruća čija je akumulacija bitan i sastavni dio pogona. Prema tome rentabilnost objekta treba razmotriti sumirajući investicije i produkciju HE Peruća i HE Split. Taj sistem, koji je do danas izgrađen, spada također u red ekonomski vrlo povoljnih pogona. Specifične investicije iznose:

- po godišnjem kWh 20,7 Dinara — po instaliranom kW 132.000 Dinara.

Cijena kWh u prosječnoj godini na bazi zbirnih troškova pogona od 2.400 milijuna dinara iznosi 1,46 dinara.



Kronologija

ISTRAŽNIH I GLAVNIH RADOVA

1947–1950. Od strane Saveznog ministarstva elektroprivrede (MINEL) formirana je grupa hidrotehničara sa sjedištem u Splitu. Grupa nosi razne naslove: Brigada kraških polja, Hidrobiro Split, »Cetina«, 1948. ulazi kao samostalni odjel u poduzeće »Hidroelektrana Tito« – Kraljevac.

Grupa je započela radom sakupljajući pismene i usmene podatke o radovima na kraškim poljima sliva Cetine sa prvenstvenim ciljem da se pronade mogućnost što brže izgradnje akumulacije koja bi omogućila povećanje proizvodnje hidrocentrale Kraljevac. Ing. Boris Pavlin se obratio na inženjere koji su ranije radili na tim područjima: Mamatzija, Daneka V., Wilkea K., Görlicha M., Simović B., Popović V., na geologa Vuletića A., montanistu Žuljevića P. i druge; dobio je pismene i usmene odgovore. »Elektrocentar« Sarajevo provodi sličnu anketu. Sakuplja se literatura i elaborati koji obrađuju hidrotehničke probleme ovoga područja.

Ministarstvo elektroprivrede sazvalo je 20. VIII 1947. stručnu komisiju sa zadatkom da utvrdi generalne smjernice za rješavanje kraških polja »sa gledišta integralne melioracije, iskorištenja vodnih snaga, rudnih nalazišta, saobraćaja, socijalnih i općeprivrednih problema«.

Zaključak sa konferencije održane u Splitu 16. VII 1948. je: »da grupa Hidrobira u Splitu razradi detaljan program svih istražnih radova«. Saradnici: prof. dr Milan Luković, ing. Vujica Jevđević, Guina Vinko, ing. Hrvoje Požar, prof. dr Dimitrije Jaranov, ing. Dragutin Jovanović i ing. Boris Pavlin. Izrađen je 21. VII 1948. plan predradnji na Cetini i na kraškim poljima sliva Cetine.

1951. Kao rezultat radova poduzetih 1947–1950. godine izrađeno je: »Idejno vodoprivredno rješenje šireg područja Cetine« i »Osnovni projekat akumulacije u dolini Cetine«, elaborati »Elektroprojekta« Zagreb. Započelo se neposrednim istražnim radovima na HE »Perući« uz istovremeno istraživanje i stu-

diju iskorištenja stepenica Cetine na području Trilj — Blato na Cetini — more.

U 1953—1954. obavljaju se intenzivni pripremni radovi na izgradnji akumulacije i HE »Peruća«. U 1954. počinju glavni radovi.

»Elektroprojekt« Zagreb, izradio generalni projekt i idejni projekt HE »Split«; glavni projektant građevinskog dijela: ing. Stjepan Reštarović; elektro-mašinskog dijela: ing. Fedor Jelušić i šefovi građevinsko-elektromašinskog odjela: ing. Mladen Žugaj, odnosno ing. Blaž Uzelac. Istražni radovi se i nadalje nastavljaju. Novoosnovane »Dalmatinske hidroelektrane« preuzimlju ulogu investitora kao poduzeće u izgradnji.

U Splitu je revidiran idejni projekat HE »Split«. U diskusiji je pretresen objekt po objekt. Usvojena je koncepcija koja je danas izvedena. Šira diskusija se vodila za jedan, odnosno dva dovodna tunela, za lučnu odnosno gravitacionu branu, oko mogućnosti zaptivanja akumulacionog basena Prančević, oko visine uspora, broja i vrste tlačnih cjevovoda.

Nastavljaju se istražni radovi prvenstveno prema smjernicama koje je preporučila reviziona komisija. Izvršno vijeće NRH usvojilo je 20. I investicioni program za izgradnju HE Split, prve etape, u iznosu od 19 milijarda dinara.

Februar Reviziona komisija Saveznog izvršnog vijeća odobrila investicioni program u iznosu od 17 milijarda dinara.

