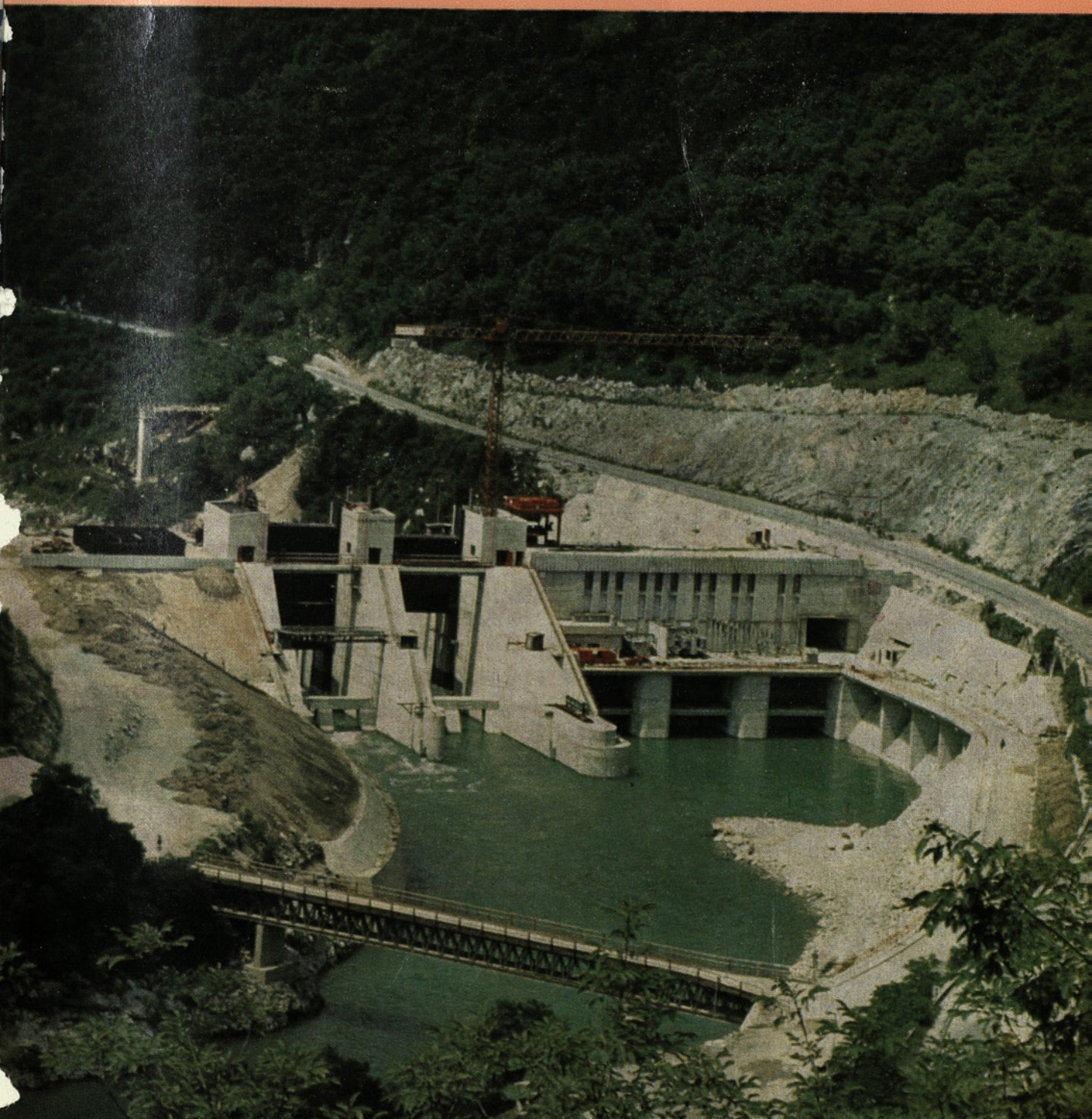


GRADBENI VESTNIK

B

IBE • INŽENIRSKI BIRO ELEKTROPROJEKT
HE SOLKAN V ZAKLJUČNI FAZI



Program pripravljanih seminarjev za strokovne izpite gradbene stroke v letu 1985

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. seminar: 14.—18. januar 1985 | 6. seminar: 16.—20. september 1985 |
| 2. seminar: 18.—22. februar 1985 | 7. seminar: 21.—25. oktober 1985 |
| 3. seminar: 18.—22. marec 1985 | 8. seminar: 18.—22. november 1985 |
| 4. seminar: 8.—12. april 1985 | 9. seminar: 9.—13. december 1985 |
| 5. seminar: 20.—24. maj 1985 | |

Za pripravljani seminar za opravljanje strokovnih izpitov se prijavite na naslov:
Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15

Izpitni roki za strokovne izpite gradbene stroke za leto 1985

Zap. št.	Prijave do	Klavzurna naloga	Ustni del
I-G/85	21. 12. 1984	12. 1. 1985	29.—31. 1. 1985
II-G/85	11. 1. 1985	2. 2. 1985	19.—21. 2. 1985
III-G/85	15. 2. 1985	2. 3. 1985	12.—14. 3. 1985
IV-G/85	22. 3. 1985	6. 4. 1985	16.—18. 4. 1985
V-G/85	19. 4. 1985	4. 5. 1985	14.—16. 5. 1985
VI-G/85	17. 5. 1985	1. 6. 1985	11.—13. 6. 1985
VII-G/85	6. 9. 1985	21. 9. 1985	8.—10. 10. 1985
VIII-G/85	4. 10. 1985	19. 10. 1985	5.—7. 11. 1985
IX-G/85	31. 10. 1985	16. 11. 1985	3.—5. 12. 1985

Za strokovni izpit se prijavite na naslov: Zavod za tehnično izobraževanje,
Ljubljana, Langusova 21



GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE
Št. 8 • LETNIK 33 • 1984 • YU ISSN 0017-2774

VSEBINA-CONTENTS

Clanki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

Vlado Šlokan:

35-LETNI JUBILEJ IB ELEKTROPROJEKTA 186

Savo Janežič in Dušan Somrak:

IZGRADNJA VERIGE HIDROELEKTRARN NA SAVI 187

Janko Kovačec:

VERIGA HE NA MURI 192

Željko Kokolj:

PROBLEMATIKA MHE V SR SLOVENIJI 195

Savo Janežič in Branko Batistič:

REŠEVANJE GEOLOŠKO—GEOTEHNIČNE PROBLEMATIKE
PRI GRADNJI HE SOLKAN 197

Branko Zadnik:

DINAMIČNA ANALIZA HE MAVČIČE 203

Franc Zupan in Zdenko Josipovič:

ZAPIRANJE GRADBENE JAME HIDROELEKTRARNE
MAVČIČE NA SAVI 207

Vesti in informacije
News and informations

POZDRAVNI GOVOR PREDSEDNIKA PREDSEDSTVA ZDGITS
NA ZBOROVANJU SEKCIJE KONSTRUKTORJEV 212

INŽ. SERGEJ BUBNOV — SEDEMDESETLETNIK 213

**Informacije Zavoda za raziskave
materiala in konstrukcij Ljubljana**

RADIALNE NAPETOSTI V ZAKRIVLJENIH LESENIH LEPLJENIH
NOSILCIH

**Proceedings of the Institute for
material and structures research
Ljubljana**

Jelena Srpčič 215

Glavni in odgovorni urednik: SERGEJ BUBNOV

Lektor: ALENKA RAIČ

Tehnični urednik: DUŠAN LAJOVIC

**Uredniški odbor: NEGOVAN BOŽIČ, VLADIMIR ČADEŽ, JOŽE ERŽEN, IVAN JECELJ, ANDREJ KOMEL, STANE
PAVLIN, FRANC ČAČOVIČ, BRANKA ZATLER**

Revija izdaja Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon 221 587. Tek. račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Letna naročnina skupaj s članarino znaša 400 din, za študente 90 din, za podjetja, zavode in ustanove 2000 din. Revija izhaja ob finančni podpori Raziskovalne skupnosti Slovenije, Splošnega združenja gradbeništva in IGM Slovenije in Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana.

35-letni jubilej IB Elektroprojekta

Rojstvo IBE je trdno vezano na razvoj slovenskega energetskega gospodarstva, ki je po osvoboditvi pričelo vlagati sredstva predvsem v gradnjo vodnih elektrarn.

Ko je ministrstvo za gradnje Slovenije l. 1945 ustanovilo Projektni zavod, je skupina mladih gradbenih inženirjev in tehnikov, ki jo je vodil pokojni inž. M. Kleindienst, pričela s projektiranjem vodnih elektrarn v Sloveniji. Bila so to leta, ko je bilo zaradi nezkušenosti potrebno mnogo vlagati v svoje lastno znanje in le navdušenci so zmogli te napore.

Prva vodna elektrarna HE Savica, sicer skromne moči, je pričela uspešno obratovati.

V teh časih je nastajalo več manjših projektantskih skupin različnih strok, ki so bile usmerjene v energetiko.

Potrebno jih je bilo organizacijsko povezati in tako je l. 1949 nastal Hidroelektroprojekt v Ljubljani, ki pa je bil povezan s centralno skupino v Beogradu, tako kot podobni biroji v Zagrebu, Sarajevu in Skopju. Vsi ti Hidroelektroprojekti so projektirali nove elektrarne na svojih področjih. Ker v Črni gori podoben biro ni bil ustanovljen, je ljubljanski HEP projektiral tamkajšne nove vodne elektrarne. Vrstili so se prvi uspehi, ki so dali tudi prve izkušnje, pričele so obratovati HE Moste, HE Mariborski otok, HE Medvode in v Črni gori male HE Mušovića Rijeka, Slap Zete in Glava Zete. Po letu 1951 so se posamezne projektantske skupine v republikah osamosvojile. Ljubljanska, z novim imenom Elektroprojekt, je pričela širiti svojo dejavnost na celotno področje elektroenergetike. Pričeli so projektirati prvo veliko termoelektrarno v Šoštanj, razdelilne transformatske postaje, daljnovode in vse ostale energetske objekte. Podjetje je tudi v naslednjih letih širilo svojo dejavnost in poseglo tudi v investicijske procese industrijskih objektov, posebno tistih, ki so močnejše vezani na energetske intenzivnosti. Da bi ponazorili te dejavnosti tudi v imenu, so se l. 1962 preimenovali v Inženirski biro Elektroprojekt (IBE).

IB Elektroprojekt je posebej po l. 1970 pričel razširjati svoje dejavnosti tudi v smeri kakovosti. Pričeli so z organiziranjem investicijskih procesov s svetovalnimi dejavnostmi, kar je zahtevalo angažiranje vseh tehničnih in ostalih spremljajočih strok. Le tako so dane naloge uspešno speljali, to je do tehnično nemotenega obratovanja objekta, s tem, da je bila realizirana tudi ekonomska uspešnost.

Posebno skrb posvečajo prodoru na tuji trg. Ta čas so angažirani v Turčiji, Sovjetski zvezi in Abu Dhabiju, kjer so vezani v tehnološki krog s projektiranjem in ostalimi inženirskimi storitvami.

Povsem jasno je, da ima ponudba v tujini izglede na uspeh le tedaj, če nudi celovite storitve

s tehnologijo naprave in z zagotovitvijo uspešnega delovanja. Finančna konstrukcija pa je poseben, včasih nerešljiv problem naših ponudb.

Včlanitev v SOZD ZPS omogoča IBE-ju povezati svoje storitve v tehnološko celoto. IBE je z referendumom, ki je uspel z veliko večino, potrdil vključitev v sozde EGS, REK Edvard Kardelj in REK Franc Leskošek-Luka, kar je bil pogoj za celovitejšo in ekonomičnejšo projektiranje ter izgradnjo energetskih objektov v Sloveniji. Integracija strokovnih kadrov v energetiki s področja investicijskega procesa izboljšuje izglede pri ponujanju kompleksnih storitev za izgradnjo energetskih objektov doma in v tujini.

IBE je v 35 letih svojega obstoja projektiral in sodeloval pri izgradnji vseh večjih energetskih in industrijskih objektov v Sloveniji in tudi pri mnogih zunaj nje. Naj jih naštejemo vsaj nekaj: dravska veriga elektrarn, termoelektrarna Šoštanj, HE Mratinje na Pivi, večstransko sodelovanje pri NE Krško, toplotna Ljubljana, termoelektrarna Trbovlje 2, toplotna Kosovo, plinska elektrarna Brestanica, toplotna Cerak—Beograd, hladilni stolpi v Šoštanju, Tuzli, Zrenjaninu, Kidričevem, Lendavi, Brestanici; izdelali so projekte za desetine malih hidroelektrarn in za črpalni sistem Buško Blato. Zasnovali so in izdelali investicijsko in tehnično dokumentacijo za nad 100 razdelilnih transformatorskih postaj višjih napetosti in razpredli mrežo prek 2000 km daljnovodov.

IBE je uspešno projektiral in sodeloval pri izgradnji mnogih industrijskih kompleksov v Sloveniji kot tovarn ivernih plošč v Nazarjih, Otiškem vrhu, Novi Gorici, tovarne vlaknenk v Ilirski Bistrici, kemične tovarne Iplas, Belinke, tovarne zdravil Lek v Mengšu, tovarne sladkorja v Ormožu, tovarne energetske opremo EMO v Šentjurju, izgradnji rudnika urana v Žirovskem vrhu, da omenim le nekatere večje objekte.

V tujini je IBE sodeloval pri izgradnji objektov v Libiji, Alžiru, Iraku, v Nemški demokratični republiki, projektirali so hidroelektrarno v Nepal, tačas pa projektirajo z Lekom tovarno zdravil v Sovjetski zvezi, z Iskro transformatorske postaje v Turčiji in sodelujejo v izgradnji transformatorskih postaj v Abu Dhabiju.

Ob svojem jubileju si v IBE želijo, da bi uspešno uresničevali cilje, ki so si jih zadali, predvsem da bi učinkoviteje s svojim tehnološkim znanjem in skupaj z dobavitelji in izvajalci prodrli na tuji trg ter da bi tudi doma uspeji v prizadevanjih za organizacijo racionalnejše in ekonomičnejše izgradnje.

V IBE so prepričani, da trud 380-članskega kolektiva ne bo zaman.

Vlado Slokan, dipl. gradb. inž.

Izgradnja verige hidroelektrarn na Savi

UDK 627.8.036

SAVO JANEŽIČ
DUŠAN SOMRAK

Povzetek

V prispevku je dan pregled možne energetske izrabe odseka Save od HE Medvode do slovensko-hrvaške meje. Predlagan je tudi prioriteten vrstni red gradnje glede na proizvodnjo električne energije in problematiko, ki nastopa pri gradnji ter zainteresiranosti lokalnih dejavnikov zanjo. Pri obdelavi je posvečena večja pozornost izgradnji prvega odseka — sedmih HE od HE Vrhovo do HE Mokrice, ki predstavlja skupno s HE Brežice izravnalno stopnjo za izpuščanje naravnih pretokov Save na hrvaško stran. Letna proizvodnja tega odseka predstavlja tudi 46 % celotne letne proizvodnje vseh treh odsekov skupaj.

Z vodogospodarskega stališča, predvsem glede na čedalje večje zniževanje nivoja podtalnice na Ljubljanskem področju in s tem pomanjkanjem pitne vode, bo izgradnja III. odsega, od HE Tacen do HE Ponoviče, postala v bližnji bodočnosti zelo zanimiva.

Tretji odsek od HE Renk do HE Suhadol bo glede na prisotnost železnice in cester ter ozkega prostora (kanjon Save) za gradnjo najzahtevnejši in zato verjetno tudi zadnji v izgradnji.

Zavedati pa se moramo, da bo le izgradnja celotne verige zagotovila optimalno energetske izkoriščenost reke Save in da bo le tako veriga hidroelektrarn obratovala tako, kot je bilo s projektom (študije) zamišljeno.

1. Uvod

Zamisel o izgradnji verige HE na Savi je dokaj stara. Že v času 2. svetovne vojne so Nemci izdelali idejne osnove za izgradnjo HE na Savi, lotili pa so se tudi raziskovalnih del, geodetskih in geoloških, na lokacijah HE Vrhovo, HE Boštanj, HE Blance in HE Krško. Del teh podatkov se je ohranil in jih vključuje tudi inženirsko geološko poročilo, ki ga je izdelal Geološki zavod iz Ljubljane leta 1960 za potrebe osnovnega projekta Save (izdelal IB Elektroprojekt 1. 1959). Na podlagi osnovnega projekta je IB Elektroprojekt izdelal v letu 1962 še idejna projekta za HE Krško in HE Vrhovo, nakar se je za dobo, ko se je favorizirala izgradnja termocentral in plinskih elektrarn, prenehalo z aktivnostmi pri izdelavi dokumentacije za HE na Savi.

S pričetkom naftne krize, ki je vplivala tudi na večanje cene električne energije (neposredno ali pa prek transportnih stroškov premoga itd.), se je zopet obudilo zanimanje za izkoriščanje energetskega potenciala reke Save. V letu 1978 je IBE izdelal elaborat Priprava elementov za investicijsko tehnično dokumentacijo, ki obravnava odsek od Renk do Krškega, v letu 1979 pa študijo energetske izrabe Save, ki obravnava celotni odsek od Medvod do Mokric (slovensko-hrvaške meje).

Avtorja: Savo Janežič, dipl. gradb. inž., in Dušan Somrak, dipl. gradb. inž., oba IB Elektroprojekt Ljubljana

Summary

The article outlines the possibilities of the exploitation of the Save river section between the HPP Medvode and the Slovenia — Croatian border for the purpose of power generation. Puggested in the order of priority for the hydro plants construction taking into consideration the power generation, possible construction problems as well as the interest of the local factors in the construction.

Attention is directed to the construction of the first section of seven hydro power plants from the HPP Vrhovo to the HPP Mokrice, forming together with HPP Brežice a compensating reservoir to regulate the natural water flows of the Sava river on the Croatian side. The annual output of this section represents 46 per cent of the total annual output of all three sections together.

Due to the increased ground water level lowering in the area of Ljubljana and consequently the shortage of potable water supplies, the construction of the second section — from the HPP Tacen to the HPP Ponoviče — will arouse considerable interest in the near future.

The third section — from the HPP Renke to the HPP Suhadol will be the most demanding part and therefore probably the last in the chain, due to the vicinity of the railway, the road and the narrow canyon of the Sava river.

We have to be aware of the fact that only the construction of the whole chain of hydro power plants will assure an optimum utilization of the Sava river hydro power resources and enable the power plants to operate as it is imagined in the conceptual design.

Na podlagi revizije te študije je IBE v letu 1982 izdelal tudi Idejne rešitve in tehnološki elaborat za HE Vrhovo, ki vsebuje zaključke vseh predhodnih študij glede števila agregatov, obratovanja strojev, načina zapiranja turbinskih vtokov, tipa strojnice itd.

Glede na specifičnosti posameznih odsekov Save (možnost organizacije gradbišča, pretočne količine Save kot tudi stopnjo še potrebne obdelave) bi Savo lahko delili na več odsekov po naslednjem prioriteten vrstnem redu:

I. odsek: HE Vrhovo — meja SRS — SRH

II. odsek: HE Tacen — HE Renke (v smislu instaliranega pretoka bi se ta odsek še ločil na:

— odsek HE Tacen — HE Zalog:
 $Q_i = 250 \text{ m}^3/\text{s}$

— odsek HE Jevnica — HE Ponoviče:
 $Q_i = 400 \text{ m}^3/\text{s}$

III. odsek: — HE Renke — HE Suhadol

IV. odsek: — HE Radovljica + Sava Bohinjka in Sava Dolinka — HE Mavčiče.

Odsek IV. bi bil glede na majhne pretoke Save ter dosti omejene možnosti izgradnje večjih stopenj zadnji po prioritetnem redu, je pa študijsko tudi najmanj obdelan.

Odsek III. zajema pretežni del kanjonskega odseka Save, ki pogojuje gradnjo v dveh gradbenih jamah s posebnim ozirom na železniško progo na levem in desnem bregu. Taka gradnja pomeni eno leto daljši čas gradnje ter večje specifične stroške, delno tudi na račun organizacije gradbišč.

Odsek II. predstavlja verigo elektrarn v področju Ljubljane. S svojimi akumulacijskimi prostori posegajo posamezne HE v glavnem v dosedanja denudacijska področja Save in jih zaradi tega ne bo težko uskladiti z urbanističnimi plani Ljubljane.

V Ljubljani se že soočamo z zniževanjem gladine podtalnice, kar bo privedlo v naslednjih letih, če se bo trend porabe še povečal, do pomanjkanja pitne vode. V tej zvezi so že pred nekaj leti začele raziskave o možnosti umetnega bogatenja podtalnice. Z izgradnjo akumulacijskih jezer bi bilo možno umetno dvigniti raven podtalnice in omiliti problem pitne vode. Iz omenjenih razlogov se je potrebno v najkrajšem času lotiti izdelave potrebne dokumentacije, ki bi dokončno definirala razpored posameznih stopenj, velikost bazenov in vseh ostalih parametrov, potrebnih za dokončno definiranje položaja in vloge HE v tem prostoru, in ki bo usklajena z urbanističnimi akti prizadetih občin.

Odsek I. je po energetsko-ekonomski vrednosti vsekakor najbolj zanimiv, hkrati pa obstoji za ta del tudi največ izdelane tehnične dokumentacije. V oktobru 1983 je IBE izdelal študijo Izravnava pretokov Save skozi mejni profil SRS—SRH in poenotenje stopenj od HE Vrhovo do HE Mokrice. V študiji je bil v prvem delu poudarek na določitvi minimalne potrebne velikosti kompenzacijskega bazena, da se zadosti danim pogojem na mejnem profilu s SR Hrvatsko. V drugem delu pa se je skušalo čimbolj izenačiti padec na posameznih stopnjah in s tem omogočiti čimvečje poenotenje elektrostrojne opreme in po možnosti tudi gradbenega dela glavnih pogonskih objektov. Za ta namen sta bili študirani dve možnosti varianti razporeditve, in sicer:

— varianta s 6 stopnjami, pri katerih so se gibali padci med 8 in 9,89 m, razen HE Brežice, ki so izstopale s 13,57 m padca pri $Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

— varianta s 7 stopnjami, kjer so padci med 7,81 m in 9,52 m.

Zaradi nekoliko večje izenačenosti padcev pri varianti s 7 stopnjami se je revizijska komisija odločila za to varianto.

Vzporedno s to študijo tečejo tudi raziskave na modelu v Vodogradbenem laboratoriju. Do sedaj so bile že izvršene preiskave:

— pretočne sposobnosti enega prelivnega polja in določitev koeficienta prelivanja na prelivnem pragu z upoštevanjem in brez upoštevanja vmesnih stebrov;

— oblika natočnega dela cevne turbine (naklon natočne rampe, dolg vtočni del, skrajšan vtočni del kot tudi različne velikosti vtočne odprtine) z meritvijo porazdelitve hitrosti na vtočnem profilu in v profilu začetka turbine (hruške);

— na zunanjem modelu je bil preizkušan prostorski natok na turbine. Obstoječi zunanji model celotne naprave je bil izdelan za HE Vrhovo, zato se je tu konkretno reševal tudi problem odvajanja voda izpred natočne rampe za HE Vrhovo kot izjemno neugoden natok.

Letos naj bi se preiskale še razmere na iztoku iz turbin tako na notranjem (dvodimenzionalnem) kot tudi zunanjem prostorskem modelu ter razporeditve hitrosti pred predvodilnikom turbine z upoštevanjem različnega načina pritrjevanja turbine in oblike vstopnega jaška. Vzporedno naj bi tekle preiskave na modelu cevne turbine tudi v Turboinštitutu.

Eden od ciljev raziskav in ostalega projektnege dela je tudi v izoblikovanju čimbolj enotnega pretočnega turbinskega trakta kot tudi prelivnih polj glede na možnosti, ki jih dopuščajo lokalne okoliščine in omejitve v bazenu.

2. Pregled razporeditve posameznih hidroenergetskih stopenj na odseku od Medvod do Slovensko-hrvaške meje, pregled osnovnih — karakterističnih podatkov (glej tabelo) in kratek opis splošnih karakteristik objektov

Kratek opis

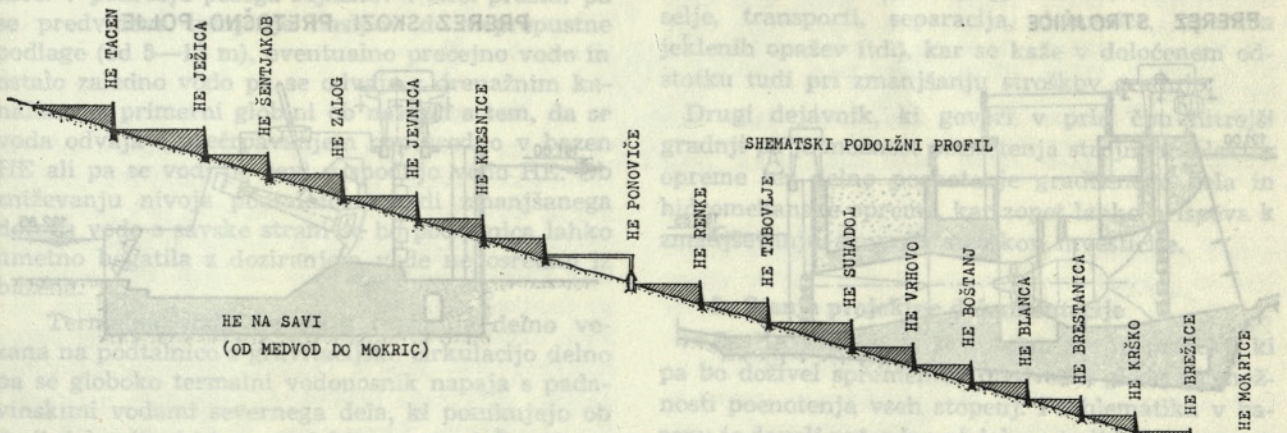
Obravnavane elektrarne na I. odseku so nizkotlačne z neto padci med 7,19 in 8,12 m in instaliranim pretokom $Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}$. V strojnici so nameščeni trije cevni agregati požiralnosti $167 \text{ m}^3/\text{s}$. Za zapiranje turbinskega vtoka so predvidene zasilne zapore. Manipulacijo z zapornicami opravlja čistilni stroj s posebej prigrajenim mehanizmom. Zapiranje turbinskih iztokov omogočajo pomožne zapore.

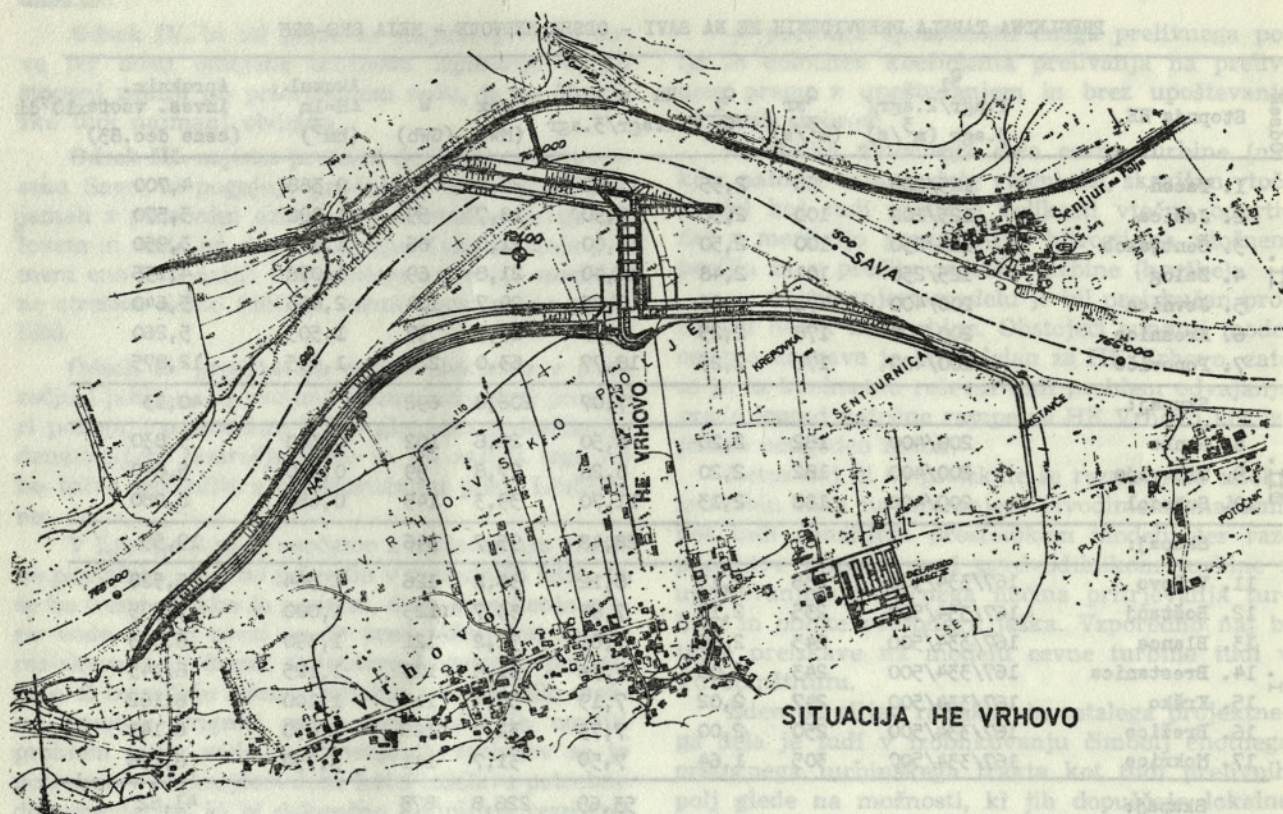
Jezovna zgradba je opremljena s segmentnimi zapornicami s klapnami in pomožnimi tramovnimi zaporami na vzvodni strani in plavajočimi pomožnimi elementi za zapiranje pretočnih polj z nizvodne strani. Za vlaganje pomožnih zapor na vzvodni strani je uporabljen čistilni stroj s posebej predvidenim mehanizmom in vzvodnimi konzolnimi ročicami za vlaganje kotalnih in drsnihih zaporničnih elementov za zapiranje pretoka za časa gradnje. Vlaganje plavajočih zapor za pretočna polja bo opravljal žerjav, ki bo prevzel tudi vlaganje pomožnih zapor sifonskega iztoka.

Za montažo in demontažo elektrostrojne opreme (cevnege agregata itd.) je v strojnici predvideno mostno dvigalo.

PREGLEDNA TABELA PREDVIDENIH HE NA SAVI - ODSEK MEDVODE - MEJA SRS-SRH

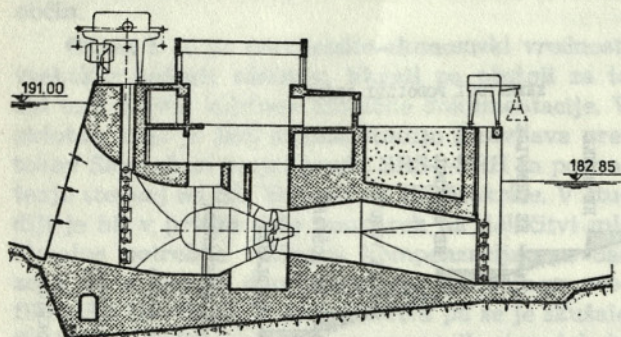
Odsek	Stopnja HE	Q_1		$\frac{Q_1}{Q_{sr}}$	Hn m	P_{max}	W	Akumul. $\Delta H=1m$	Aproksim. inves. vsotaxi ⁹ di
		1. agr/2. agr/ 3. agr (m ³ /s)	Q_{sr} (m ³ /s)						
II.	1. Tacen	125/200	98	2,55	11,90	24,9	77	0,388	4,700
	2. Ježica	125/200	100	2,50	8,90	18,7	59	1,892	3,570
	3. Šentjakob	125/250	100	2,50	10,00	21,0	66	1,905	3,950
	4. Zalog	125/250	101	2,48	10,40	21,8	69	1,078	4,135
	5. Jevnica	200/400	178	2,25	8,85	29,7	104	2,463	5,640
	6. Kresnice	200/400	178	2,25	8,25	27,7	97	1,505	5,260
	7. Ponoviče	200/400	178	2,25	18,77	63,0	220	1,455	12,875
Skupaj:					77,07	206,8	692		40,13
III.	8. Renke	200/400	182	2,20	8,50	28,6	102	0,380	5,830
	9. Trbovlje	200/400	182	2,20	8,28	27,8	99	0,300	5,640
	10. Suhadol	200/400	188	2,13	11,70	39,3	145	0,680	8,080
Skupaj:					28,48	95,7	346		19,55
I.	11. Vrhovo	167/334/500	235	2,13	8,12	34,2	126	1,364	5,528
	12. Boštanj	167/334/500	235	2,13	7,98	33,7	125	1,000	5,595
	13. Blanca	167/334/500	243	2,06	7,61	32,2	121	1,390	6,053
	14. Brestanica	167/334/500	243	2,06	7,56	31,9	120	1,125	6,145
	15. Krško	167/334/500	247	2,02	7,19	30,4	114	1,100	6,162
	16. Brežice	167/334/500	250	2,00	7,73	32,7	126	3,450	6,141
	17. Mokrice	167/334/500	305	1,64	7,50	31,7	141	3,750	6,198
Skupaj:					53,69	226,8	873		41,82
S K U P A J :					159,24	529,3	1911		101,50



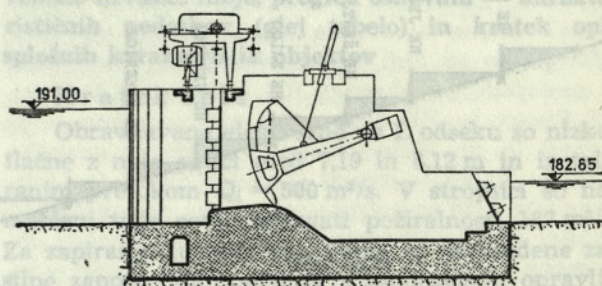


SITUACIJA HE VRHOVO

PREREZ STROJNICE



PREREZ SKOZI PRETOČNO POLJE



Ostali podatki o moči in proizvodnji ter informativnih investicijskih vsotah so razvidni iz pregledne tabele na strani 189.

3. Problematika v baznih in principi reševanja

Glede na veliko urbanizacijo področja, predvidenega za gradnjo HE, se soočamo s težavami pri zaščiti infrastrukturnih objektov, predvsem železnice, ceste in kanalizacijskega omrežja. Ostala problematika nastopa predvsem v bazenu HE Vrhov z zaščito Radeč in zaščito mesta Krškega pred dvigom talne vode zaradi zaježitve HE Krško. V Radečah je predvidena zaščita mestnega jedra z izgradnjo tesnjenih obrambnih nasipov s savske strani in izdelavo tesnilne diafragme v aluvialnem

sloju pod nasipi. Potok Sopota bo reguliran tako, da bo speljan v betonsko korito v predelu mestnega jedra, ki je tako nizko ležeče, da ga vsaka petletna visoka voda danes poplavlja. Morebitna precejna voda se bo lovila z obojestransko cevno drenažo, ki bo speljana v bazenu in nato prečrpavana v korito Sopote. S tem bodo odpravljene poplave vse do pretokov, večjih od pretoka stoletne visoke vode, kar pomeni velik pozitivni učinek elektrarne.

Problematika zaščite železnice se bo reševala v skladu z dogovorom s predstavniki železniškega gospodarstva po principu, da gladina zajezne vode ne sme segati višje od 1,20 m izpod zgornjega roba železniškega pragu. Kjer bo potrebno, bodo za ta namen zgrajeni nasipi tesnjeni do neprepustne pod-

lage. Na enak način se rešuje problematika ohranitve kmetijskih zemljišč na ogroženih področjih (He Brestanica). Ostali železniški objekti bodo ustrezno sanirani (predvsem so to železniški propusti, podhodi, zidovi, brežine).

Prizadetost cestnih povezav je največja tik ob lokaciji pregrad, kjer bo pri nekaterih centralah potrebno nadvišati niveleto cestišča ali pa izvršiti prestavitve cestišča.

Delno bodo prizadete tudi PTT linije in električni vodi, vendar so ti problemi zvezani z manjšimi finančnimi stroški.

Problematika kanalizacij, ki se neposredno izlivajo v Savo, je najbolj izražena v Radečah, kjer se rešuje z že načrtovano izgradnjo kolektorja. V Krškem je prizadeta tako padavinska kot fekalna kanalizacija na desnem bregu Save (delno je fekalna kanalizacija že speljana v kolektor na nizvodnem delu desnega brega). Na levem bregu se fekalni in padavinski kanalizaciji priključi še industrijska kanalizacija iz tovarne Đuro Salaj.

Vpliv na podtalnico bo odločujoč predvsem v področju, rezerviranem za rezervat pitne vode na desnem bregu Save, nizvodno od Krškega. Od HE Krško po vodi navzdol v dolžini ca. 3 km ostaja zajezev HE Brežic v obstoječem koritu Save. Tu se ne predvideva tesnjenje do neprepustne podloge, s čimer bo omogočeno naravno bogatenje podtalnice. V področju posega zajezev v širši prostor pa se predvideva tesnjenje nasipov do neprepustne podlage (od 5—12 m), eventualno precejno vodo in ostalo zaledno vodo pa se odvaja z drenažnim kanalom na primerni globini ob nasipih s tem, da se voda odvaja s prečrpavanjem neposredno v bazen HE ali pa se vodi po cevi v spodnjo vodo HE. Ob zniževanju nivoja podtalnice zaradi zmanjšane dotoka vode s savske strani se bo podtalnica lahko umetno bogatila z doziranjem vode neposredno iz bazena.

Termalna voda Čateških toplic je delno vezana na podtalnico z gravitacijsko cirkulacijo delno pa se globoko termalni vodonosnik napaja s padavinskimi vodami severnega dela, ki ponikujejo ob meji dolomita, ki tone v globino v smeri Čateškega polja. Eventualno (glede na ostale porabnike v prostoru) minimalno zvišanje gladine podtalnice torej ne more vplivati na spremembo kvalitete in kvantitete termalne vode.

Vodnogospodarsko problematiko, vezano na odvod visokih voda, je študiral za odsek od Krškega do Mokric VGI iz Ljubljane in je usklajena z načrtovanimi energetskimi stopnjami.

4. Predviden način gradnje ter možnosti poenotenja, zamiki in dinamika letnih vlaganj

Glede na možnost pomoči vzvodne elektrarne pri gradnji nizvodne (nizvodnih) stopnje (zapira-

nje gradbene jame, preusmerjanje vode v obtočni kanal in zapiranje odtočnega kanala itd.) je upravičeno pričeti z gradnjo najvzvodnejše stopnje, to je HE Vrhovo, in nadaljevati z gradnjo HE v smeri vode navzdol.

Predvideva se, da se bosta HE Vrhovo in HE Blanca gradili v eni gradbeni jami zunaj korita reke, ostale stopnje tudi v eni gradbeni jami, vendar v koritu Save (z obtočnim kanalom) razen HE Brestanica, kjer bo potrebna gradnja v dveh gradbenih jamah (v koritu). Pri tem je potrebno pripomniti, da naj bi gradnja potekala kontinuirano, pri čemer pomeni kontinuirana gradnja optimalen zamik 1—1,5 leta pri gradnji naslednje stopnje oziroma skrajna meja 3 leta, ki do določene mere zagotavlja kontinuiteto. Elektroinštitut Milana Vidmarja je izdelal študijo Ocena okvirnih možnosti graditve HE na Savi in Muri, v kateri obravnava 1, 2 in 3 letni zamik gradnje naslednje stopnje in potrebno dinamiko letnih investicijskih vlaganj. Iz študije je razvidno, da bi bila potrebna sredstva pri optimalnem zamiku gradnje za 1 leto velikostnega reda $5-6 \times 10^9$ din. Veriga sedmih elektrarn bi bila končana v roku 9 let. Tako bi po treh letih in nato vsako naslednje leto pridobili povprečno po 33 MW moči, v končni fazi pa zneso to 227 MW nove moči v sistemu.

Kontinuirana gradnja pomeni tudi večjo stopnjo organiziranosti gradnje (gradbišče, delavsko naselje, transporti, separacija, delavnice, uporaba jeklenih opažev itd.), kar se kaže v določenem odstotku tudi pri zmanjšanju stroškov gradnje.

Drugi dejavnik, ki govori v prid čim hitrejši gradnji pa je možnost poenotenja strojne in elektro opreme ter delno poenotenje gradbenega dela in hidromehanske opreme, kar zopet lahko prispeva k zmanjševanju skupnih stroškov investicije.

5. Stanje projektne dokumentacije

Za He Vrhovo je že izdelan idejni projekt, ki pa bo doživel spremembe predvsem glede na možnosti poenotenja vseh stopenj. Problematika v bazenu je dovolj natančno obdelana tudi kot osnova za PGD. V izdelavi pa je študija prizadetosti infrastrukture za odsek od HE Boštanj do HE Mokric in dokumentacije za pridobitev lokacijskih smeric.

Če želimo v doglednem času pričeti gradnjo verige HE, je nujno potrebno pričeti izdelavo tehnične dokumentacije (skrajšanih idejnih projektov kot podlage za ugotovitev možne stopnje poenotenja projekta ali delov projekta, izdelavi PGD za posamezne stopnje, itd.). Zavedati se moramo, da projekti, narejeni v časovni stiski, niso nikoli najbolj ekonomski in da se čas, porabljen za študije in projekte, v pripravljeni fazi investicije bogato obrestuje v času gradnje in obratovanja.