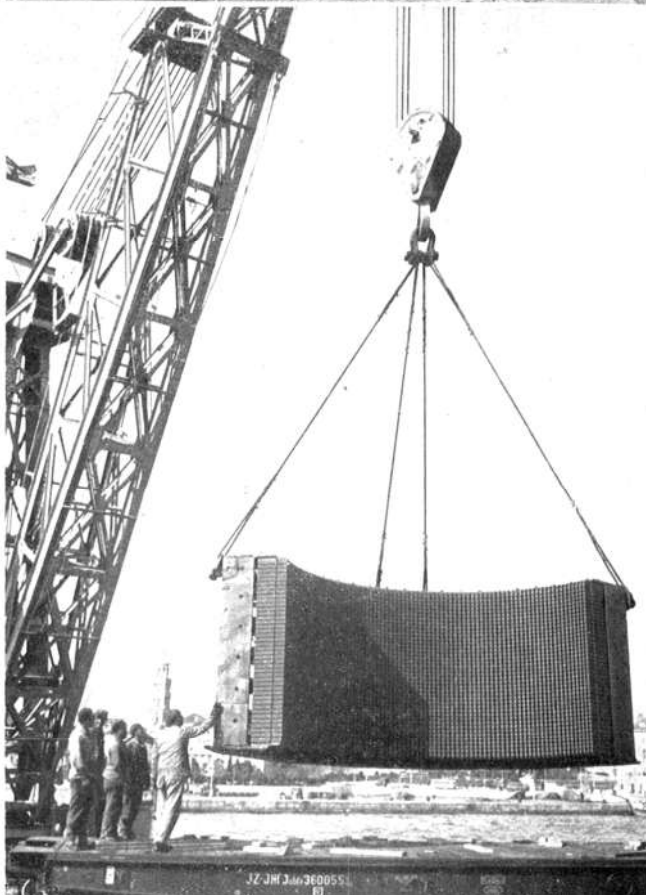
August SIV odobrilo formalno 5. VIII dopunjeni investicioni program i donijelo odluku o izgradnji. Započinju radovi na izgradnji dalekovoda, trafostanica i pristupa gradilištu. Usvaja se koncepcija da se na izgradnju dovodnog tunela privuče što više poduzeća, a najmanje tri.

Septembar 29. IX održana prva licitacija za pripremne radove na napadnim mjestima dovodnog tunela. Radovima se započelo u oktobru.

Oktobar 21. X Izvršno vijeće donosi rješenje o novom zadatku »Dalmatinskih hidroelektrana« kao poduzeća u izgradnji.



1955.

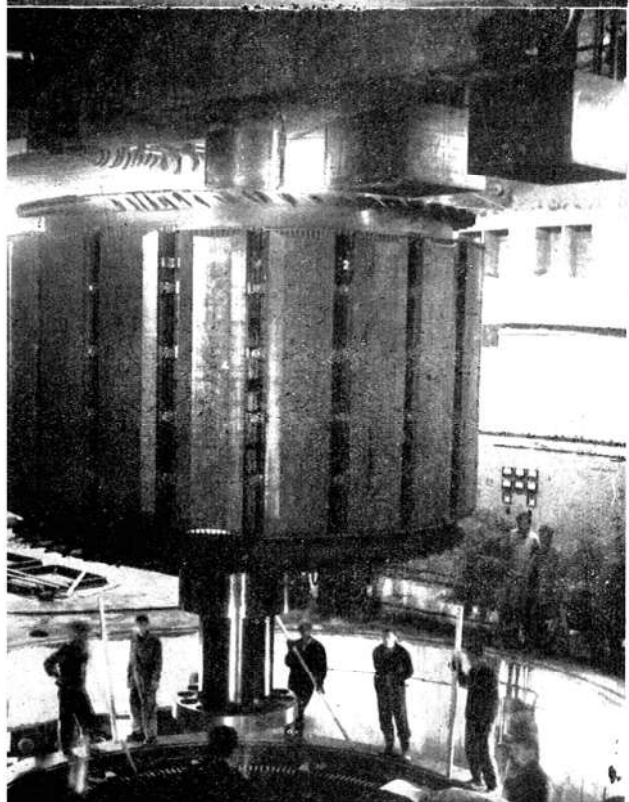
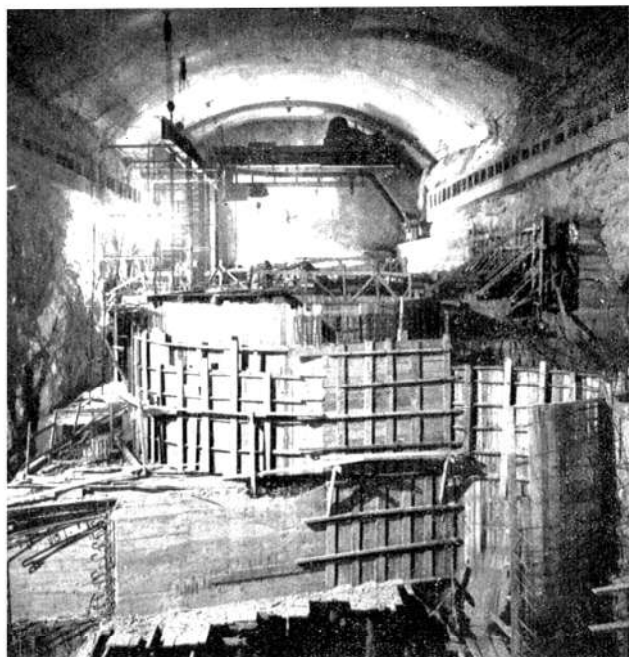


1956.