Veriga HE na Muri

UDK 627.8.036

1. Splošni podatki

Ugodni hidrološki, topografski in geološki pogoji uvrščajo Muro med vodotoke, zelo primerne za energetske izrabo. Na področju SR Slovenije je predvidenih 8 energetskih stopenj s čelno akumulacijo v Apačah, medtem ko je končna akumulacija predvidena v Podturnu, stopnji, ki že pripada SR Hrvaški. Gorvodno slovenske verige so locirane avstrijske hidroelektrarne; tri od njih so na mejnem odseku med Jugoslavijo in Avstrijo; prav tako so na mejnem odseku tudi prve tri slovenske stopnje s HE Apače na čelu.

Prednost verige HE na Muri je poenotenje padcev, zaradi česar sta elektrostrojna in hidromehanska oprema vseh stopenj enaki. Zaradi ravninskega sveta so poenotene tudi vse strojnice in jezovne zgradbe. Razlike, odvisno od lege neprepustne lapornate osnove, nastopajo zato le v temeljih.

Razdelitev stopenj je naslednja:

Stopnja	Hgz v m	Hsp v m	Hb m	Qi m ³ /s	Ni MW	E GWh																				
HE Apače	222,00	214,00	8,00	334,0	22,0	92,0																				
HE Radgona	214,00	206,00	8,00	334,0	22,0	92,0																				
HE Radenci	206,00	198,00	8,00	334,0	22,0	92,0																				
HE Hrastje	198,00	190,00	8,00	334,0	22,0	92,0																				
HE Veržej	190,00	182,00	8,00	334,0	22,0	92,0																				
HE Mota	182,00	174,00	8,00	334,0	22,0 </tr <tr> <td>HE Gibina</td> <td>174,00</td> <td>166,00</td> <td>8,00</td> <td>334,0</td> <td>22,0</td> <td>92,0</td> </tr> <tr> <td>HE Mursko središče</td> <td>166,00</td> <td>158,00</td> <td>8,00</td> <td>334,0</td> <td>22,0</td> <td>92,0</td> </tr> <tr> <td>Vsota</td> <td>222,00</td> <td>158,00</td> <td>64,00</td> <td>334,0</td> <td>176,0</td> <td>746,0</td> </tr>	HE Gibina	174,00	166,00	8,00	334,0	22,0	92,0	HE Mursko središče	166,00	158,00	8,00	334,0	22,0	92,0	Vsota	222,00	158,00	64,00	334,0	176,0	746,0
HE Gibina	174,00	166,00	8,00	334,0	22,0	92,0																				
HE Mursko središče	166,00	158,00	8,00	334,0	22,0	92,0																				
Vsota	222,00	158,00	64,00	334,0	176,0	746,0																				



Slika 1

2. Hidrologija

V vsem odseku Mura ne dobi nobenega omembe vrednega pretoka. Zato se upošteva podatke, veljavne za vodomersko postajo v Petanjcih.

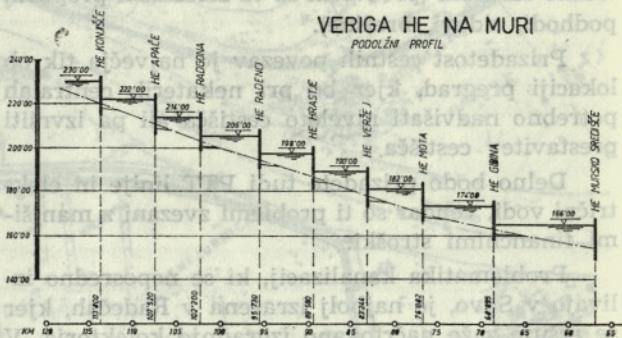
Q 50 %	155 m ³ /sek
sQs	160 m ³ /sek

Avtor: Janko Kovačec, dipl. gr. inž., Inženirski biro Elektroprojekt, Ljubljana

JANKO KOVAČEC

VERIGA HE NA MURI

PODOLŽNI PROFIL



Slika 2

vQv	1780 m ³ /sek
nQn	42 m ³ /sek
F	10.421 km ²
J	1.100 mm
C	0,44

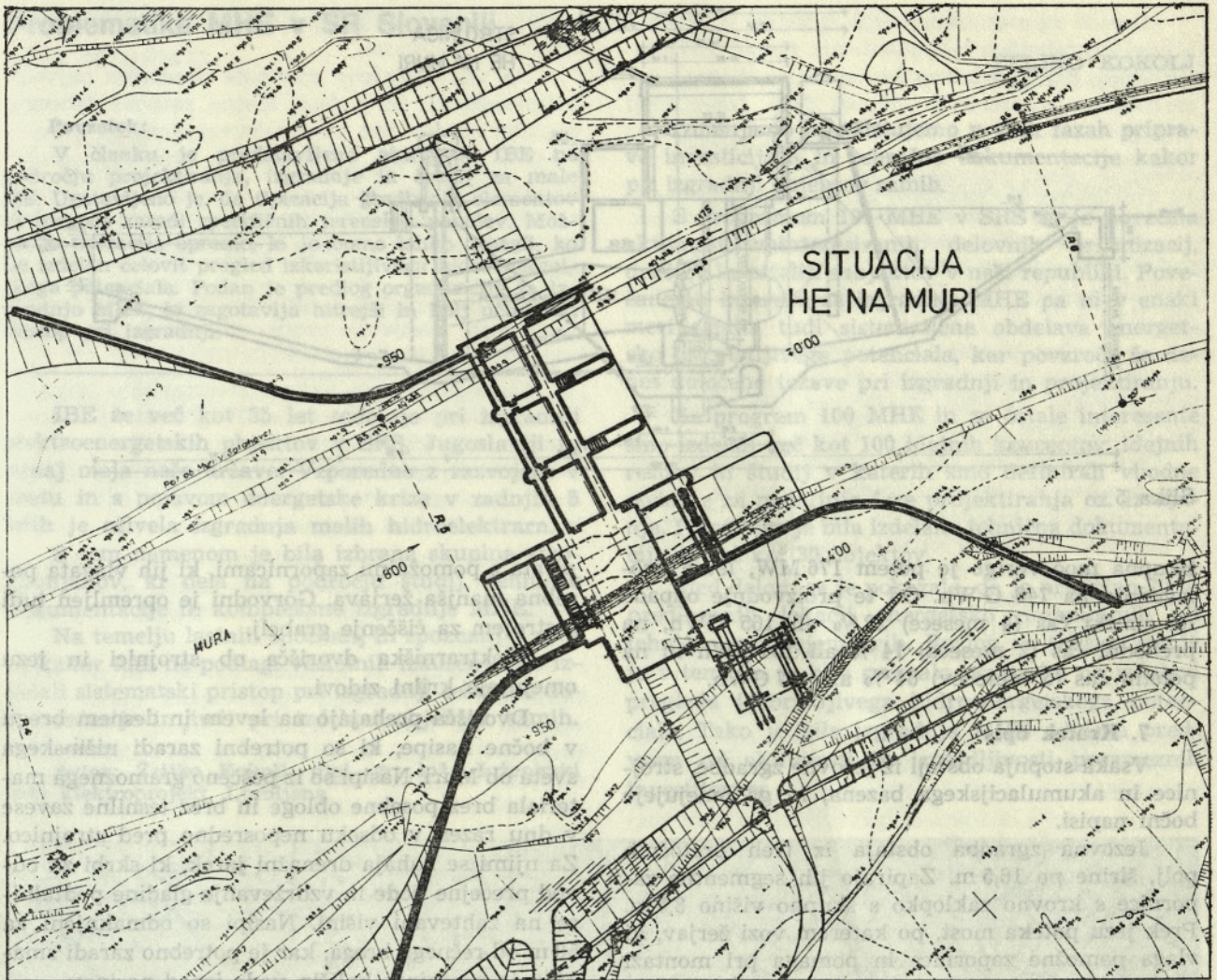
Mura je vodotok z zelo izravnanimi pretoki. V zimskem času nastopajo izrazito nizke vode, v pozni pomladi in zgodnjem poletju izrazito visoke vode, v ostalem času so pretoki približno enaki srednjim. Sekundarne konice visokih in nizkih vod so relativno zelo redke.

3. Geologija

Mura v območju verige hidroelektrarn teče po ravninskem svetu, ki pripada obrobju Panonskega morja. Debelina aluvialnih naplavin je v povprečju 6–15 m; med Veržejem in Gibino je izrazit jarek, kjer znaša debelina nanosa do 35 m. Pod peščeno-prodnatimi naplavinami ležijo plasti laporjev, katerih debelina ni ugotovljena, vendar znaša prognostično 1000–3000 m. Osnovo tvorijo metamorfne, deloma vulkanske hribine, ki pripadajo najstarejšim geološkim formacijam (tudi kambriju). Ta stara osnova ni doživela v vsej geološki zgodovini večjih sprememb in je zato tudi potresna nevarnost majhna.

4. Topografija

Sama geografska razdelitev naselij, komunikacij in kultur narekuje izbrano razdelitev odseka na osem enakih stopenj. Možne bi bile sicer tudi kanalske variante z manjšim številom višjih stopenj, ki pa iz ekoloških, urbanističnih in poljedelskih ozirav ne pridejo v poštev. V obravnavanem odseku je le eno večje, strnjeno mestno naselje — Radgona na jugoslovanski in avstrijski strani, sicer pa ni nikjer v neposredni bližini nobenega naselja.



Slika 3



Slika 4

5. Varstvo narave

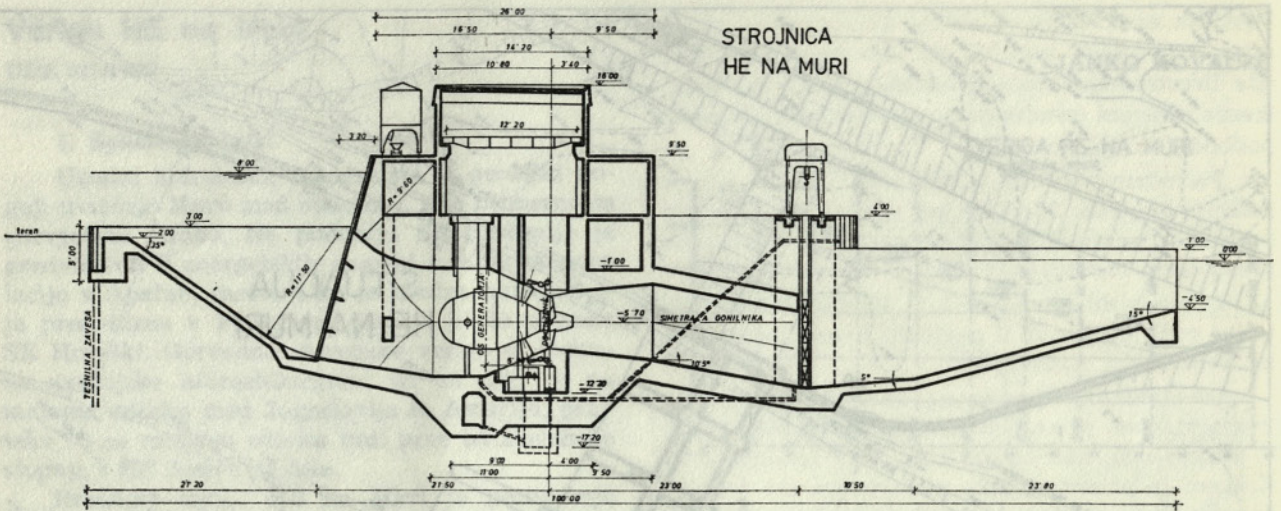
Zelo občutljivo vprašanje vplivov na okolje pri reki Muri ni toliko pereče kot pri večini drugih vodotokov. Majhni padci predvidenih stopenj so v naravi skoro neopazni, projekt pa upošteva, da se mora ohraniti današnji videz obmurskih logov, raznih mrtvic in rokavov zaradi specifičnega rastlinskega in živalskega sveta v njih. Preprečuje pa vse današnje poplave, čeprav se s tem pospešuje propagacija visokovodnih valov, ki pa so ujeti v

bočne nasipe. Omogočeno je namakanje in melioracije velikih površin sicer plodne zemlje, če varstvo narave ne bo zahtevalo ohranitve današnjega zamočvirjenega stanja. Z ustreznimi ukrepi bo podtalnica ostala na današnji višini. Strogi varstveni ukrepi so predvideni za zaščito mineralnih vrelcev v Radencih. Tudi ne bo dopuščeno onesnaževanje vode z komunalnimi in industrijskimi odpadkami.

6. Energetika

V Inštitutu Milana Vidmarja so bile izdelane obsežne študije, ki so določile robne pogoje za energetske izrabo Mure. Tako je določen instaliran pretok v višini dvakratnega srednjega letnega pretoka, čelna akumulacija je dimenzionirana za primer, da mora veriga obratovati s polno močjo vsaj 4 ure dnevno tudi pri minimalnem dotoku reke (42 m³/sek); iz tega sledi pogoj, da mora znašati koristna vsebina akumulacije 3 milijone m³.

Navedeno je že bilo, da znaša moč vsake stopnje 22,0 MW, njena letna proizvodnja pa 92 GWh.



Slika 5

Skupna moč verige je potem 176 MW, letna proizvodnja pa 746 GWh. Od te proizvodnje odpade na zimski čas (4 mesece) 22 % ali 165 GWh, na prehodni čas (2 meseca) 14 % ali 104 GWh in na poletni čas (6 mesecev) 64 % ali 477 GWh.

7. Kratek opis

Vsaka stopnja obstoji iz jezovne zgradbe, strojnice in akumulacijskega bazena, ki ga omejujejo bočni nasipi.

Jezovna zgradba obstaja iz treh pretočnih polj, širine po 16,5 m. Zapirajo jih segmentne zapornice s krovno zaklopko s skupno višino 8,5 m. Prek jezov poteka most, po katerem vozi žerjav, ki vlaga pomožne zapornice in pomaga pri montaži opreme. Zapornice so na hidravlični pogon, ki je posluževan s prostora v strojnici.

Strojnica je polvisoke izvedbe. V njej sta dva cevna agregata na horizontalni osi. Vsi pogonsko-obračevalni prostori so nameščeni v eni etaži na gorvodni strani in v dveh etažah na dolvodni strani strojnične dvorane. Montažna dvorana s pomožnimi prostori je v prizidku strojnice. V strojnici ni posebnega komandnega prostora, ker je brez posadke in je elektrarna daljinsko vodena iz centra upravljanja v Mariboru.

Vse Transporte in montažo opreme opravlja glavni mostni žerjav. Pristop v strojnico je s spodnjega elektrarniškega dvorišča, na katerem je tudi 110 kV stikališče. Vtoka in iztoka turbine se za-

pirata s pomožnimi zapornicami, ki jih vlagata posebna manjša žerjava. Gorvodni je opremljen tudi s strojem za čiščenje gabelj.

Elektrarniška dvorišča ob strojnici in jezov omejujejo krilni zidovi.

Dvorišča prehajajo na levem in desnem bregu v bočne nasipe, ki so potrebni zaradi nižinskega sveta ob Muri. Nasipi so iz peščeno gramoznega materiala brez posebne obloge in brez tesnilne zavese v dnu razen v odseku neposredno pred strojnico. Za njimi se nahaja drenažni jarek, ki skrbi za odvod precejne vode in vzdrževanje gladine podtalnice na zahtevani višini. Nasipi so odmaknjeni za 50 m od rečnega brega, kar je potrebno zaradi zmanjšanje precejnih količin vode izpod nasipov.

8. Sklep

Ni naključje, da se govori o enotni izgradnji savsko-murske verige hidroelektraren. Tudi na Savi je predvidenih 7 stopenj s skoro enakim padcem, le namesto dveh strojev so predvideni trije v vsaki strojnici, ker je savski pretok za tretjino večji od murskega. Tako je 15 hidroelektrarn opremljenih s povsem enako elektrostrojno opremo, enaki so tudi žerjavi in hidromehanska oprema na strojnicah. Prav tako so v gradbenem pogledu strojnice zgrajene iz enakih tipskih elementov. Žal tako pomenjenje ni mogoče tudi pri jezovnih zgradbah, ker to preprečujejo terenske razmere.

Problematika MHE v SR Sloveniji

ŽELJKO KOKOLJ

Povzetek:

V članku je predstavljena aktivnost IBE na področju projektiranja, izgradnje in študij za male HE. Ugotovljeno je, da tipizacija gradbenih elementov ni mogoča zaradi specifičnih terenskih pogojev. Možna je tipizacija opreme, ki jo bomo lahko dosegli, ko bo izdelan celovit pregled izkoristljivega hidroenergetskega potenciala. Podan je predlog organizacije za izgradnjo MHE, ki zagotavlja hitrejši in bolj učinkovit nastop pri izgradnji.

IBE že več kot 35 let sodeluje pri izgradnji elektroenergetskih objektov v SRS, Jugoslaviji in zunaj meja naše države. Vzporedno z razvojem v svetu in s pojavom energetske krize v zadnjih 5 letih je oživela izgradnja malih hidroelektrarn.

S tem namenom je bila izbrana skupina strokovnjakov, ki dela na področju študij, tehnične dokumentacije in kompleksne izgradnje MHE.

Na temelju lastnih spoznanj in spoznanj v svetu kakor tudi na podlagi večletnih izkušenj smo izdelali sistematski pristop pri izgradnji tehnične dokumentacije in tudi pri izdelavi objektov samih.

Avtor: Željko Kokolj, dipl. gr. inž., Inženirski biro Elektroprojekt, Ljubljana

Izdelujemo in sodelujemo v vseh fazah priprave investicijske in tehnične dokumentacije kakor pri izgradnji objektov samih.

S programom 100 MHE v SRS se je povečala aktivnost zainteresiranih delovnih organizacij, društev in ostalih subjektov v naši republici. Povečanemu interesu za izgradnjo MHE pa ni v enaki meri sledila tudi sistematična obdelava energetskega izkoristljivega potenciala, kar povzroča še danes določene težave pri izgradnji in projektiranju.

Za program 100 MHE in za ostale interesente smo izdelali več kot 100 idejnih konceptov, idejnih rešitev in študij v katerih smo definirali vhodne podatke za nadaljnje faze projektiranja oz. izvajanja. Poleg tega je bila izdelana tehnična dokumentacija za več kot 30 objektov.

Med delom se je pokazalo, da je približno 70 % predlaganih lokacij energetskega nezanimivih ali tehnično nesprejemljivih. Razlog za takšno stanje je v tem, da je bilo premalo poudarka na izdelavi pregleda izkoristljivega hidroenergetskega potenciala. Tako je bila izgradnja MHE odvisna predvsem od aktivnosti in iznajdljivosti posameznih investitorjev.



Zaradi zgoraj omenjenega smo se vzporedno z izdelavo tehnične dokumentacije za 100 MHE lotili sistematične izdelave bruto izkoristljivega potenciala po posameznih občinah SRS. Investitorji te dejavnosti so bili občinski SIS za raziskovalno dejavnost.

Vsebina take študije je:

- bruto in neto izkoristljivi potencial
- možna letna proizvodnja energije
- popis obstoječih vodnih naprav
- tehnična zasnova posameznih objektov na vodotoku in ocena investicije

— predlog lokacij s prioriteto listo izgradnje.

Do danes smo izdelali študijo za naslednje občine: Trzič, Jesenice, Kranj, Domžale, Ljubljanske občine, Krško Trebnje in Ravne.

Pri izdelavi teh študij moramo poudariti, da smo posebno pozornost posvetili enotnemu pristopu in enotnim kriterijem za vse občine. Tako se je izoblikoval predlog lokacij, ki so tehnično izvedljive in energetske zanimive za posamezne investitorje. Na podlagi zbranih podatkov bomo lahko posredovali kriterije, ki bodo definirali tip in izbor opreme in približno oceno števila posameznih agregatov.

V programu 100 MHE je bila večina objektov derivacijskega tipa s pretočnim načinom obratovanja. Zato so se razvile posamezne oblike gradbenih elementov, ki se v osnovi lahko poenotijo (zajetja, derivacije, strojnice), prav tako pa tudi pripadajoča elektrostrojna in hidromehanska oprema. Pri tem se moramo zavedati, da tipizacija gradbenih elementov v smislu znižanja stroškov izgradnje ni mogoča, ker se mora hidrotehnična zasnova vsake elektrarne obravnavati kot posamezna tehnološka celota.