1957.



Oktobar 1960. Montaža tlačnih cijevi u toku — Novembar 1960. — Juni 1960.



Novembar 7. XI prikupljanje ponuda za radove na dovodnom tunelu. Rezultat je bio izdavanje u rad najuzvodnije dionice (2903 m) »Hidroelektri«, srednje (3600 m) »Tunelogradnji« i najnižvodnije (3067 m) »Konstruktoru«.

Pripreme na napadnim tačkama poduzeli su »Hidroelektra« i »Konstruktor«.

1958.

Januar Jugoslavenska investiciona banka odobrila je sredstva za nabavku mehanizacije iz uvoza.

Februar Umjesto jednog napadnog mjesta, iz Radovića, »Hidroelektra« odlučuje da otvori još jedno napadno okno — u Prančeviću (dužine 180 m).

Mart »Konstruktor« dovršava pristupni tunel i ulazi u trasu svoje dionice dovodnog tunela.

Juni »Konstruktor« započeo radovima na pristupnom tunelu, strojarnici i odvodnom tunelu.

Juli »Hidroelektra« započela izgradnjom uzvodnog desnog zagata brane Prančević.

Septembar Radi lošeg materijala u potkopu odvodnog tunela odlučuje se za probijanje niskopa iz pristupnog tunela u trasu odvodnog tunela.

Novembar Prikupljanjem ponuda izdan rad na brani Prančević poduzeću »Hidroelektra«; pristupnim i kabelskim tunelom stiglo se do prostora strojarnice.

Decembar Probijena definitivna cesta do brane Prančević. Tokom 1958. godine dovršena je rekonstrukcija ceste Dicmo—Prančević—Radovići, izgrađene su sve trafostanice za gradilišta Omiš, Zakućac, Gata, Radovići; probijeno je 23% dovodnog tunela, započelo se probijanjem horizontalnog dijela tlačnih cjevovoda, steklo se iskustvo i poznavanje intenziteta poplava tunela; prognoza dovršetka proboja tunela bila je 1. VIII 1960; nije se našao način da se povoljno riješi problem sredstava za premiranje izvođača; sklopljeni su osnovni ugovori za svu opremu.

1959.

Januar Predano gradilište za branu i ulazni uređaj poduzeću »Hidroelektra«; traje poplava u tunelu i radilištu brane do polovine januara; počelo bušenje tlačnih cjevovoda smjernom bušotinom profila 305

Septembar 1960. Poluportalna dizalica montira se na prostoru kućnih agregata. Staza je djelomično ovješena o svod — April 1960. — Juni 1961. Upuštanje rotora generatora I

mm; počelo se iskopom kaverne strojarnice iz dva napadna mjesta: kablenskog rova i pristupnog tunela.

Februar Revidiran glavni projekt za branu.

Mart Formiran Upravni odbor »Dalmatinskih hidroelektrana«; »Geostrage« iz Sarajeva i »Istražno« iz Titograda dobili na izvođenje radove konsolidacije brane i basena Prančević.

April Po ugovoru sa Investicionom bankom o premiranju radova skraćen planirani rok puštanja u pogon, umjesto 1. VIII 1962. oba agregata: prvi agregat 1. II i drugi 1. IV 1962.

Maj Počelo betoniranje kalote strojarnice; započeli radovi na konsolidaciji basena Prančević.

Juni »Hidroelektra« probila svoju dionicu dovodnog tunela (2903 m).

Juli Definitivno sklopljen ugovor sa Investicionom bankom za premiranje izvođača; ugovor za nabavku mehanizacije iz inostranstva u iznosu od 665.000 USA dolara; ZEPH postaje garant zajma; započelo premiranje dovodnog tunela, učinci uslijed toga rastu.

August Formirano i popunjeno radno mjesto inženjera istražnih radova kraških polja šireg sliva Cetine (Buško Blato).

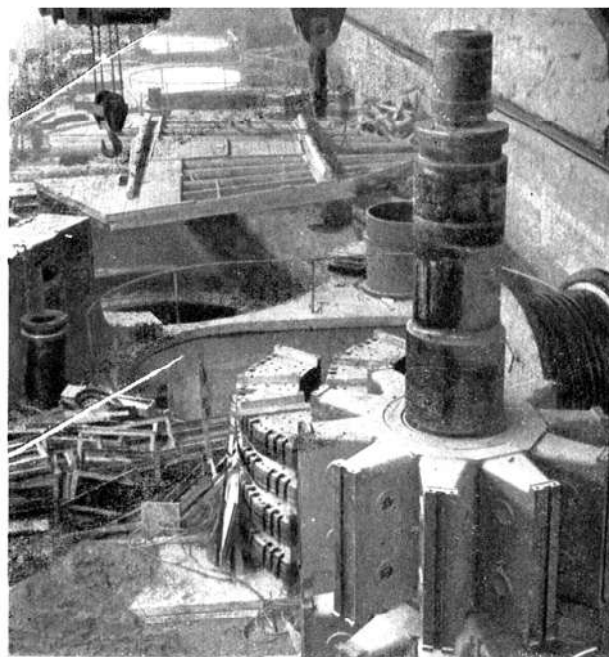
Oktober U JUGEL-u održan sastanak u cilju unapređenja istražnih radova na kraškim poljima sliva Cetine.