Zajetja ne moremo tipizirati zaradi specifičnih pogojev na terenu. Posebno pozornost je potrebno posvetiti derivaciji. Pri pravilni izbiri derivacijskega sistema so lahko veliki prihranki, ki pa so odvisni predvsem od kvalitete potrebnih podlog. Cevovodi pod pritiskom predstavljajo največkrat največjo stroškovno postavko pri izgradnji MHE, zato moramo posebno pozornost posvetiti izboru cevi in predvideti zaščitne mere pred hidravličnim udarom. To dosežemo z ustreznimi konstruktivnimi rešitvami (vodostani) oz. z ustreznim obratovanjem turbin. Strojnice je mogoče v določenih primerih zasnovati s tipiziranimi rešitvami, vendar ostaja temeljenje objekta, zaščita pred visoko vodo, od-

vodnjevanje vode, pristop in ureditev platoja z netipičnimi rešitvami.

Za vse omenjene elemente dosežemo največji prihranek, če se v času idejne zasnove izberejo pravilni hidravlično konstruktivni elementi in upoštevajo hidrološke, geodetske in inženirsko-geološke predloge.

Pri izgradnji MHE nastopajo vse aktivnosti kot pri večjih HE, s tem da je obseg aktivnosti bistveno manjši.

Osnovni elementi (pripravljalna dela in projektiranje, izvajanje gradbenih del in montaža) ostajajo enaki kot pri velikih HE.

Najodgovornejšo nalogo predstavljajo pripravljala dela in projektiranje. Pri dosedanjih izkušnjah se največkrat srečujemo z lokacijami, ki nimajo dovolj poznanih vhodnih podatkov (hidrologija, geologija). Pravilnost zasnove je odvisna tako od izkušenosti projektantov.

Obseg izvajanja gradbenih del ne zahteva večjih in specializiranih izvajalskih organizacij, ampak so to v večini primerov lokalne gradbene organizacije.

Proizvodnjo in montažo opreme so do sedaj opravljali specializirani proizvajalci opreme. Ta oprema ne zahteva najbolj zahtevnih tehničnih prijemov in zato se bo krog proizvajalcev v bodočnosti verjetno razširil. Izkoristki pri opremi so za MHE lahko tudi nižji kakor pri opremi za večje HE, saj vemo, da je vhodni podatek za hidrologijo v večini primerov negotov.

Investitorji so večinoma nezadostno kadrovske opremljeni in je neracionalno, da se formirajo strokovne skupine v okviru investitorske organizacije. Po našem mnenju je pravilna rešitev, da se organizacijo projektiranja in izgradnje zaupa podjetju, ki ima primerne strokovne profile in izkušnje.

Klasična porazdelitev na projektante, izvajalce, dobavitelje opreme in montažerje ne predstavlja celostne rešitve. Zavedati se moramo, da obsežna tehnična problematika zahteva večji obseg izgradnje, dobave in montaže opreme in hkrati strokovno vodenje, kar predstavlja obliko razširjenega inženiringa. To odgovornost v razvitejših deželah prevzemajo inženiring organizacije, ki so specializirane na področju hidroenergetskih objektov, ker obvladujejo tehnično problematiko in razpolagajo s potrebnimi strokovnimi profili. Prav bi bilo, da bi bilo tako tudi pri nas.

Reševanje geološko-geotehnične problematike pri gradnji HE Solkan

UDK 627.8:624.13

SAVO JANEŽIČ
BRANKO BATISTIČ

Povzetek

Izkušnje pri izvajanju globokih izkopnih del v prepereli in tektonsko močno poškodovani hribini so pokazale, da je uporaba prednapetih sider najhitreje izvedljiv in v specifičnih primerih tudi najcenejši ukrep za začasno zavarovanje stabilnosti izkopnih površin in varnosti delovnega mesta. Prav tako se je pokazala uporaba trajnih sider (dvojna antikorozijska zaščita) pri objektih zavarovanj pobočij s trajno funkcijo kot ekonomičnejša rešitev, večkrat praktično tudi edino možno izvedljiva. Težnostni zidovi, ki so ob upoštevanju seizmičnih pogojev mnogo večjih dimenzij od sidranih obložnih zidov, so bili izvedeni le na odsekih, kjer je prostor dovoljeval izvedbo izkopov ustreznih dimenzij in izkopnih površin v nagibu, ki je dovoljeval samo gradnjo.

1. Splošno

Hidroelektrarna Solkan je najnižja stopnja sistema na Soči, ki bo izrabljala praktično ves preostali del uporabnega padca od iztoka HE Plave pa do jugoslovansko-italijanske meje. Do leta 1940 sta bili zgrajeni dve deviacijski stopnji HE Doblar in HE Plave. V mnogih študijah v povojnih letih je bila tudi na zadnjem odseku predvidena derivacija v strojnico blizu državne meje. Raziskovalna dela ter ekonomske analize so pokazale, da je rečni tip elektrarne na lokaciji ca. 700 m vzvodno od solkanskega mostu najugodnejša varianta kljub izgubi padca do državne meje. Rečna stopnja z lokacijo neposredno pred mejo pa bi zahtevala izdelavo injekcijske zavese prek cele solkanske terase; prav tako bi bili potopljeni temelji železniškega solkanskega mostu.

He Solkan je v fazi zaključnih del in ima naslednje karakteristične podatke:

— instalirani pretok	$Q_i = 3 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$
— instalirana moč	$P_i = 31,2 \text{ MW}$
— bruto padec	$H_b = 20 \text{ m}$
— letna proizvodnja	$W = 136 \text{ GWh}$

2. Geologija in geomorfologija

Geološka raziskovalna dela za osnovni projekt hidroelektrarne so se začela že leta 1960. V profilu pregrade in v podaljšku osi so bile izvrtane tudi geološke vrtine v območju celotnega akumulacijskega bazena pa je bila izdelana detajlna geološka karta.

Pregrada je v ozki dolini Soče v bližini kamnoloma. Spodnji deli dolinskih pobočij so prekriti z gruščem in ostanki starih soških teras. Celotna de-

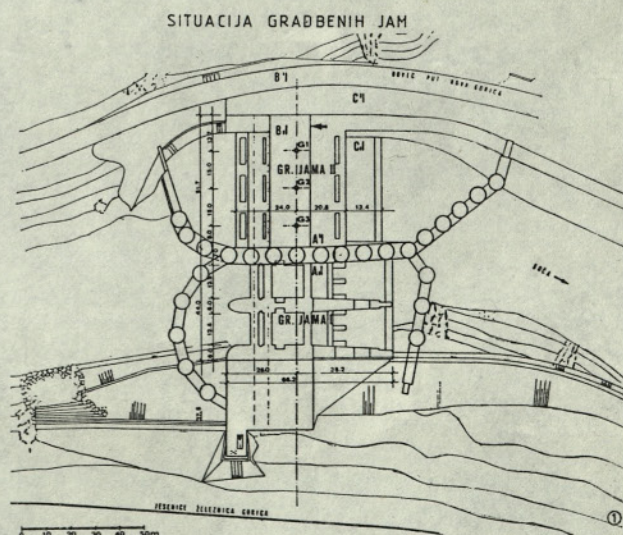
Summary

The experience in performing deep excavation work in weathered and tectonically damaged rock has shown the prestressed anchors to be a speedy and in special cases even the most economical temporary protective measure for steep excavation rock surfaces and safety at work. The application of permanent anchors (double corrosion protection) as a final protective measure has also shown to be the most favourable and very often practically the only feasible solution. Due to much larger sizes, the gravity walls were only used in sections where the available space allowed the excavation work of appropriate dimensions and excavation surface slope to be carried out.

belina teh plasti je v območju pregrade na levem bregu 5—10 m, na desnem bregu, kjer so soške terase bolj ohranjene, pa so pleistocenske prodne in konglomeratne naplavine debele tudi do 20 m. Širše območje pregrade sestoji iz plastovitih krednih apnencev, katerih plasti so debele nekaj cm do 1 m. Tankoplastoviti apnenec je povečini bituminozen in ponekod prehaja v lapornati skrilavec. Debeloplastoviti apnenec pa je sive barve. Plasti so usmerjenje od vzhoda proti zahodu in sekajo smer toka Soče pod kotom 40°.

Magistralna cesta na levem in železnica na desnem bregu, katerih terasa poteka 25 oz. 30 m nad normalno gladino Soče, sta delno vsevani v apnenec.

Ker so že geološka kartiranja pokazala, da je osnovna hribina znatno tektonsko poškodovana in mestoma tudi karstificirana, je bila preiskavam prepustnosti posvečena posebna pozornost.



Slika 1

Avtorja: Savo, Janežič dipl. gr. inž. in Branko Batistič, dipl. gr. inž., Inženirski biro Elektroprojekt, Ljubljana

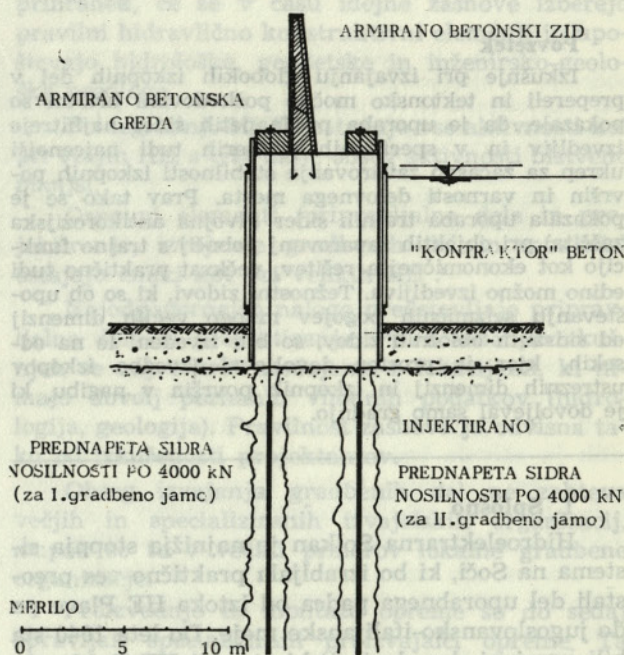
Prepustnost kvartarnih naplavin ni bila kritična, ker so bile v profilu pregrade odstranjene ali kasneje zatesnjene.

Prepustnost apnencev je bila raziskana v vrtinah z vodnim pritiskom po metodi, ki jo je izdelal Lugeon. (Enota 1 Lugeon je enaka izgubi 1 l vode na 1 m dolgem odseku vrtnice pri pritisku 10 at = 100 kPa). Tako je bilo ugotovljeno, da je najbolj preperel in razpokan apnenec, ki leži neposredno pod kvartarnimi naplavinami. V tej prepustni coni povečini ni bilo mogoče doseči predvidenega pritiska 10 at zaradi prevelikih vodnih izgub. Tudi v večjih globinah, kjer je vrtnica presekala večjo odprto razpoko ali kraški kanal, so bile ugotovljene velike prepustnosti za vodo (prek 100 l/min/m). Koeficient prepustnosti tako niha od $5 \cdot 10^{-4}$ do $5 \cdot 10^{-3}$ cm/s, v območjih zakraselega apnenca pa ga ni bilo mogoče določiti.

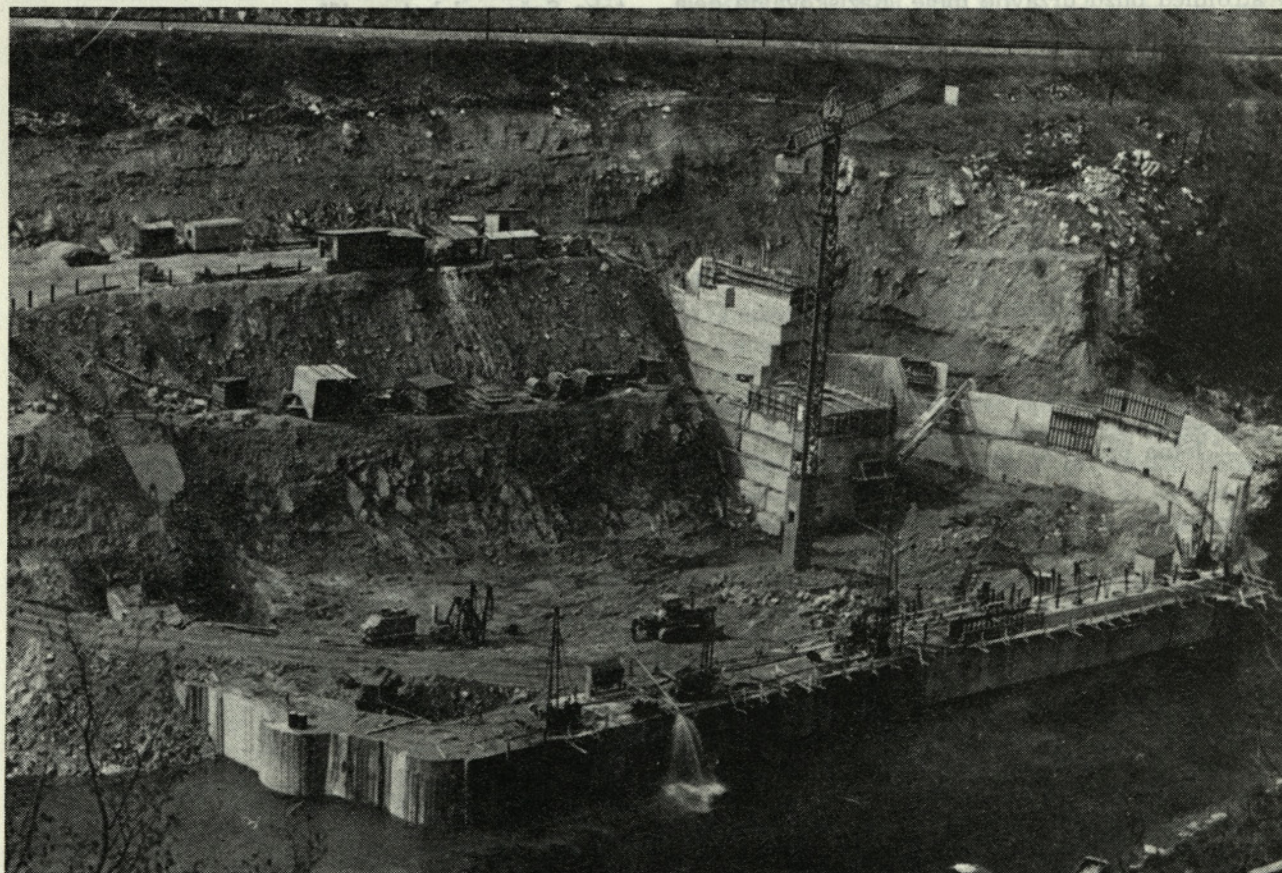
3. Zapiranje I. gradbene jame

Prvotno predvidena izgradnja obtočnega kanala, ki bi rabil za evakuacijo do $400 \text{ m}^3/\text{s}$ v času del pri zapiranju desnoobrežne gradbene jame, je bila kasneje zaradi izjemno omejenega prostora in nezanesljivosti opuščena. Pogostost nastopanj pretokov, večjih od $400 \text{ m}^3/\text{s}$, je zaradi hudourniškega značaja

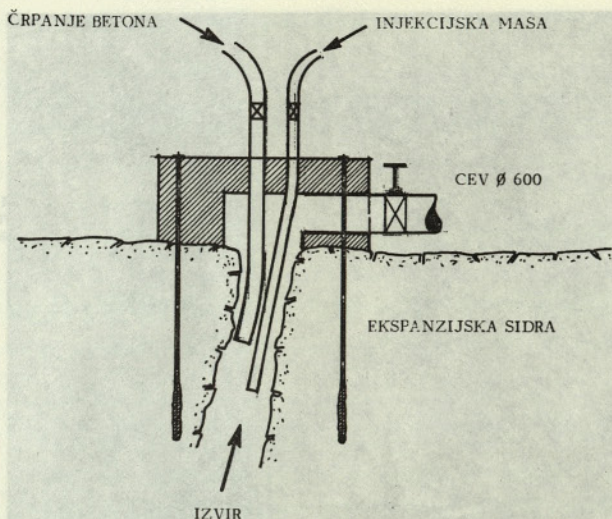
PREREZ ZAGATNE STENE A-A



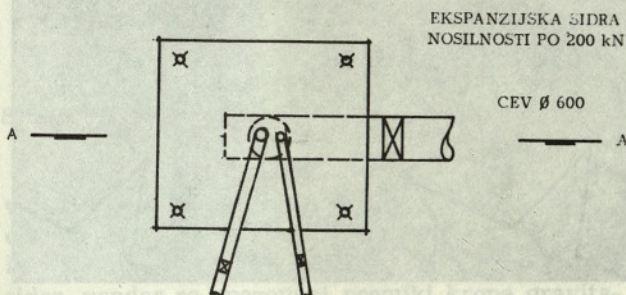
Slika 2



Slika 3



Slika 4



Slika 5

Soče velika, ($Q_{1000\text{ let}} = 3000\text{ m}^3/\text{s}$) zato je bila izbrana tehnologija, ki omogoča izgradnjo gradbenih jam brez preusmeritve vodnega toka (sl. 1). V prvi fazi so bili zgrajeni gravitacijski priključni zidovi. Ostali del zagatne stene prve gradbene jame, v kateri so se gradila pretočna polja, pa je bil grajen tako, da so se na dobro očiščeno podlago v sami strugi Soče najprej betonirali betonski vodnjaki premera 6,0 m, vmesni prostori enake širine pa so se betonirali kasneje (sl. 2). Nadvišanjetako izdelanega spodnjega dela zagatne stene je bilo izvedeno z armiranobetonskim tankim zidom. Stabilnost pri obremenitvi z maksimalnim hidrostatičnim pritiskom je bila zagotovljena s prednapetimi sidri nosilnosti 4000 kN na 1,2–1,5 m (sl. 3). V srednjem delu je bilo sidrajne izvedeno z obeh strani glede na to, da je ta del zagatne stene uporabljen pri obeh gradbenih jamah.

Glede na to, da je funkcija teh sider samo začasna, je bila izvedena le enojna antikorozijska zaščita s cementno injekcijsko maso, ki je istočasno rabila tudi kot konsolidacijsko injektiranje skalne osnove do globine 12,0 m izpod temeljne površine zagatne stene. Izkopna dela v prvi gradbeni jami so v glavnem potrdila rezultate raziskav, v posameznih odsekih in tudi različnih globinah pa se je naletelo na tektonsko močno poškodovane apnen-

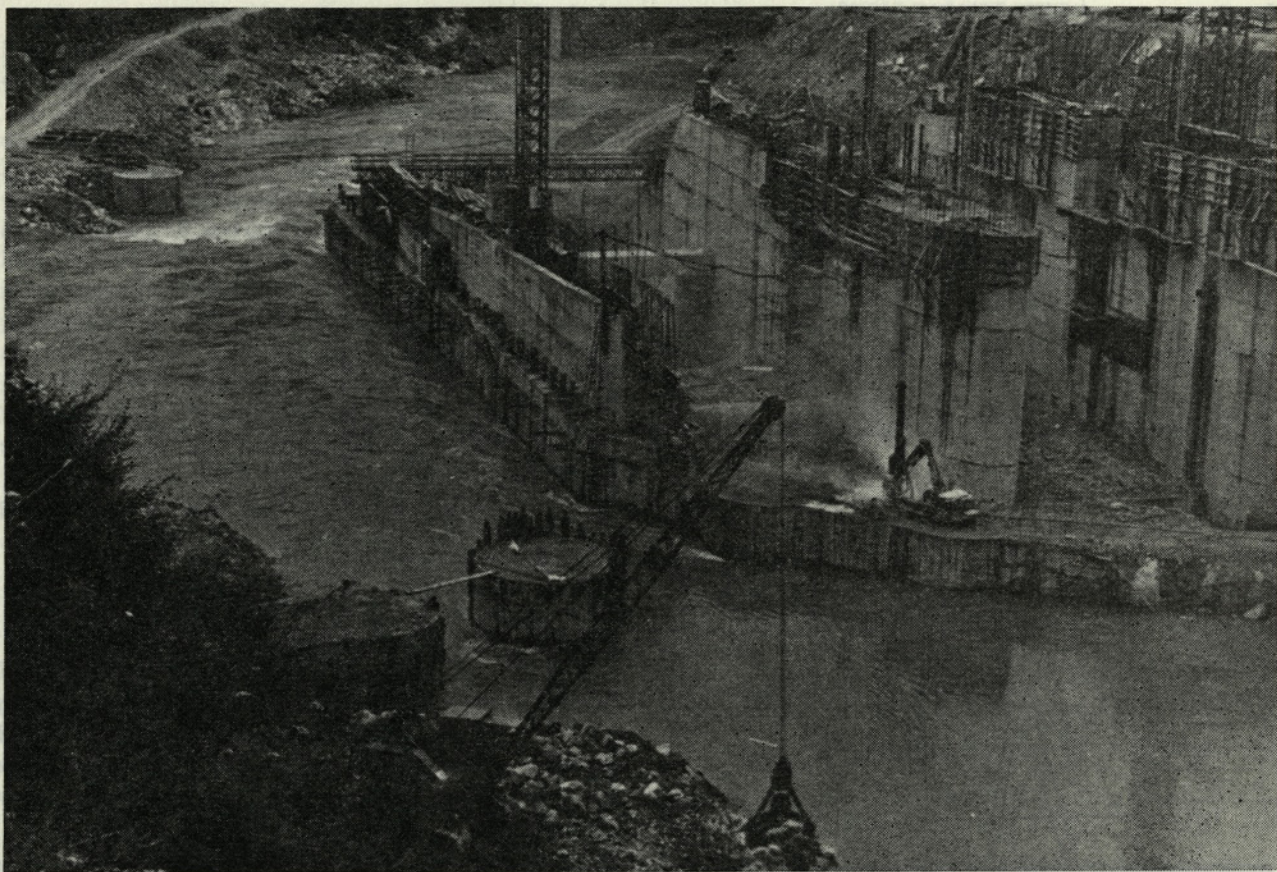
ce, katerih karakteristike so se približale karakteristikam nevezanih materialov. Z napredovanjem izkopnih del in večjo globino pa so postajali vse izrazitejši tudi izviri, ki so dovajali v gradbeno jamo deloma soško vodo deloma pa zaledno vodo z obeh bregov Soče. Na koti projektiranega nivoja temeljev prelivnega objekta je bila presekana pot močnemu kraškemu toku, katerega dotok je skupaj z ostalimi izviri presegel sposobnost črpalk, s katerimi se je izčrpavala voda iz gradbene jame. Za nemoteno nadaljevanje del je bilo zato nujno vsaj delno zatesniti ta kraški izvir. V ustje izvira je bila vgrajena jeklena cev $\phi 600\text{ mm}$, opremljena z zasunom, ki je začasno odvajala celotno vodno količino. Globoko v kraški kanal sta bila nameščena dva cevna priključka na betonsko črpalko in na injektor cementne mase.