Novembar Polovinom mjeseca došlo je do potpune poplave tunela dionice »Hidroelektre« i »Tunelogradnje«, poplava je trajala neprekidno do sredine januara.

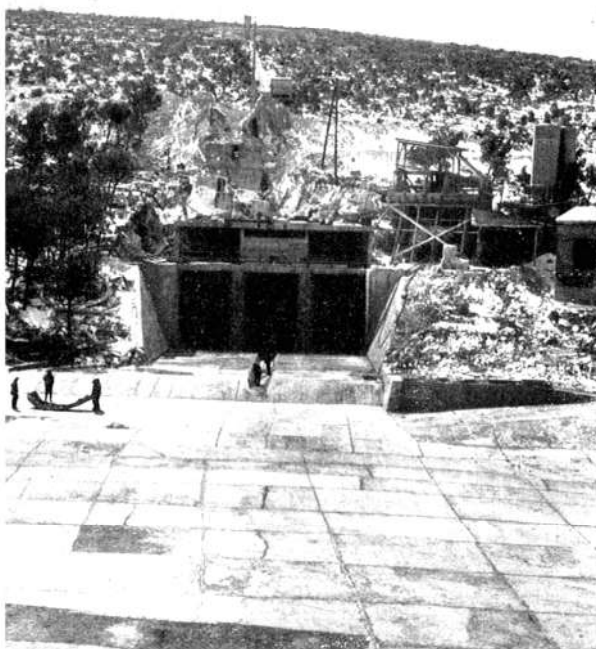
Počela montaža ispusnih organa brane.

Decembar Završeno sklapanje ugovora izvođača sa Investicionom bankom radi nabavke mehanizacije (iako je mehanizacija stigla većinom tokom 1958. godine); iskop strojarnice toliko odmakao da se mogu početi montažni radovi; udes u Zakućcu: iz deponije Smovo bujica odnosi 85.000 m³ materijala i zasipava selo i gradilište Zakućac; izvođači dokazuju gubitke uslijed niskih pogodbenih cijena.

1959.



Maj 1961. Izgled strojarnice četiri mjeseca prije probnog pogona — August 1961. Spoj odvodnog kanala i odvodnog tunela — Novembar 1961. Prvi agregat proizvodi energiju, drugi se montira



1960.

U ovoj godini je probijeno 84,5% tunela, betonirano 2,1% tunela i izbušene su četiri smjerne bušotine tlačnih cjevovoda.

Prikupljanjem ponuda dat je odvodni kanal na izvođenje »Konstruktoru«; nema još glavnog projekta za čvor vodnih i zasunske komore, iako se u njima radi.

Izrada opreme odvija se uglavnom po planu.

April Počela montaža difuzora II; 28. IV probijen cijeli dovodni tunel.

Maj Montiran difuzor I; montirana dizalica 30 t u zasunskoj komori i otpočeli pripremni radovi za montažu tlačnih cijevi.

Juni Srušen lijevi zagat na brani Prančević i izgrađen desni zagat. Cetina propuštena sa desne na lijevu stranu korita; započela druga etapa brane (desni dio); sklopljen konačni ugovor za strojarnicu i čvor vodne i zasunske komore.

August »Konstruktor« i »Tunelogradnja« započeli betoniranjem obloge dovodnog tunela; počela montaža I dizalice 160 t i oba tlačna cjevovoda.

Septembar Počela montaža opreme vodnih komora. Hidroelektrana Peruća proizvela prvu električnu energiju.

Oktobar Počela montaža spirale turbine I.

Novembar Od sredine mjeseca potpuno poplavljen dovodni tunel dionice »Hidroelektre« i »Tunelogradnje«; to traje do februara 1961.; tokom poplave izbijena obloga tunela na potezu 10 m i ušlo u tunel cca 5.000 m³ mulja, gline i kamena; time je betoniranje podnožnog svoda i injektiranje obustavljeno za dva mjeseca; potez dužine 600 m osposobljen je za betoniranje i injektiranje tek koncem maja 1961. godine.

Tokom 1960. rekonstruirana je cesta Priko—Zakućac i omogućen prevoz teških dijelova opreme.

Brana je iskopana 83%, betonirana 71%, konsolidacioni radovi završeni u basenu i brani Prančević 73%; ulazni uređaj završen 78%; dovodni tunel betoniran 61%, injektiran 30%; čvor vodnih i za-

Strojarnica u martu 1962. — Rasklopna postrojenja u martu 1962.
— Školjka vodnih komora, Gata

sunske komore iskopan 98%, betoniran 35%; tlačni cjevovodi I i II montirani i betonirani 37%; strojarnica betonirana 52%; odvodni tunel 41%, kanal iskopan 66%; rasklopno postrojenje iskopano 80%, betonirano 17%.