Po zaprtju ventila na vodovodni cevi se je istočasno pričelo neprekinjeno injektiranje in betoniranje kraškega kanala (sl. 4 in 5). Izdanost izvira se je po uporabi ca. 15 m^3 betona zmanjšala od prvotnih ca. 360 l/s na ca. 120 l/s . Tako je bilo možno nemoteno pripraviti temeljno površino pretočnih polj, ki pa je bila na nekaterih odsekih kljub globini 6–8 m pod dnom korita Soče, slabše od zahtevane. Na teh odsekih so bile plasti tektonsko poškodovanega apnenca pomešanega z glino odstranjene ter nadomeščene z betonom.

4. Zavarovanje desnega brega vzvodno in nizvodno od pretočnih polj

S pričetkom gradnje pretočnih polj v prvi gradbeni jami so se pričela tudi izkopna dela za izgradnjo objektov zavarovanj pobočij na desnem bregu. Kljub omejenemu prostoru je bil na vzvodnem desnem bregu izdelan gravitacijski oporni zid temeljen na kompaktnem apnencu. Na stabilnost strmih izkopnih površin v aluvijalnem površinskem materialu je imel zelo ugoden vpliv sloj konglomerata debeline 2–3 m, ki se pojavlja kot vložek v sicer nevezanem terasnem materialu. Krona gravitacijskega opornega zidu na višini spodnjega roba konglomeratnega sloja predstavlja temelj zavarovanja zgornjega dela pobočija do kote normalne zgradbe. Ta del je ob prelivnem objektu zavarovan s težko betonsko oblogo, ki vzvodno preide v zavarovanje s »PALVIS« žičnimi košarami.

Nekoliko večji odmik trase železnice nizvodno od pretočnih polj je dovoljeval izvedbo delovnega platoja z betonarno in deponijami agregata. Pomankanje prostora ni dovoljevalo izgradnje gravitacijskega zidu za zaščito zidu nizvodno od preliva Ker je bila zaščita zaradi tektonsko močno poškodovane hribine nujna, smo predvideli tanek obložni zid višine ca. 10 m, sidran s trajnimi prednapetimi sidri dolžine do 13 m z nosilnostjo po 160 kN in 480 kN. Račun stabilnosti tega 140 m dolgega obloženega zidu je bil izdelan z enakimi parametri in seizmični vplivi kot ostali objekti HE Solkan.



Slika 6

V fazi izkopov so se pojavljali manjši izvori vode, ki je pronicala iz zalednja skozi razpoke, delno zapolnjene z glino. Zato je bila izvedena drenaža, ki preprečuje dodatne pritiske zaledne vode. Ker izvedba klasičnega drenažnega sistema ni bila mogoča, je bil uporabljen »politlak« — drenažna sintetična tkanina, ki istočasno opravlja funkcijo filtra, ki preprečuje izpiranje materiala. Tako drenira voda iz zalednja kakor tudi voda, ki se filtrira v zaledje ob nihanju gladine Soče, se odvaja skozi odprtine v obložnem zidu.

5. Izgradnja II. gradbene jame na levem bregu Soče

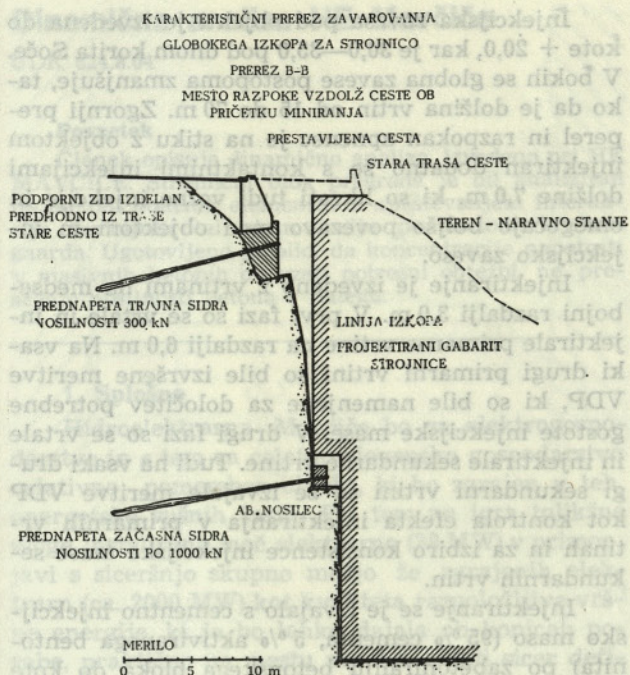
V času, ko so bili stebri pretočnih polj v I. gradbeni jami zabetonirani do višne, kjer nadaljnje gradnje ne bi ogrožal nastop visoke vode, se je pričelo z izgradnjo vzvodnega in nizvodnega dela II gradbene jame (sl. 6). Izgradnja je potekala na isti način kot pri I. gradbeni jami. Betonski vodnjaki so se betonirali na očiščeno skalno podlago, vmesni deli pa so se betonirali šele po rušenju vzvodnega in nizvodnega dela zagata I. gradbene jame, ko so pretočna polja lahko prevajala celotno vodno množino.

Odločitev, da se v strojnici vgradijo trije agregati požiralnosti po $60 \text{ m}^3/\text{s}$ in ne dva, kot je bilo

prvotno predvideno, je povzročila tudi ca. 15,0 m daljšo strojnico. Tako je gabarit nove strojnice segel v profil stare magistralne ceste, ki je bila predhodno preložena v profilu pregrade za širino vozišča v breg. Zavarovanje trase te ceste, ki je samo na polovici širine temeljena na kompaktni skali, je bil prvi pogoj za začetek izkopnih del. Zato je bil rob prestavljene ceste zaščiten z gravitacijskim zidom višine do 5 m fundiranim na skalno podlago.

Po izkopu nevezanega materiala vzdolž zidu se je pričelo z izkopom v skali za zgradbo strojnice. V nekaterih odsekih se je pod temelji zidu naletelo na sloj močno razpokane hribine.

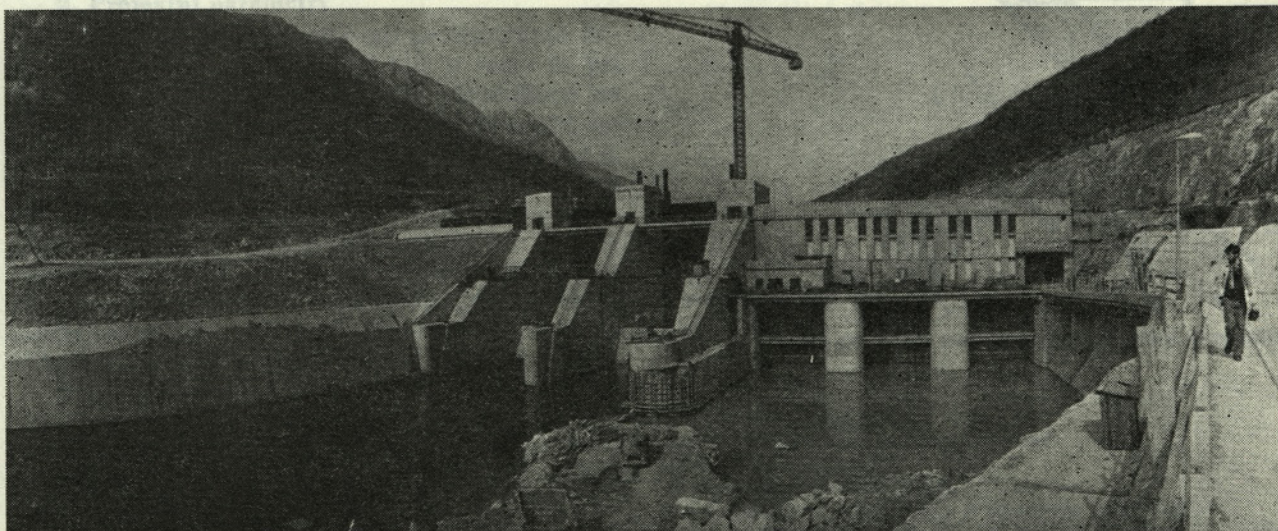
Pri močnejšemu masovnemu miniranju se je pojavila na sredini vozišča vzgolž zidu ca. 1 cm široka razpoka približno na mestu, kjer temeljna tla cestnega telesa prehajajo iz kompaktnega apnenca, ki se skokovito spušča proti koritu Soče, v področje prodnih, z glino in posameznimi samicami pomešanih zemljin. Organizirana je bila stalna precizna geodetska kontrola deformacij hribine na širšem področju izkopnih del za strojnico. Ugotovitev, da vzdolžni gravitacijski zid ni temeljen na kvalitetni podlogi, je zahtevala takojšnje sanacijske posege. Zaradi pomanjkanja prostora so bila v podkopih zabetonirana štiri armiranobetonska rebra z



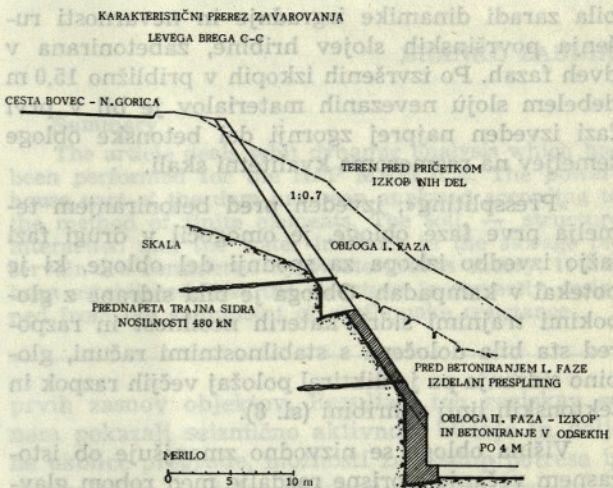
Slika 7

vertikalnimi čelnimi površinami, ki so vertikalne obremenitve prenašala na kompaktno skalo. Problem stabilnosti pa je bil rešen z vgradnjo začasnih sider, vendar so opazovani premiki krone gravitacijskega zidu prenehali šele z občutnim zmanjšanjem količine eksploziva, aktiviranem v časovnem intervalu. (sl. 7)

Tektonska porušenost hribine in z glino izpolnjene razpoke v preperelem apnencu na območju natočnega zidu so ogrožali izvajanje izkopnih del. Zato je bila izkopna površina višine 20 m na tem območju predhodno zavarovana s plitvimi sidri



Slika 9



Slika 8

nosilnosti 160 kN v razporedu, ki se je določal na kraju samem.

V območju najglobljšega izkopa za strojnico in nizvodno je skalna podloga kvalitetnejša, vendar se istočasno debelina terasnega materiala občutno povečuje. V območju same strojnice je bilo ob že delno izvršenih izkopih ugotovljeno, da obstaja nevarnost lokalnih zdrsov skalne mase. Zato je bila na višini ca. 12,0 m nad predvideno temeljno ploskvijo strojnice zabetoniran masiven armiranobetonski nosilec, sidran z nizom globokih sider nosilnosti po 1000 kN. Nosilec je imel tudi funkcijo lovilnega odra, in je varoval globlji del gradbene jame pred padajočim kamenjem.

Pobočje nizvodno od strojnice je zavarovano s težko betonsko oblogo, ki jo prekinjajo nosilni stebri mostu dostopne ceste. Obloga, v območju iztočnega objekta visoka 30 m z nagibom 1 : 0,7, je

bila zaradi dinamike izgradnje in nevarnosti rušenja površinskih slojev hribine, zabetonirana v dveh fazah. Po izvršenih izkopih v približno 15,0 m debelem sloju nevezanih materialov je bil v prvi fazi izveden najprej zgornji del betonske obloge temeljev na razmeroma kvalitetni skali.

»Presspliting«, izveden pred betoniranjem temelja prve faze obloge, je omogočil v drugi fazi lažjo izvedbo izkopa za spodnji del obloge, ki je potekal v kampadah. Obloga je bila sidrana z globokimi trajnimi sidri, katerih nosilnost in razpored sta bila določena s stabilnostnimi računi, globino sidranja pa je diktiral položaj večjih razpok in tektonskih linij v hribini (sl. 8).

Višina obloge se nizvodno zmanjšuje ob istovremnem večanju tlorisne razdalje med robom glavne ceste in regulacijsko linijo Soče. S tem je težka obloga kmalu prešla v objekt, ki je zadovoljil pogojem stabilnosti tudi brez uporabe prednapetih sider.

6. Injekcijska zavesa

Vertikalna injekcijska zavesa sledi v tlorisu trasi kontrolnega hodnika v temelju strojnice in pretočnih polj s priključnim desnoobrežnim zidom. Na levem in desnem bregu se od konca kontrolnih hodnikov zavesa nadaljuje pravokotno v desni in levi breg.

Injekcijska zavesa pod objekti je izvedena do kote + 20,0, kar je 30,0—35,0 pod dnom korita Soče. V bokih se globna zavesa postopoma zmanjšuje, tako da je dolžina vrtin od 15 do 70 m. Zgornji preperel in razpokan apnec je na stiku z objektom injektiran dodatno še s kontaktnimi injekcijami dolžine 7,0 m, ki so hkrati tudi vezne injekcije in omogočajo boljšo povezavo med objektom in injekcijsko zaveso.

Injektiranje je izvedeno z vrtinami na medsebojni razdalji 3,0 m. V prvi fazi so se vrtale in injektirale primarne vrtine na razdalji 6,0 m. Na vsaki drugi primarni vrtini so bile izvršene meritve VDP, ki so bile namenjene za določitev potrebne gostote injekcijske mase. V drugi fazi so se vrtale in injektirale sekundarne vrtine. Tudi na vsaki drugi sekundarni vrtini so se izvajale meritve VDP kot kontrola efekta injektiranja v primarnih vrtinah in za izbiro konsistence injekcijske mase sekundarnih vrtin.

Injektiranje se je izvajalo s cementno injekcijsko maso (95 % cementa, 5 % aktiviranega bentonita) po zabetoniranju betonskega bloka do kote kontrolnega hodnika. Zaradi nevarnosti prevelikih vzgonskih tlakov v času injektiranja je bil ta blok predhodno sidran z ekspanzijskimi prednapetimi sidri v osnovno hribino.

Po končanem injektiranju primarnih, sekundarnih in kontaktnih vrtin so bile izvedene kontrolne vrtine v razdalji 20 m.

Dinamična analiza HE Mavčiče

UDK 624.8.04

Povzetek

Članek opisuje dinamično analizo, izvedeno pri HE MAVČIČE. Strojnični blok pregrade je bil analiziran po metodi končnih elementov z upoštevanjem interakcije temeljnih tal akumulacije po metodi Westergaarda. Ugotovljeno je bilo, da koncentracije napetosti v masivnih betonih ob vzeti potresni obtežbi ne presegajo nosilnosti betona v nategu.

1. Splošno

Hidroelektrarna Mavčiče bo za elektrogospodarstvo in s tem za celotno slovensko gospodarstvo relativno pomemben objekt, ki bo zgrajen v teh, energetske sušnih časih. Pri tem ne igra tolikšne vloge instalirana moč elektrarne (38 MW) v primerjavi s siceršnje skupno močjo že zgrajenih elektrarn (ca. 2000 MW) kot kvaliteta razpoložljive vršne energije, ki jo bo lahko dajala ob konicah porabe, praktično na mestu porabe v tudi sicer deficitarnem področju gorenjsko-ljubljanske kotline.

Ker je področje Slovenije in še posebno ljubljansko-gorenjske kotline znano kot seizmično aktivno z verjetnostjo nastopa močnih potresov, se takoj postavlja vprašanje o zaščiti infrastrukturnih objektov pred naravnimi katastrofami, kot so močni potresi. Gradnjo objektov na takšnih področjih regulira za objekte visokih gradenj Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih področjih (U. I. SFRJ, št. 31/81), ki pa ne vključuje hidrotehničnih objektov. Važno področje tako še ni pokrito s primerno regulativo. Kljub temu se je pri snovanju HE MAVČIČE ubrala pot v duhu novejšega reševanja problema seizmične mikrorajonizacije in dinamične analize.

2. Projektni parametri

Če pogledamo v zgodovino projektiranja dolinskih pregrad, vidimo, da so bile v svetu in pri nas v največ primerih analitično preizkušene na horizontalne potresne sile, ki bi jih povzročil zemeljski pospešek velikostnega reda do 0,1g. Skladno z razvojem potresnega inženirstva kot znanstvene discipline pa se je izpopolnjeval tudi pristop k določanju projektnih parametrov in analiza objektov dolinskih pregrad. Zelo buren razvoj, ki se še ni ustavil, je to področje doživelo v sedemdesetih letih. S takšnega zornega kota bi lahko gledali tudi snovanje HE MAVČIČE.

Projektni parametri za lokacijo Mavčiče (lit. 1) so bili določeni na temelju izsledkov obsežnih seizmoloških raziskovalnih del na terenu in v laboratorijih, ki jih je bilo treba opraviti v fazi

Avtor: mag. Branko Zadnik, dipl. gr. inž., IB Elektroprojekt, Hajdrihova 4, Ljubljana

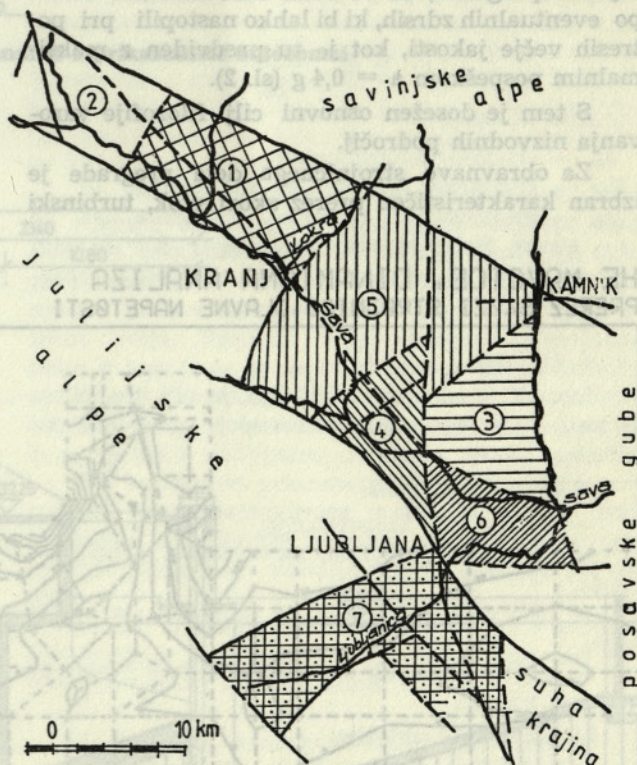
BRANKO ZADNIK

Summary

The article deals with dynamic analysis which has been performed for the HPP MAVČIČE. The powerhouse part of the dam has been analysed according to the method of finite elements. The soil — structure interaction and the water influence in the storage reservoir are considered by Westergaards theory. It has been established that the structure is correctly designed from the standpoint of earthquake resistance.

prvih zasnov objektov. Rezultati teh raziskav so nam pokazali seizmično aktivnost bližnje in daljne okolice pregrade, možnosti za nastop potresa iz neznanih in v teku raziskav odkritih prelomnic (sl. 1) kakor tudi energetske karakteristike lokalnih in bolj oddaljenih žariščnih con.