Oprema je bila ugovorena 98,5%; od ukupne vrijednosti domaće opreme izvršeno je 64%, a od uvozne 40%.

Januar Počela montaža spirale turbine II.

Februar Završena montaža ispusnih organa brane. Od februara do maja velike smetnje predstavljaju mase materijala koje su probile oblogu i uvalile se u odvodni tunel; bilo ih je nemoguće utovariti uobičajenim sredstvima, lopatom ili utovarivačem; transportirale su se razmuljivanjem, a istovremeno betonirala potkova i podnožni svod obloge te čitav profil vezno i konsolidaciono injektirao.

Mart Počeli montažni radovi 110 kV rasklopnog postrojenja.

April Završena montaža u vodnim komorama; počela montaža dizalice II 160 tona.

Maj Osposobljen montažni prostor u strojarnici, do tada se montiralo u jami generatora II i III; položeni kabele 110 kV.

Juni Položeni kabele 220 kV; rotor generatora I spušten u stator.

Juni—August Dovođeni objekti čvora vodne i zasunske komore i odvodnog tunela; završena montaža ulaznog uredaja; čisti se dovodni tunel, puni akumulaciono jezero do kote 269, ispituje: tlačni cjevovod broj I, leptirica i dovodni tunel; 26. VIII prva vrtnja turbine I.

16. septembra Generator I sinhroniziran sa mrežom 110 kV i prva proizvodnja.

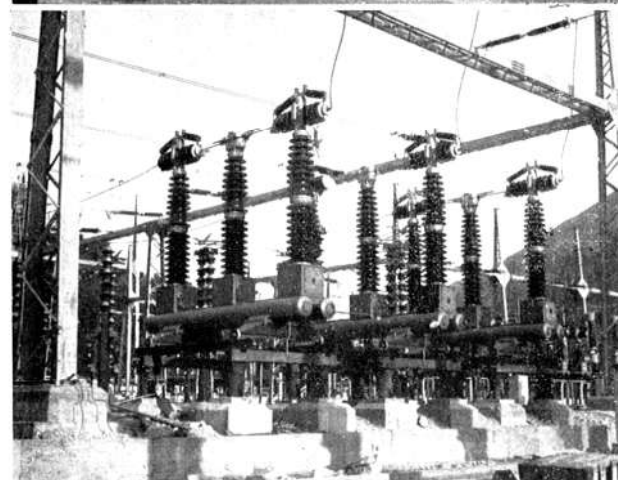
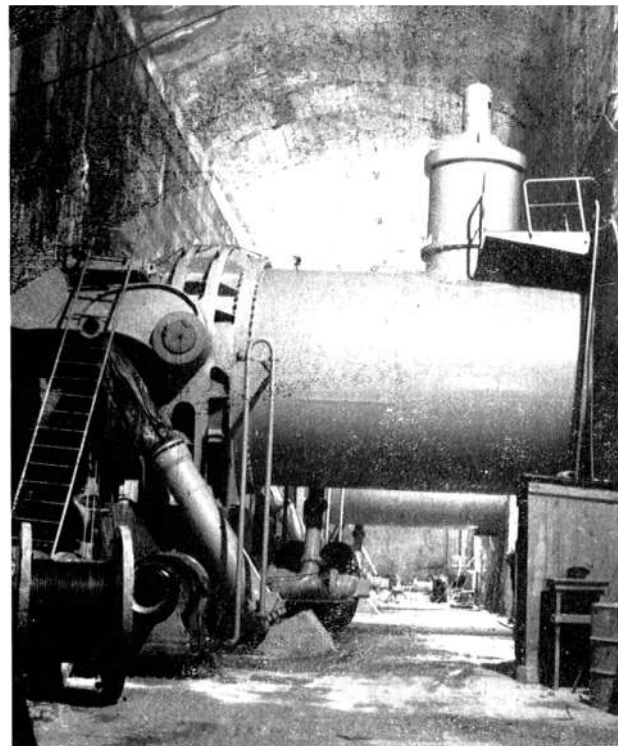
Oktobar Završena montaža tlačne cijevi II.

Novembar Rotor generatora II spušten u stator; počela montaža 220 kV rasklopnog postrojenja.

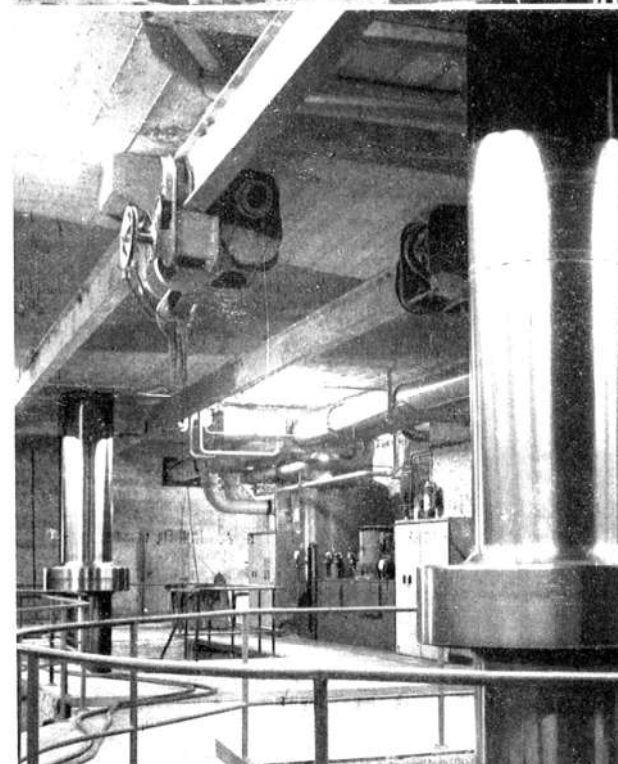
Decembar Završena montaža preljeva na brani; 29. XII prva vrtnja turbine II.

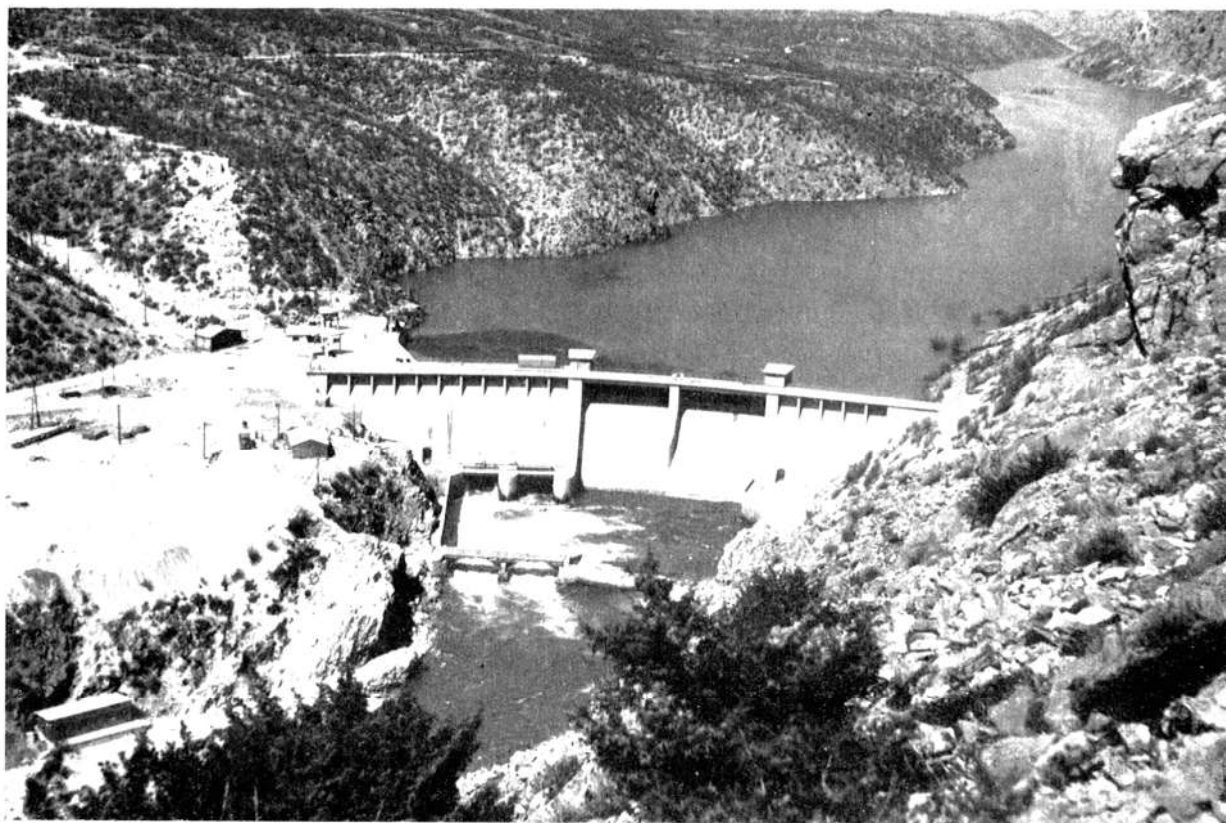
7. februara Generator II sinfroniziran sa mrežom, dalekovod 220 kV prema Zagrebu prenio prvu energiju.

1961.