Določeno je bilo možno premikanje tal ob bodočem potresu. Ta faza je najdelikatnejša v celotnem postopku seizmične analize objekta in je tudi teoretično še najmanj dorečena. Tega se je bilo treba zavedati pri analizi konstrukcije, saj nam gi-



Slika 1. Model notranje strukture ljubljanske depresije

Bloki:

- 1 — maksimalni dvigi
- 2 — pomembna relativna dvigovanja
- 3 — relativni dvigi
- 4 — slabši relativni dvigi
- 5 — relativna dvigovanja s tendenco mirovanja
- 6 — relativna tonjenja
- 7 — maksimalna tonjenja

banje tal narekuje karakteristike dinamičnega obnašanja konstrukcije oz. sile, ki ob potresu dodatno obremenjuje konstrukcijo. Seizmološke analize so vodile k dvema osnovnima ciljema:

— k določitvi »projektnega potresa«, za katerega se najpogosteje uporablja definicija, ki dovoljuje nastop tega potresa v amortizacijski dobi objekta brez nastopa poškodb, ki bi preprečile eksploatacijo objekta. Na lokaciji HE Mavčiče je dobljena vrednost za ta parameter $0,30\text{ g}$, in

— K določitvi »maksimalno možnega potresa«, to je potres, pri katerem dopuščamo določene poškodbe objekta s pogojem, da le-te ne povzročijo katastrofalnih vplivov na okolico. Vrednost tega parametra je pri HE Mavčiče $0,42\text{ g}$.

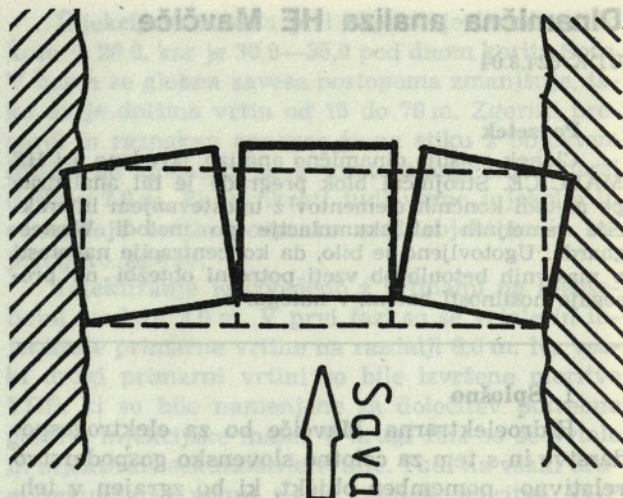
Poleg teh dveh parametrov je bil podan tudi predlog več časovnih registracij pospeškov, ki naj bi se v dinamični analizi uporabile glede na oddaljen, oziroma bližnji tip potresa.

3. Matematični model, uporabljen pri dinamični analizi HE Mavčiče

Osnovna ideja pri zasnovi modela pregradnega objekta HE Mavčiče je bila delitev v tri bloke: strojnični del, pretočno polje in levoobrebno priključno pregrado, ki so vsak zase stabilna celota po eventualnih zdrsih, ki bi lahko nastopili pri potresih večje jakosti, kot je tu predviden z maksimalnim pospeškom $a = 0,4\text{ g}$ (sl. 2).

S tem je dosežen osnovni cilj filozofije varovanja nizvodnih področij.

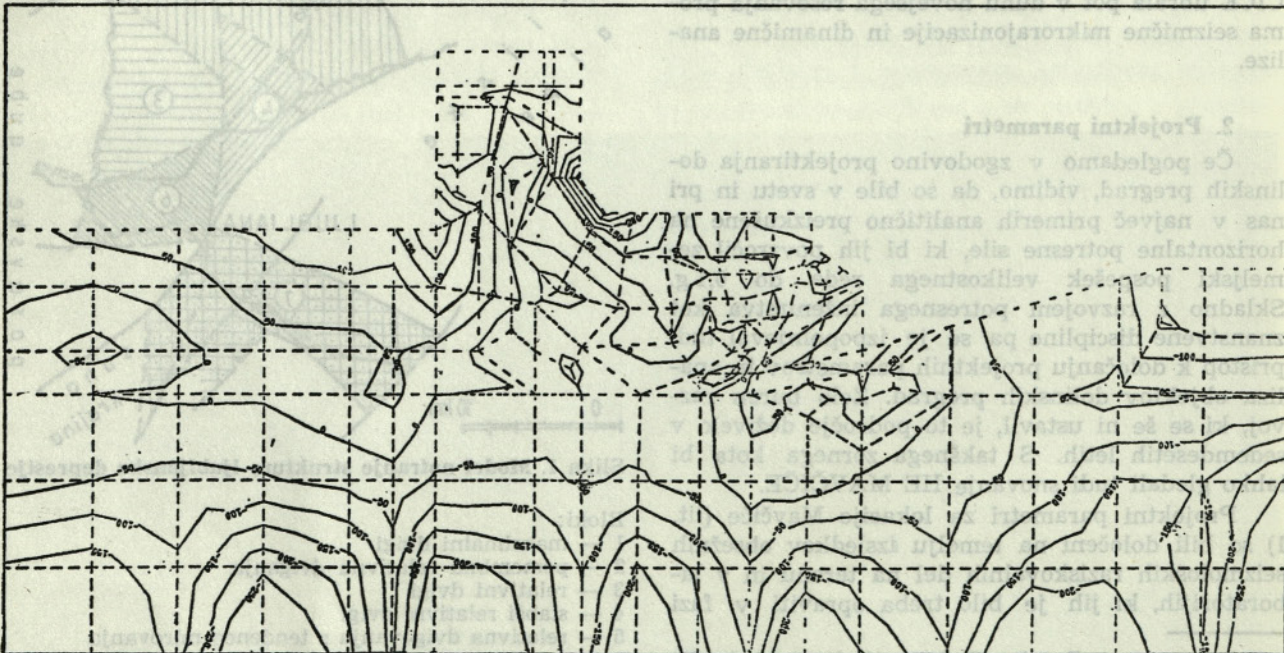
Za obravnavo strojničnega dela pregrade je izbran karakterističen prerez skozi vtok, turbinski



Slika 2. Načelna skica možnih pomikov posameznih blokov pregradnega objekta HE MAVČIČE

del in iztočni del (sl. 5). Interakcija temeljnih tal je bila vključena v račun z modeliranjem zemeljskega telesa v naslednjih dimenzijah: dolžina modela zemljine je trikratna širina pregrade, višina je enaka višini pregrade. Tako dobljeni ravninski model je deljen v mrežo četverkotnih elementov (sl. 4). Obravnavana je bila celotna širina strojničnega bloka $b = 39,80\text{ m}$. Odprtine v betonskem bloku (vtok, spirala, generatorski jašek, sesalna cev) so upoštevane z zmanjšanjem debeline elementov, ki jih popisujemo, oziroma z ekvivalentnim zmanjšanjem elastičnega modula. Problem je analiziran na dva načina:

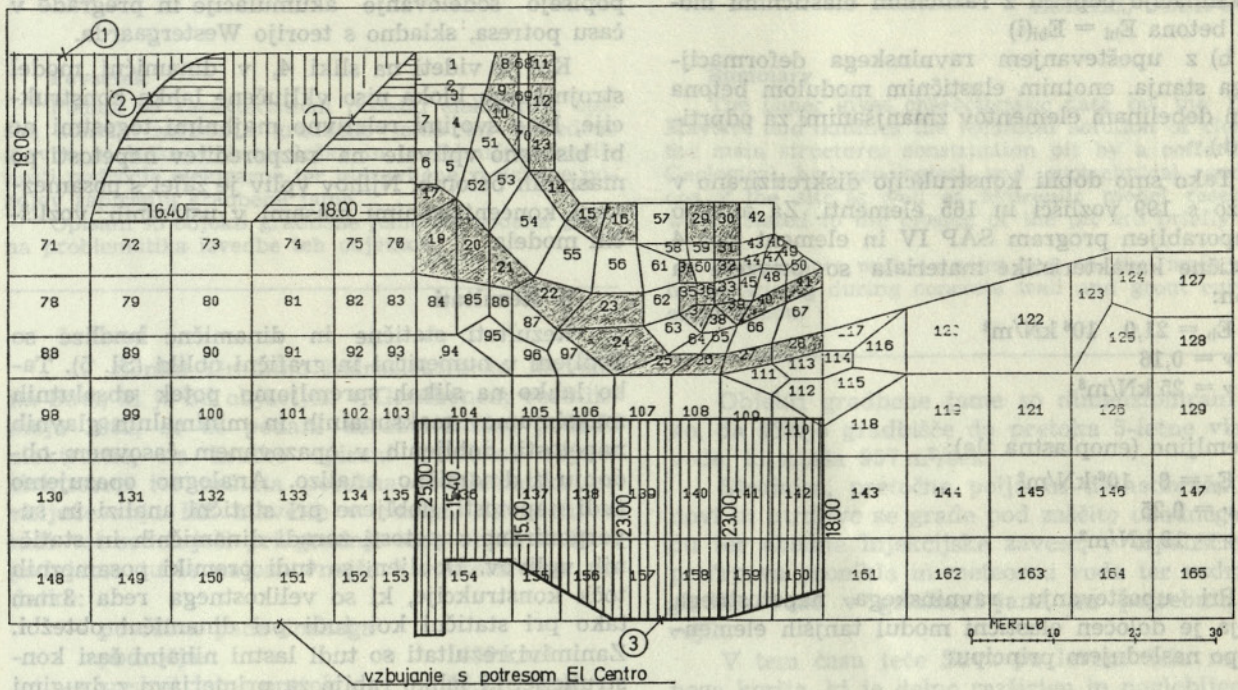
HE MAVČIČE, DINAMIČNA ANALIZA PREREZ SKOZI STROJNICO, GLAVNE NAPETOSTI



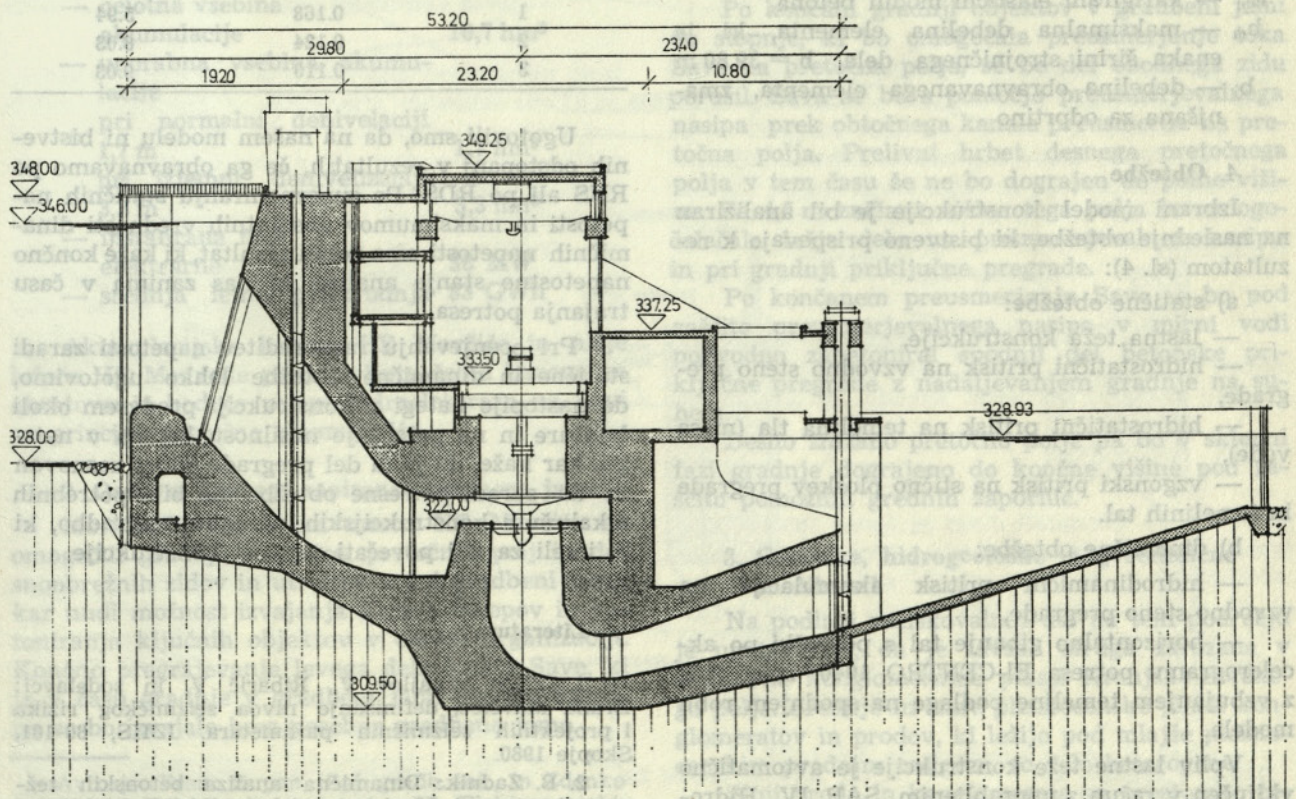
Slika 3. Izolinije superponiranih napetosti zaradi statične in dinamične obtežbe

HE MAVČIČE
PREREZ SKOZI STROJNICO

ŠTEVILČBA ELEMENTOV
HIDROSTATIČNI ①, HIDRODINAMIČNI ②
IN VZGONSKI ③ PRITISKI V (m) vodnega stebra



Slika 4. Matematični model, uporabljen pri dinamični analizi s prikazanimi obtežbami



Slika 3. Karakteristični prerez strojničnega bloka pri HE MAVČIČE

a) z upoštevanjem ravninskega napetostnega stanja, enotno debelino vseh elementov $d_i = 1,0$ in apoksimacijo odprtih z različnimi elastičnimi moduli betona $E_{bi} = E_{bi}(l)$

b) z upoštevanjem ravninskega deformacijskega stanja, enotnim elastičnim modulom betona E_b in debelinam elementov zmanjšanimi za odprtine (d_i).

Tako smo dobili konstrukcijo diskretizirano v mrežo s 199 vozlišči in 165 elementi. Za analizo je uporabljen program SAP IV in element tipa 4. Elastične karakteristike materiala so privzete za beton:

$$E_b = 21,0 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 0,16$$

$$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$$

za zemljino (enoplastna tla):

$$E_z = 8 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 0,25$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

Pri upoštevanju ravninskega napetostnega stanja je določen elastični modul tanjših elementov po naslednjem principu:

$$E_{bi} = E_b \cdot \frac{b_i}{b_m}$$

kjer pomeni:

E_b — elastični modul betona

E_{bi} — karigirani elastični modul betona

b_m — maksimalna debelina elementa, ki je enaka širini strojničnega dela, $b = 39,80 \text{ m}$

b_i — debelina obravnavanega elementa, zmanjšana za odprtino

4. Obtežbe

Izbrani model konstrukcije je bil analiziran na naslednje obtežbe, ki bistveno prispevajo k rezultatom (sl. 4):

a) statične obtežbe:

— lastna teža konstrukcije,

— hidrostatični pritisk na vzvodno steno pregrade,

— hidrostatični pritisk na temeljna tla (masa vode),

— vzgonski pritisk na stično ploskev pregrade in temeljnih tal.

b) dinamične obtežbe:

— hidrodinamični pritisk akumulacije na vzvodno steno pregrade,

— horizontalno gibanje tal s pospeški po akcelrogramu potresa EL-CENTRO 1940, smer N-S z vzbujanjem temeljne podlage na spodnjem robu modela.

Vpliv lastne teže konstrukcije je avtomatično vključen v račun z uporabljenim SAP IV. Hidrostatični in hidrodinamični pritisk prenašamo na

konstrukcijo prek vozlišč na vzhodni steni pregrade kot koncentrirane sile oziroma mase, ki nam popišejo sodelovanje akumulacije in pregrade v času potresa, skladno s teorijo Westergaarda.

Kot je videti na sliki 4, v dinamični model strojničnega bloka niso vključene lahke konstrukcije, ki s svojimi relativno majhnimi togostmi ne bi bistveno vplivale na razporeditev napetosti po masivnih betonih. Njihov vpliv je zajet s posameznimi koncentriranimi masami v ustreznih vozliščnih modela.

5. Rezultati

Rezultati statične in dinamične analize so dobljeni v numerični in grafični obliki (Sl. 5). Tako lahko na slikah spremljamo potek absolutnih maksimumov maksimalnih in minimalnih glavnih napetosti, dobljenih v opazovanem časovnem obdobju z dinamično analizo. Analogno opazujemo tudi napetosti, dobljene pri statični analizi in superponirane napetosti zaradi dinamičnih in statičnih vplivov. Dobljeni so tudi premiki posameznih točk konstrukcije, ki so velikostnega reda 3 mm tako pri statični kot tudi pri dinamični obtežbi. Zanimivi rezultati so tudi lastni nihajni časi konstrukcije, ki lahko rabijo za primerjavo z drugimi tipi konstrukcij.

Nihajna oblika	Nihajni čas	Frekvenca
	(s)	(s ⁻¹)
1	0.168	5.94
2	0.124	8.03
3	0.110	9.03

Ugotovili smo, da na našem modelu ni bistvenih odstopanj v rezultatih, če ga obravnavamo po RNS ali po RDS. Po superponiranju statičnih napetosti in maksimumov absolutnih vrednosti dinamičnih napetosti smo dobili rezultat, ki kaže končno napetostno stanje analize, ki nas zanima v času trajanja potresa.

Pri ocenjevanju razporeditev napetosti zaradi statične in dinamične obtežbe lahko ugotovimo, da nastopijo nategi v konstrukciji predvsem okoli konture in ne presegajo nosilnosti betona v nategu, kar kaže, da je ta del pregrade dobro zasnovan in da zaradi potresne obtežbe ni bilo potrebnih nikakršnih konstrukcijskih posegov v zgradbo, ki bi imeli za cilj povečati varnost konstrukcije.

Literatura

1. IZIIS: Mihajlov V., Ribarič V. in sodelavci: Brana Mavčiče, definisanje nivoa seizmičnega rizika i projektnih seizmičnih parametrov. IZIIS, 80-101, Skopje 1980.

2. B. Zadnik: Dinamična analiza betonskih težnostnih pregrad, Magistrska naloga, FAGG, Ljubljana, junij 1983.

Zapiranje gradbene jame hidroelektrarne Mavčiče na Savi

FRANC ZUPAN
ZDENKO JOSIPOVIČ

Povzetek

Podani so karakteristični podatki elektrarne, opisan koncept zapiranja gradbene jame ter navedene glavne geološke, hidrogeološke in geotehnične značilnosti področja elektrarne ter hidravlične raziskave pogojev zapiranja gradbene jame.

Opisani so objekti gradbene jame ter podana glavna problematika izvedbe teh objektov.

1. Uvod

V članku Gradimo hidroelektrarno Mavčiče na Savi, ki je bil objavljen v Gradbenem vestniku maja 1982, so že podani karakteristični podatki elektrarne, na kratko opisani gradbeni objekti elektrarne ter našeta posebna problematika pri vključevanju HE Mavčiče v okolje. Navedeni so tudi vsi sodelujoči pri gradnji tega objekta. Zato podajamo tu le najosnovnejše karakteristične podatke:

— površina padavinskega področja	1480 km ²
— srednji letni pretok	66,7 m ³ /sek
— 1000-letna visoka voda	1954 m ³ /sek
— najpogostejši padec elektrarne	17 m
— instalirani pretok	2 × 130 m ³ /sek
— število agregatov	2
— celotna vsebina akumulacije	10,7 hm ³
— uporabna vsebina akumulacije	
pri normalni denivelaciji	
1,7 m	1,7 hm ³
pri izjemni denivelaciji	
3,3 m	3,3 hm ³
— instalirana moč elektrarne	38 MW
— srednja letna proizvodnja	83 GWh

Akumulacijska bazena HE Mavčiče in nižje ležeče HE Medvode predstavljata čelna bazena za obratovanje bodoče verige hidroelektrarn na Savi po principu pretočne akumulacije.

2. Osnovni koncept zapiranja gradbene jame

Morfološki pogoji na mestu HE Mavčiče so omogočili gradnjo strojnice, pretočnih polj in desnoobrežnih zidov in utrditev v eni gradbeni jami, kar nudi možnost izvajanja širokih izkopov in betoniranja ključnih objektov v enotni organizaciji. Končno pregrajevanje levega dela korita Save, ki je v času gradnje v gradbeni jami obtočni kanal, pa se bo izvajalo brez posebne gradbene jame.