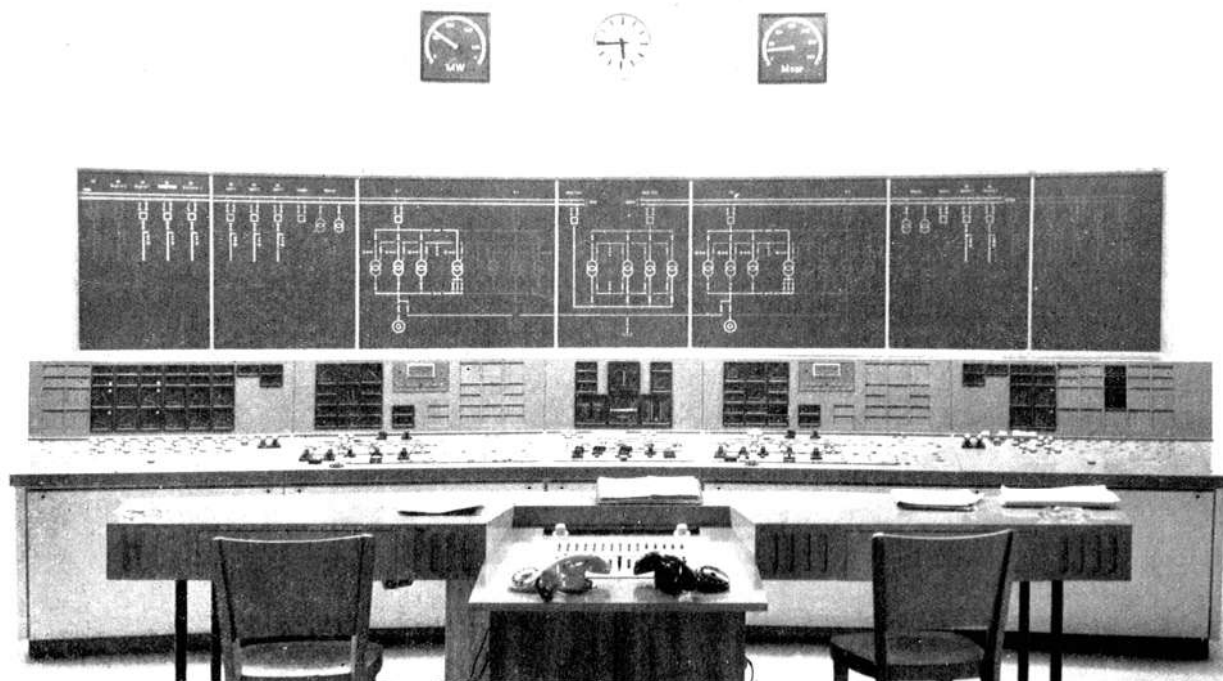


1962.





Definitivni izgled brane Prančević



Spisak poduzeća - graditelja Hidroelektrane

»ELEKTROPROJEKT«, poduzeće za projektiranje elektroenergetskih postrojenja, Zagreb
»HIDROELEKTRA«, građevno poduzeće, Zagreb
»HIDROMONTAŽA«, montažno podjetje za hidroelektrane in splešno montažo, Maribor
»KONSTRUKTOR«, građevno poduzeće, Split
»LITOSTROJ« — TITOVI ZAVODI, gospodarsko podjetje, Ljubljana
»METALNA«, tovarna konstrukcij in strojnih naprav, poljedelskih strojev in livarna, Maribor
»RADE KONČAR«, tvornica električnih strojeva, Zagreb
»TUNEOGRADNJA«, građevinsko preduzeće, Beograd.

»Geofizika«, poduzeće za primijenjenu geofiziku, Zagreb
Hidrometeorološki zavod NRH, Zagreb
»Horvat«, arhitektonski projektni biro, Zagreb
Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb
Inženjersko projektni zavod, Zagreb
»Jaroslav Černi«, hidrotehnički institut, Beograd
»Jovan Žujović«, zavod za geološka i geofizička istraživanja, Beograd
Katedra za primijenjenu geodeziju AGG fakulteta, Zagreb
Vodogradbeni laboratorij Univerze, Ljubljana
Zavod za fotogrametriju AGG fakulteta sveučilišta, Zagreb
Zavod za geomehaniku i fundiranje Tehničkog fakulteta, Sarajevo
Zavod za hidrauliku AGG fakulteta Sveučilišta, Zagreb
Zavod za hidromehaniku i hidrauličke strojeve, Strojarsko-brodograđevnog fakulteta Sveučilišta, Zagreb
Zavod za mehaničku tehnologiju, Strojarsko-brodograđevnog fakulteta Sveučilišta, Zagreb
Zavod za raziskavo materijala in konstrukcij LRS, Ljubljana

»Elektrosond«, poduzeće za ispitivanje i konsolidaciju terena, Zagreb
»Geoistrage«, preduzeće za geološko-istražne radove, Sarajevo
»Geoistraživanja«, poduzeće za geološka, mehanička i građevinska istraživanja, konsolidaciju tla i projektiranje, Zagreb
»Istražno«, preduzeće za istražna bušenja, Titograd

»Ante Jonić«, zanatsko poduzeće, Split
»Dalekovod«, elektroprivredno poduzeće za projektiranje, gradnju i montažu, Zagreb
»Elektroopskrba«, poduzeće za nabavke elektroprivrede NRH, Zagreb