Avtorja: Franc Zupan, dipl. gradb. inž., in Zdenko Josipovič, dipl. gradb. inž., oba IB Elektroprojekt, Ljubljana

Summary

The paper gives characteristic data on the HPP Mavčiče and outlines the technical solution of closing the main structures construction pit by a cofferdam. Geological, hydrogeological and geotechnical conditions of the site as well as hydraulic model research work related to the closing of the pit are briefly described.

The authors wish to point out to the main problems arising during concrete wall and grout curtain construction.

Objekti gradbene jame so dimenzionirani tako, da ščitijo gradbišče do pretoka 5-letne visoke vode, ki znaša 957 m³/sek.

Strojnica, pretočna polja in desnoobrežni zidovi in utrditve se grade pod zaščito obodnega zidu ter obodne injekcijske zavese, v črpališčih se prečrpava pronikla in meteorna voda ter vzdržuje gladina vode v gradbeni jami na potrebnih nivojih.

V tem času teče Sava po levem delu naravnega korita, ki je delno razširjen in poglobljen na dimenzije, ki omogočajo predvideni pretok vode. Vzporedno z gradnjo objektov v gradbeni jami se bo še pred preusmerjanjem Save na pretočna polja gradil tisti del betonske priključne pregrade, ki leži zunaj obtočnega kanala.

Po končani gradnji objektov v gradbeni jami do stopnje, ki bo omogočala preusmerjanje toka Save na pretočna polja, se bo del obodnega zidu porušil. Sava se bo s pomočjo preusmerjevalnega nasipa prek obtočnega kanala preusmerila na pretočna polja. Prelivni hrbet desnega pretočnega polja v tem času še ne bo dograjen do polne višine. Za 4,5 m znižana višina tega polja bo omogočala lažje delo na preusmerjevalnem nasipu in pri gradnji priključne pregrade.

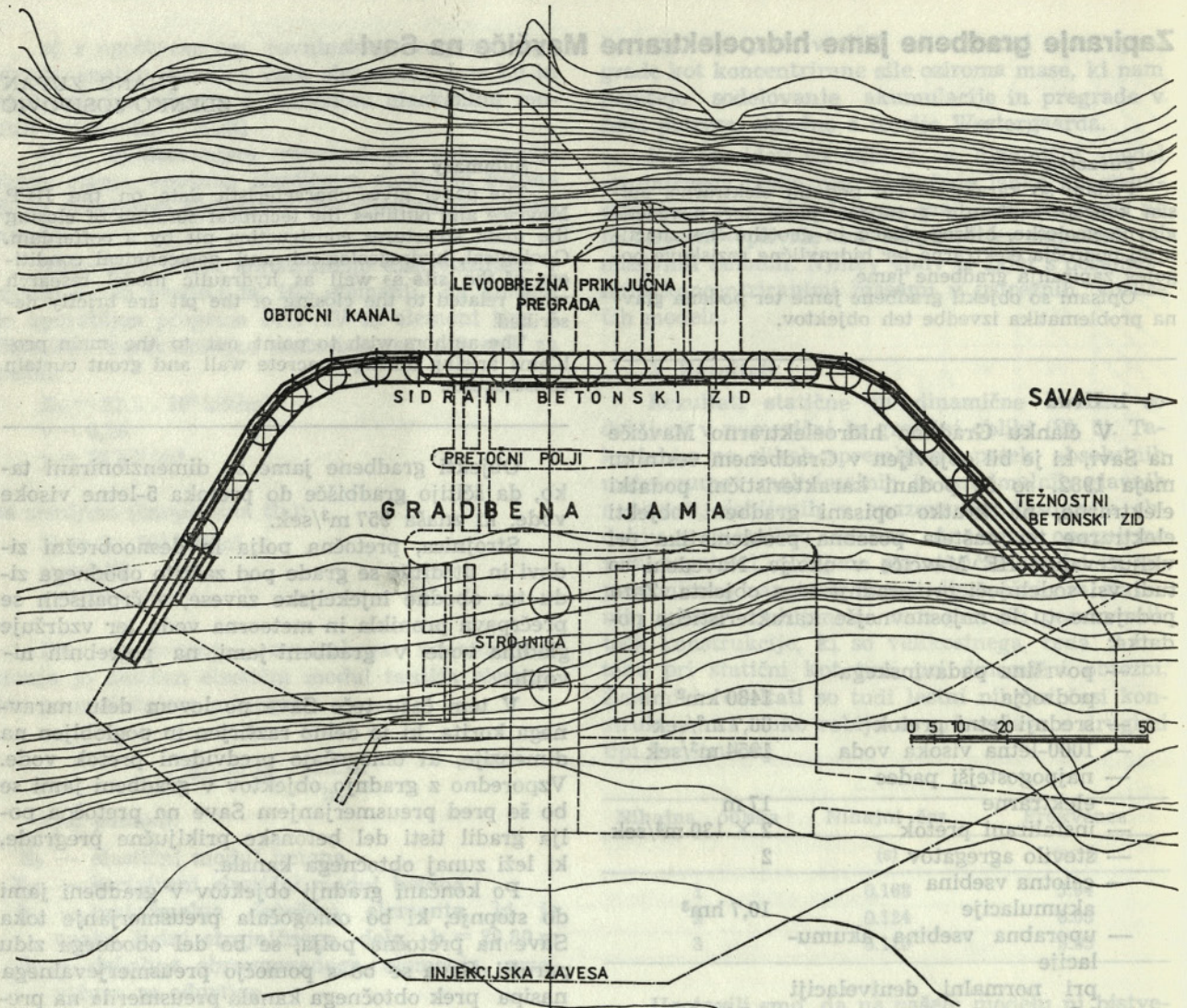
Po končanem preusmerjanju Save se bo pod zaščito preusmerjevalnega nasipa v mirni vodi podvodno zabetoniral spodnji del betonske priključne pregrade z nadaljevanjem gradnje na suhem.

Desno znižano pretočno polje pa bo v sklepnih fazah gradnje dograjeno do končne višine pod zaščito pomožnih grednih zapornic.

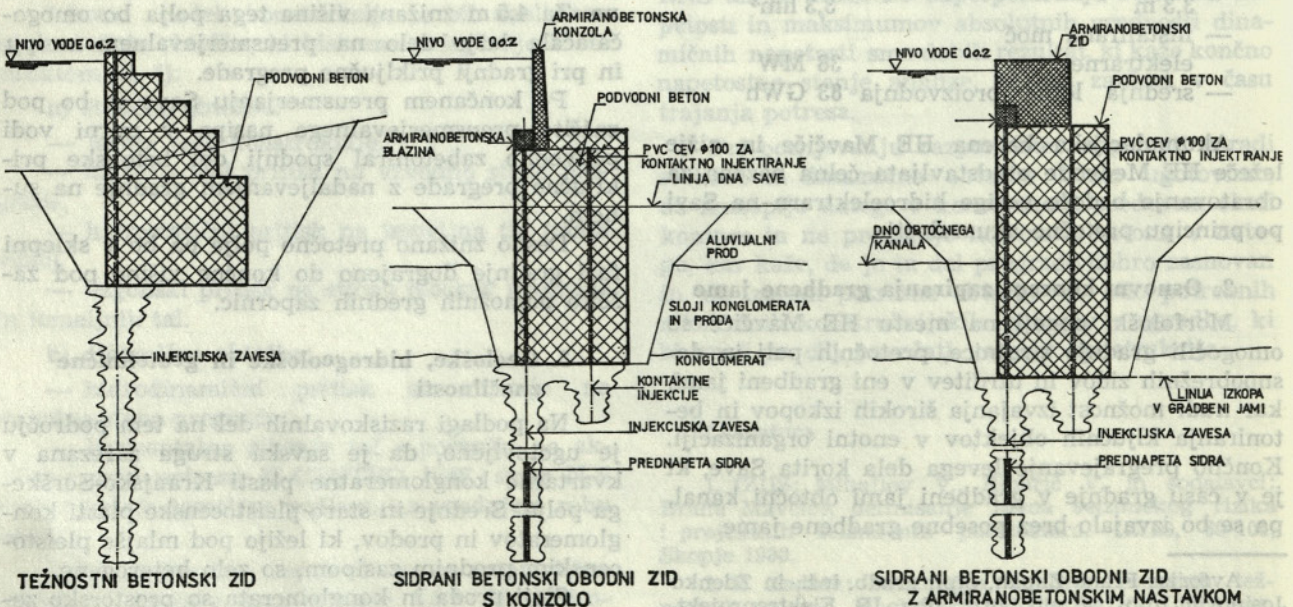
3. Geološke, hidrogeološke in geotehnične značilnosti

Na podlagi raziskovalnih del na tem področju je ugotovljeno, da je savska struga zarezana v kvartarne konglomeratne plasti Kranjsko-Sorškega polja. Srednje in staro pleistocenske plasti konglomeratov in prodiv, ki ležijo pod mlajše pleistocenskim prodnim zasipom, so zelo heterogene.

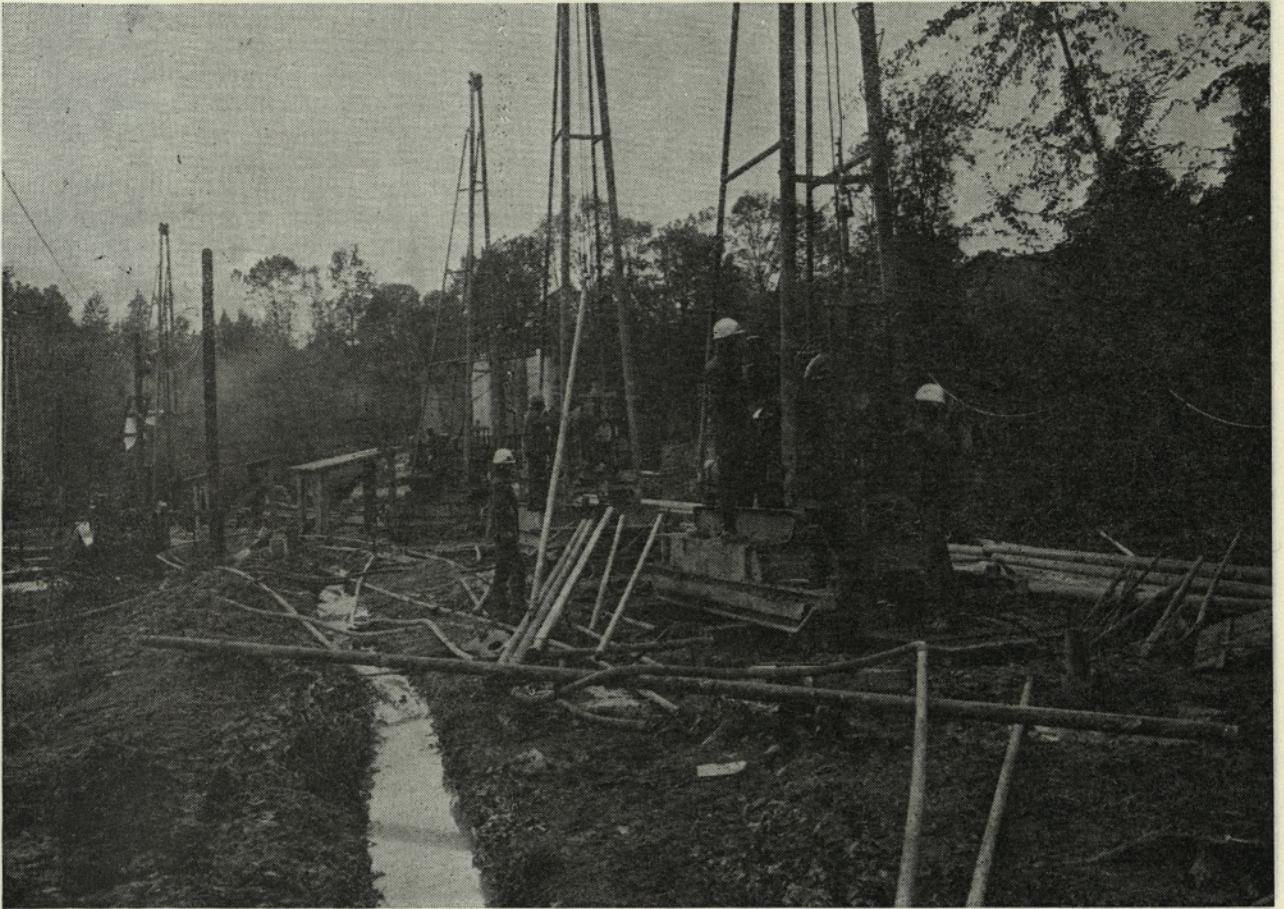
Sloji prodiva in konglomerata so prostorsko zelo nepravilno razporejeni, se lečasto izklinjajo in



Slika 1. Situacija objektov gradbene jame



Slika 2. Prečni prerez obodnega zidu gradbene jame



Slika 3. Injektiranje obodne injekcijske zaves

prehajajo eden v drugega. Izjemo predstavlja plast dobro sprijetega konglomerata debeline ca. 10 m, ki leži na podlagi, ki jo sestavljata terciarna peščena glina in peščenjak. Ta neprepustna podlaga je približno 30 m pod nivojem vode v koritu Save. Izvršeni poizkusi so dopolnili že znane podatke o prepustnosti plasti Sorškega in Kranjskega polja. Srednja vrednost koeficienta prepustnosti celotne serije plasti konglomeratov in provodov pod gladino podtalne vode je $2,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sek}$. Anizotropija prepustnosti v vertikalni smeri doseže vrednosti 1:3 do 1:7 in tudi več.

Temeljna tla objektov elektrarne so povečini trdo in rahlo sprijet konglomerat s tanjšimi vložki prod, ki leže na dobro vezanem konglomeratu, ta pa leži na podlagi iz terciarne peščene gline.

4. Hidravlične raziskave pogojev zapiranja gradbene jame

Hidravlične modelne raziskave glavnih objektov kot tudi raziskave za definiranje pogojev ob gradnji gradbene jame in končnem preusmerjanju Save iz obtočnega kanala na pretočna polja je opravil Vodogradbeni laboratorij v Ljubljani. Raziskave so bile izvršene na modelu v merilu 1:36, na katerem so bile preverjene projektirane dimen-

zije posameznih objektov gradbene jame ter preverjeno obnašanje objekta med eksploatacijo. Glede na dobljene rezultate modelnih raziskav so bile modificirane posamezne projektne rešitve ter upoštevani pogoji ugotovljeni za posamezne faze gradnje gradbene jame, preusmerjanja Save na pretočna polja in oblikovani objekti za evakuacijo vode med obratovanjem elektrarne.

5. Zapiranje gradbene jame

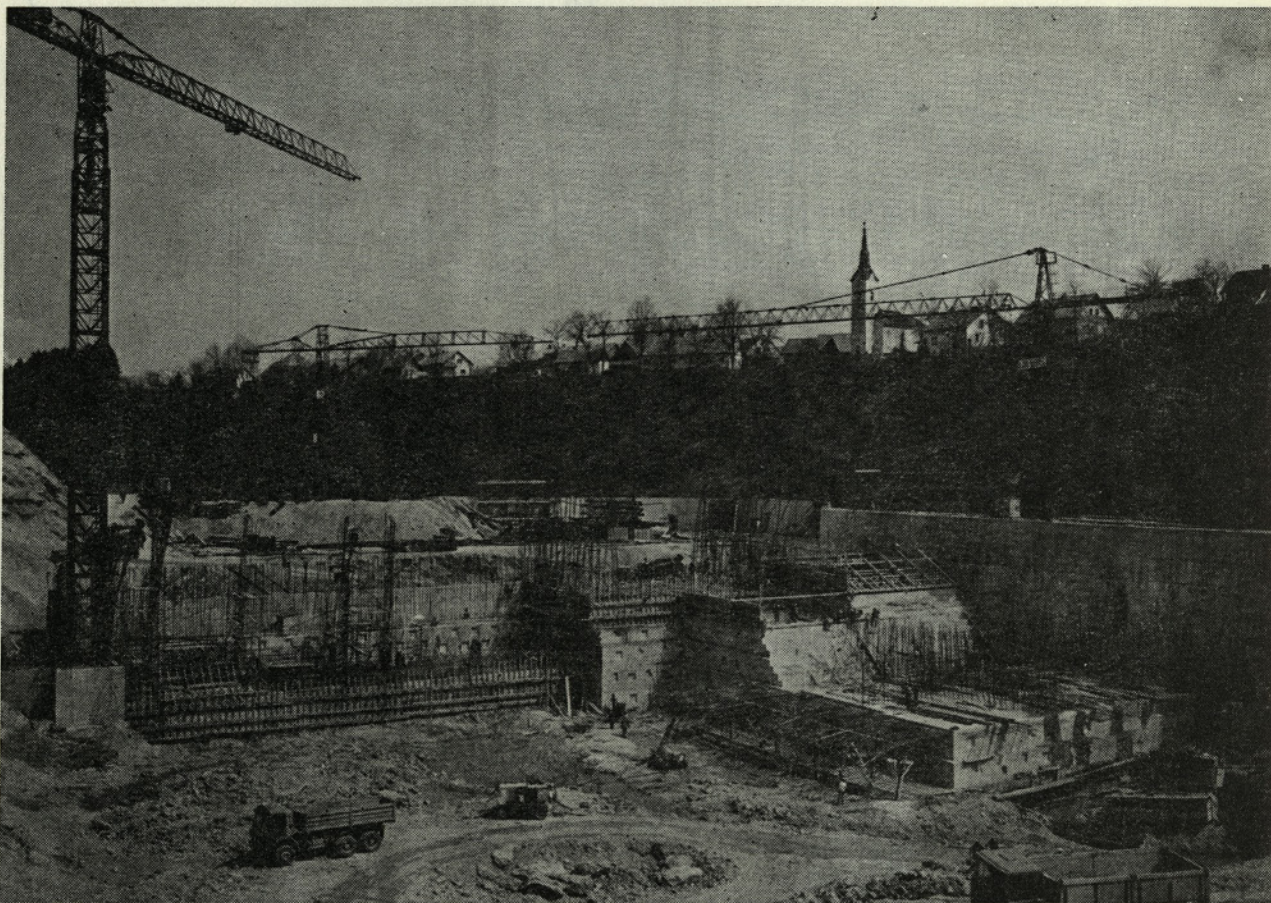
Objekti gradbene jame so: obtočni kanal, obodni zid in obodna injekcijska zavesa (slika 1 in 2).

5.1. Obtočni kanal

Obtočni kanal je takih dimenzij, da pri predvidenih kotah krone obodnega zidu gradbene jame evakuira petletno visoko vodo, t. j. $957 \text{ m}^3/\text{sek}$. Kanal leži na levem delu savskega korita, ki je poglobljeno za 2 do 3 m. Obtočni kanal je dolg ca. 150 m, širina dna kanala je 20 m. Leva brežina kanala je odkopana v nagibu 3:1.

5.2. Obodni zid gradbene jame

Obodni zid gradbene jame sestavljajo priključna gravitacijska betonska zidova dolžine 36,0 in



Slika 4. Gradbišče HE Mavčiče stanje april 1984

22,5 m in del zidu, zgrajen v celoti v savski strugi, ki je betonski, sidran s prednapetimi sidri v konglomeratno podlago. Za izgradnjo sidranega dela obodnega zidu je bila izbrana izvedba v obliki vodnjakov krožnega preseka premera 6,0 m z osnim razmakom 9,0 do 12,0 m. Izvajalec Gradis Maribor je to tehnologijo uspešno uporabil tudi na HE Fala in HE Solkan. Vodnjaki so medsebojno povezani z vmesnimi deli enake debeline. Vodnjaki in vmesni deli so se izvajali do višine, ki v obtočnem kanalu omogoča pretok $300 \text{ m}^3/\text{sek}$, kar je približno enoletna visoka voda. S te kote obodnega zidu so izvajali dela na vrtanju in enektiranju obodne zavesa, vrtanju in inektiranju kontaktnih injekcij ter vgradnji in napenjanju prednapetih sider. Vgrajena so bila sidra Dywidag nosilnosti 3 MN na medsebojni razdalji 2,0 m. Razmak sider se ujema z razmakom injekcijskih vrtin obodne zavesa, tako da so se sidra vgrajevala v predhodno že zainjektirano vrtino, ki je bila pred vgradnjo sidra povrtana na potrebnem premer. Dolžina sider je bila ca. 30 m, sidrne glave pa so bile dolge 12 metrov. Elementi sider so bili testirani na poskusnih sidrih, ki so potrdili izbrane parametre. Obremenitev prednapetih sider se na nearmirani obodni zid prenaša prek armiranobetonske grede dimenzij $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ z vgrajenimi sidrnimi glavami.

Nadvišanje obodnega zidu do zahtevane višine je izvedeno v obliki tankih armiranobetonskih konzol z izjemo središnjega dela obodnega zidu, ki je vključen v konstrukcijo levega stebra pretočnih polj. Ta del obodnega zidu je nadvišan z masivnim betonskim nastavkom.