»Elektrosignal«, podjetje za izvoz in uvoz, projektiranje, montažo, ter proizvodnju elektroopreme in elektronaprav jakoga in šibkega toka, Ljubljana
»Energoinvest«, poduzeće za projektiranje i izgradnju energetskih i industrijskih postrojenja, Sarajevo
»Jozo Lozovina — Mosor«, brodogradilište, Trogir
»Ventilator«, tvornica ventilacionih, tehničkih, mlin-
skih i silosnih uređaja, Zagreb

Brown Boveri & Cie A. G., Baden
Brown Boveri & Cie A. G., Mannheim
Felden & Guillaume Carlsberg A. G., Köln — Mülheim
»Frauenthal«, Porzellanfabrik, Wien
»Galileo«, Officine elettromeccaniche, Battaglia Terme
Salvi, Milano
Scarpa & Magnano«, officine elettromeccaniche, Savona
Siemens Schuckert Werke A. G., Erlangen
Voest A. G., Linz
Voith J. M. GmbH, Heidenheim
Walther & Cie A. G., Köln — Dellbrück

»Đuro Đaković«, industrija lokomotiva, strojeva i mostova, Slavonski Brod
»Elektrosrbija«, preduzeće za projektovanje, izgradnju i proizvodnju opreme industrijskih, elektropri-
vrednih i saobraćajnih objekata, Beograd
»Impol«, industrija metalnih polizdelkov, Slovenska Bistrica
»Iskra«, industrija za elektromehaniku, elektroniku, telekomunikacije i automatiku, Kranj
»Moša Pijade«, tvornica kablova, Svetozarevo

»Dalmacija-cement«, poduzeće dalmatinskih tvornica cementa, cementnih i azbest-cementnih proizvoda, Split
Željezara Zenica, Zenica
Železarna Jesenice, Jesenice

Industrija jadranskog kamena i mramora, Split
»Ivan Lavčević«, građevinsko poduzeće, Split
»Izvadač«, građevno zanatsko poduzeće, Omiš
»Makarska«, građevno poduzeće, Makarska
»Melioracija«, vodograđevno poduzeće, Split
»Monter«, montažno poduzeće, pogon Split
Poduzeće aluminijskih konstrukcija, Šibenik
»Rad«, zanatsko građevno poduzeće, Split
»Viadukt«, građevno poduzeće, Zagreb
»Vladimir Gortan«, građevno poduzeće, Split
Vodna zajednica Sinjskog polja, Sinj
»Svjetlost«, elektrotehničko poduzeće, Split
»Telefonmontaža«, poduzeće za postavljanje i održavanje tt postrojenja, Split

A BRIEF SURVEY OF THE SPLIT HYDRO-ELECTRIC PROJECT

The paper deals with the advancement toward maturity of the conception involving the choice of the basic parameters of the Split Hydro-electric Power Plant and its principal equipment, and with the solution as regards the disposition of the underground generating stations and the corresponding external 110 and 220 kV switchyard. The paper also contains the solutions underlying the main design according to which the project has actually been carried out.

A high-pressure power plant with a storage basin of a capacity of $3,0 \times 10^6$ cubic metres of water, designed for the daily regulation of discharges, has been built in a typical Karst region at Prančević, on the river Cetina, according to the basic hydro-technical conception of water power exploitation of the above-mentioned river. In addition to this storage basin, a remote one situated at Peruća, with a capacity of 509×10^6 cubic metres of water, is also being used by the Power Plant. Of the two head tunnels designed to carry water from the intake at Prančević, only one has been built in the present construction stage. The tunnels measure 6,1 metres in diameter, and have a length of about 9,8 kilometres. A surge tank system and a valve chamber are situated at the end of the tunnel where four penstock pipes descend vertically from the height of 250 metres leading to the underground generating station. Four generating sets involving vertical Francis spiral turbines, designed for a head of 250,4 metres and rated at 150,200 h.p. when running at 300 r.p.m., will be added in the final construction stage. The turbines are direct coupled to three-phase synchronous 120 MVA generators designed to run at 300 r.p.m. Only two generating sets have been installed during the first construction stage.

The 16 kW generators are connected to the 110 and 220 kV grid systems by means of 16/121 and 16/242 kV block transformers. The switchyard, comprising 25 bays, is located on an outdoor platform about 700 metres from the underground generating station. The connection between the 110 and 220 kV grid systems is secured by 110 MVA mains transformers.

All the transformers — i.e. the three already in operation and an emergency one — have been designed as single-phase units. The block transformers are located inside a cavern hewn from solid rock while the mains transformers are situated close to the switchyard where the main control is also placed.

The Split Power Plant boasts the most up-to-date equipment, and the applied solutions are the result of the latest and most advanced engineering conceptions.

Operating on a gross head of 250 metres at 200 cubic metres per second, with an installed capacity of 432 MV and an expected annual output of 1983 GWh, the Split Hydro-electric Power Plant rates among the today's largest hydro-electric projects in Europe and represents the most significant power developments in Yugoslavia.