Gradnja obodnega zidu je potekala na način kot sledi. Po izvršenem izkopu rečnega nanosa je bilo s pontonov izvršeno vrtanje in miniranje do globine temeljenja vodnjakov. S predhodno že zabetoniranega vodnjaka je bager s skreppersko žlico izkopal odminirani material. Po namestitvi obodne konstrukcije in vertikalnih opažnih zagatnic so potapljači dokončno očistili temeljno ploskev, nakar so vodnjak podvodno zabetonirali do polne višine. Na enak način so bili izvedeni tudi vmesni povezovalni deli obodnega zidu. Ob višjih pretokih Save je bilo napredovanje izkopa zaradi zasilpavanja z vlečenim prodom ovirano, pri nižjih neproduosnih pretokih pa je bilo napredovanje odvisno predvsem od kvalitete miniranja in časa, ki je potekel med miniranjem in izkopom.

5.3. Obodna injekcijska zavesa

Obodna injekcijska zavesa je izredno pomemben objekt gradbene jame. Brez nje bi bilo nemogoče obvladati dotoke vode v gradbeno jamo.

Analize so pokazale, stanje na gradbišču pa ugotovitve potrjuje, da je bilo potrebno celoten obod gradbene jame zatesniti. Izvedena je bila tesnitev desnega boka gradbene jame kot tudi tesnitev pod temeljem obodnega zidu do neprepustne terciarne podlage v skupni dolžini skoraj 540 m.

Trasa injekcijske zavese na desnem boku gradbene jame je bila definirana z upoštevanjem rezultatov analize stabilnosti izkopane gradbene jame.

Na podlagi poskusnega injekcijskega polja so bili dobljeni glavni parametri za izvedbo obodne injekcijske zavese. Izvajalec injekcijskih del Geološki zavod Ljubljana je v sodelovanju s projektantom Inženirskim birojem Elektroprojekt Ljubljana ter investitorjevo strokovno komisijo med izvajanjem injekcijskih del modificiral začetne postopke vrtnja in injektiranja tako, da so bili ob upoštevanju sprejetih kriterijev zaključka injektiranja doseženi največji možni učinki tesnitve.

Izvedena je enoredna zavesa z razmakom vrtin 1,50 m. Vrtane in injektirane so bile najprej primarne vrtine na razdalji 3,0 m na daljšem odseku, nato pa sekundarne vrtine na vmesnih razdaljah. Celotna dolžina obodne injekcijske zavese je bila razdeljena na posamezna polja, na katerih so se izvajale tudi kontrolne vrtine z merjenjem prepustnosti za vodo.

Glede na pridobljene izkušnje je medsebojni razmak vrtin 1,50 m in tehnologija vrtnja in injektiranja osvojena tudi za glavno zaveso.

Praviloma se vse vrtine injektira v posameznih etažah dolžine 5 m, s tem da se vrtina tesni na ustju, injektiranje pa izvaja skozi vrtalno drogovo od spodaj navzgor z dviganjem drogovja v 0,5 m stopnjah.

Po končanem injektiranju predhodne etaže z doseženimi kriteriji zaključka injektiranja se že injektirana etaža povrta na večji profil in nada-

ljuje z vrtnjem naslednje etaže, ki se enako kot prejšnja etaža injektira od spodaj navzgor.

Uporabljena je cementno bentonitna injekcijska masa, in sicer 95 % cementa Anhovo Pc 10 z 15 p 450 in 5 % aktivnega bentonita. Vodocementni faktor mešanice ima v principu na začetku injektiranja vrednost 4. Če pri uporabi te mase niso bili doseženi končni pritiski injektiranja, se uporablja injekcijska masa večje viskoznosti do vodocementnega faktorja 1. Po doseganju končnih injekcijskih pritiskov pa se ponovno uporabi injekcijska masa z vodocementnim faktorjem 4.

Injekcijski pritiski so določeni za posamezne etaže glede na debelino nadsloja, koeficient kohezije in prostorninsko težo nadsloja ter znašajo npr. za globino 20 m ca. 1,0 MPa, za globino 50 m pa 2,5 MPa.

V primeru izredno velikih porab injekcijske mase se kot polnilo uporablja elektrofiltrski pepel, pesek ter drugi dodatki.

V času injektiranja so stalno opazovali in merili morebitno dviganje površine terena oziroma objektov, pod katerimi se je izvajalo injektiranje.

Kot rezultat izvajanja obodne injekcijske zavese navajamo poprečne porabe suhe injekcijske mase na tekoči m vrtine oziroma na m² zavese.

Ta znaša za desnoobrežni del obodne injekcijske zavese 460 kg/m¹ oz. 330 kg/m², za zaveso pod obodnim zidom pa 720 kg/m¹ oz. 413 kg/m². Razlika gre predvsem na račun manjše porabe injekcijske mase v začetnih poskusnih poljih desnoobrežnega dela zavese. Dotoki vode v gradbeno jamo so se glede na gladino vode v gradbeni jami gibali od 340 l/sek pri koti 325,80 m do 900 l/sek pri koti 316,20 m, od te kote navzdol pa stagnirajo, saj so pri doseženi koti 312,00 m praktično enaki. Dotoki so znatni, gredo pa predvsem na račun nekaj odsekov injekcijske zavese, injektiranih v začetni fazi in posameznih privilegiranih poteh na desnem boku gradbene jame.

VESTI IN INFORMACIJE

POZDRAVNI NAGOVOR PREDSEDNIKA PREDSEDSTVA ZDGITS MATIJE BLAGUSA NA 6. ZBOROVANJU SEKCIJE GRADBENIH KONSTRUKTORJEV SLOVENIJE, 27. SEPTEMBRA 1984 NA BLEDU

TOVARIŠICE IN TOVARIŠI, DRAGI GOSTJE!

Prijetna mi je čast in dolžnost, da vas v imenu predsedstva ZDGITS pozdravim in vam zaželim uspešen potek zborovanja in konstruktivne sklepe ob zaključku.

Dovolite mi, da ob tej priložnosti spregovorim še nekaj besed o delu vaše sekcije in deležu gradbenih strokovnjakov v sedanjem trenutku. S tekočim letom se je sekcija gradbenih konstruktorjev vključila v delo zveze kot posebna sekcija konstruktorjev.

Poleg vaše sekcije v zvezi deluje še sekcija geomehanikov, v pripravi je še za priključitev sekcija cestarjev.

Z vključevanjem sekcije konstruktorjev želimo, da bi gradbeniki razširili smeri delovanja naših društev v še nepokrito področje med arhitekto in operativce. Res je, da nismo uspeli urediti sporazuma o delovanju sekcije, upam pa, da bomo to storili v najkrajšem času in tako omogočili nemoteno delo sekcije. Prav ta drobn primer dolgega dogovarjanja je tipičen, za to kar gradbeniki počnemo v praksi pri svojem delu. V teh trenutkih morda najtežjega časa nas gradbenike, ko je delo gradbenega delavca razvrednoteno in ko govorimo o stotinah tisočih nezaposlenih gradbenih delavcev, o drastičnem zmanjševanju investicij, moramo zaposleni v gradbeništvu strniti svoje vrste in z znanjem, predvsem znanjem prebroditi krizo.

Koliko je to znanje pomembno, bi nam verjetno najbolje povedali strokovnjaki na gradbiščih v inozemstvu. Dokler bomo ločeno razvijali nove programe,

se ločeno uveljavljali v inozemstvu, bo naš delež zelo majhen.

O uspešnem nastopu v inozemstvu bomo lahko govorili šele, ko bomo začeli prodajati svoje znanje, ki bo temeljilo na sodobnih prijemih in metodah, in bo v koraku s svetovnim napredkom. Zato bo potrebno dopolniti tudi učne programe, tako da bi bili novi strokovnjaki že na samem začetku v središču napredka v gradbeništvu. Bolj kot za inozemstvo velja za strokovno delo doma, kjer smo gradbeniki pod vse večjim pritiskom širše družbene skupnosti — graditi kvalitetneje, ceneje in hitreje.

Prof. Bubnov je v enem od svojih člankov v Gospodarskem vestniku zapisal: »Če bi raziskovalne organizacije v večji meri obravnavale konkretne gospodarske, pravne in finančne elemente gradbene proizvodnje, bi s tem lahko bistveno pripomogle k uspešnemu številu odprtih problemov gradbeništvu in prispevale k znižanju proizvodnih stroškov«.

K temu bi še dodal: ne samo raziskovalne organizacije, pač pa vsi gradbeni strokovnjaki, projektanti, konstruktorji, vodje projektov, operativci v proizvodnji, sleherni zaposleni v gradbeni panogi, bi morali težiti k temu. Menim, da bi takšno zborovanje moralo obroditi sadove, predloženi referati pa morajo najti mesto v strokovni literaturi, prav tako pa tudi v vsakdanji praksi v birojih in na gradbiščih.

Še enkrat želim zborovanju uspeh, udeležencem pa uspešno sodelovanje.

Hvala

OPRAVIČILO

Uredništvo se opravičuje za neljube napake v št. 6-7, preimenovanje avtorja Peteln v Petelin, obrnjene slike št. 15 na str. 123 in napake v prispevku inž. Borutu Maistru v slovo — maturiral je 1925. ne 1952. in nam bo kot vzoren človek in visokostrokovni gradbenik, ostal v trajnem spominu.

Uredništvo

JUBILEJ

Inž. Sergej Bubnov — sedemdesetletnik



Uredniku Gradbenega vestnika, ki ga ureja že dvajset let, posvečamo ob njegovi sedemdesetletnici nekaj vrstic.

Rodil se je 21. novembra leta 1914 v Petrogradu. Rodbina se je priselila v Jugoslavijo leta 1920. Tu je dobil njegov oče zelo ugledno mesto profesorja na Pomorski akademiji v Dubrovniku. Tam je

bil sin Sergej deležen osnovnošolske in deloma srednješolske vzgoje. Realno gimnazijo je končal leta 1933 v Sarajevu, za gradbenega inženirja pa je diplomiral leta 1939 na beograjski univerzi. V letih 1960 in 1961 se je specializiral v Parizu za konstruiranje v prednapetem betonu. Leta 1979 je bil habilitiran za rednega univerzitetnega profesorja za seizmično gradbeništvo na FAGG Univerze v Ljubljani.

Prva njegova inženirska praksa so bile razne operativne službe pri zasebnih podjetjih. Med vojno je živel v Dravogradu, zaposlen pri grajenju dravske hidroelektrarne. Prvih povojnih pet let je deloval na železniški direkciji v Ljubljani pri obnovi prog in mostov za proge. Od leta 1951 do leta 1963 je bil projektant-statik Splošnega projektiivnega biroja v Ljubljani. Leta 1964 je bilo ustanovljeno poslovno združenje GIPOSS, inž. Sergej Bubnov pa njegov prvi, ustanovitveni direktor vse do leta 1974. Po šestdesetem letu življenja je prešel na mirnejše delo kot pomočnik sekretarja Republiškega sekretariata za urbanizem in tam ostal do upokojitve v letu 1979.

Matematično nadarjeni in z dobrim znanjem mnogih tujih jezikov se je inž. Sergej Bubnov v mlajši inženirski praksi posvetil konstruiranju zgradb in napredku te smeri. Iz te dobe izvira okrog 6 strokovnih člankov o lesenih konstrukcijah in okrog 12 člankov o konstrukcijah v betonu, ojačenem in prednapetem. Zasnoval je prvo prednapeto strešno konstrukcijo pri nas — za skladiščne dvo-

rane v Jaršah. Dobro obvladanje znanosti konstruiranja ga je po letu 1961 usmerilo v študij potresno varnega grajenja. Prav njemu moramo pripisati velik prispevek k razvoju te znanosti: 73 publikacij, med njimi kar četrtina v tujih jezikih, to najboljše dokazuje. Njegove najobširnejše publikacije so priročniki za potresnovarno grajenje: »Seizmično gradjenje I in II« (171 strani) izdano v Beogradu in Manual on building measures for minimising the impact of disastres (72 strani), izdano v Ženevi kot priročnik OZN. Izpod njegovega peresa je izšlo tudi 11 člankov, ki obravnavajo urbanistične probleme in več kot 20 člankov, ki obravnavajo vesplošne, predvsem gospodarnostne teme.

Poleg službenih obveznosti mu je njegova organizatorska in diplomatska dejavnost prinesla sloves daleč zunaj naše Jugoslavije: Vseskozi predsednik Jugoslovanskega društva za seizmično gradbeništvo, v letih 1964 do 1976 generalni sekretar Evropskega združenja za seizmično gradbeništvo, nato pa do leta 1982 predsednik tega združenja. Njegovo sodelovanje kot predsedujočega v komisijah za pripravo predpisov, za standardizacijo v gradbeništvu, za raziskovalno delo v stroki predvsem v smeri potresnovarnega grajenja je bilo izredno obsežno.

Bil je tudi deležen priznanj. Dobil je dve državni odlikovanji: red zasluge za narod s srebrnimi žarki in red dela z zlatim vencem. Je časten član Društva gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in Jugoslavije in časten član evropskega združenja za seizmično gradbeništvo. V tem niso zajeta še razna priznanja domačih in inozemskih institucij za delo na področju seizmičnega gradbeništva. Njegovo delovanje beleži brez števila udeležb na kongresih doma in v inozemstvu, povsod z aktivnim posegom, prispevke v stroki in tudi pri organizaciji. Nemška akademija za urbanizem in prostorsko planiranje v Münchnu ga je leta 1973 imenovala za svojega dopisnega člana.

Ob njegovi sedemdesetletnici mu vsi prav iskreno čestitamo k življenjskim uspehom. Želimo mu, da bi še dolgo ostal zdrav v krogu svoje družine in užival sadove svojega truda na jesen življenja.

Svetko Lapajne



NAROČILNICA:

Podpisani:

Natančen naslov:

ali delovna organizacija, ustanova:

Naslov: (žig)

Nepreklicno naročam naslednje knjige iz priloženega seznama:

Plačal jih bom — po povzetju
— z overjeno naročilnico (del. org., ustanove)

Datum:

Podpis:

Seznam knjig iz gradbeništva

- | | | | |
|---|--------|---|--------|
| 1. Vukičević: Englesko srpskohrvatski građevinski rečnik-Niskogradnja | 1500.— | 28. Lorenc: Projektiranje i trasiranje puteva i autoputeva | 800.— |
| 2. Vukičević: Englesko srpskohrvatski građevinski rečnik-Visokogradnja | 1700.— | 29. Anđus: Projektiranje puteva | 1500.— |
| 3. Več avtorjev: Građevinski priručnik-Tehničar 1 | 1500.— | 30. Kojić, Simonović: Poljoprivredne zgrade i kompleksi | 500.— |
| 4. Več avtorjev: Građevinski priručnik-Tehničar 2 | 4200.— | 31. Radonić: Grejanje i vetrenje | 300.— |
| 5. Građevinski priručnik-Tehničar 3 | 4200.— | 32. Romić: Teorija proračuna armiranobetonskih dijafragmi | 300.— |
| 6. Građevinski priručnik-Tehničar 4 | 1200.— | 33. Romić: Prednaprednuti beton u teoriji i praksi | 240.— |
| 7. Građevinski priručnik-Tehničar 5 | 1300.— | 34. Romić: Teorije granične nosivosti armiranog betona | 450.— |
| 8. Vagner, Erlhof: Praktična građevinska statika 1/3 | 2150.— | 35. Milosavljević: Osnovi čeličnih konstrukcija | 1200.— |
| 9. Radonić: Vodovod i kanalizacija u zgradama | 1800.— | 36. Zarić: Čelične konstrukcije | 900.— |
| 10. Furundžić: Osnovi tehnologije betona | 550.— | 37. Brčić: Dinamika konstrukcija | 900.— |
| 11. Čubra: Planiranje i programiranje u građevinarstvu | 400.— | 38. Đurić: Teorija okvirnih konstrukcija | 350.— |
| 12. Sindić: Osnove planiranja u građevinarstvu | 435.— | 39. Trbojević: Organizacija građevinskih radova | 300.— |
| 13. Pavlović: Modulacija arhitektonskog projektovanja - Prefabrikacija stanogradnje | 750.— | 40. Trbojević: Građevinske mašine | 430.— |
| 14. Selendić: Vertikalni kosi i horizontalni transport | 1800.— | 41. Stafanović: Građevinske mašine | 470.— |
| 15. Normativi i standardi rada u građevinarstvu-Visokogradnja 1/3 | 3900.— | 42. Zarić: Metalne konstrukcije u visokogradnji | 900.— |
| 16. Normativi i standardi rada u građevinarstvu-Visokogradnja 4 | 1200.— | 43. Ačić: Teorija armiranobetonskih i predhodno napregnutih konstrukcija | 1500.— |
| 17. Normativi i standardi rada u građevinarstvu-Visokogradnja 5 | 2400.— | 44. Cvetanović: Osnovi puteva | 500.— |
| 18. Normativi i standardi rada u građevinarstvu-Niskogradnja 6 | 2400.— | 45. Gojković: Drvene konstrukcije | 850.— |
| 19. Normativi i standardi rada u građevinarstvu-Niskogradnja 7 | 3700.— | 46. Đurec, Nikolić: Statika konstrukcija | 840.— |
| 20. Zbirka propisa regulative u građevinarstvu | 1400.— | 47. Romić: Ljuskaste konstrukcije | 372.— |
| 21. Đurić: Statistika konstrukcija | 1000.— | 48. Romić: Betonske konstrukcije | 525.— |
| 22. Jevtić: Prednaprednuti beton | 550.— | 49. Stevanović: Fundiranje 1 | 450.— |
| 23. Neville: Svojstva betona | 400.— | 50. Građevinski: Materijali, Tufegdžić | 1101.— |
| 24. Rühle: Prostorne krovne konstrukcije 1/2 | 800.— | 51. Vukotić: Ispitivanje konstrukcija | 580.— |
| 25. Umanjski: Konstrukterski priručnik | 800.— | 52. Građevinska regulativa 83 1/2 | 1450.— |
| 26. Franz: Teorija armiranobetonskih konstrukcija | 600.— | 53. Jelaković: Zvuk, arhitektonska akustika | 300.— |
| 27. Žefroa: Projektiranje i građenje kolovoznih konstrukcija 1/2 | 400.— | 54. Tonković: Masivni mostovi 1/2 | 650.— |
| | | 55. Tonković: Mostovi u izvanrednim okolnostima | 700.— |
| | | 56. Tonković: Promet u više razina | 600.— |
| | | 57. Nonveiller: Mehanika tla i temeljne građevine | 800.— |
| | | 58. Nonveiller: Nasute brane | 650.— |
| | | 59. Brauner: Geometrija u graditeljstvu | 350.— |
| | | 60. Svetlobnotehnički priručnik 1/2 | 1600.— |
| | | 61. Engleski-njemački-francuski-ruski-hrvatski rečnik — klimatizacija i rashladna tehnika | 2800.— |

Radialne napetosti v zakrivljenih lesenih lepljenih nosilcih*

Uvod

Lepljene lesene konstrukcije se pri nas intenzivneje uporabljajo šele v zadnjem desetletju. Ker novejših predpisov s tega področja še nimamo (oz. še niso v veljavi), se projektanti pri dimenzioniranju konstrukcij naslanjajo na razne tuje predpise. Ti v odvisnosti od kakovostnih lastnosti lesa, ki ga v posameznih državah uporabljajo, in v odvisnosti od načina kontrole kvalitete, predpisujejo mnogokrat različne dopustne vrednosti za karakteristične napetosti.

Začasni predpisi PTP 8 (ki še veljajo) zelo pomanjkljivo obravnavajo lepljene konstrukcije, zlasti potrebne računske kontrole napetosti, ki se pojavljajo v tipičnih lepljenih konstrukcijah. Zato se je v nekaj primerih zgodilo, da je prišlo do porušitve posameznih konstrukcijskih elementov zaradi napetosti, ki so za lamelirani les izredno neugodne, v veliki meri odvisne od kvalitete materiala in izdelave, v projektu pa sploh niso bile kontrolirane.

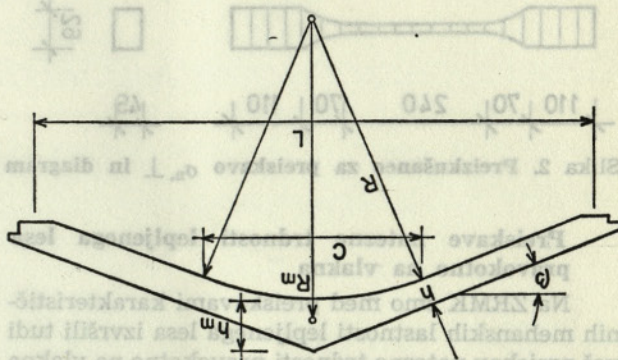
Zato smo na Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij v Ljubljani, v TOZD Inštitut za konstrukcije pričeli detajlneje proučevati lesene lepljene elemente — predvsem upogibne elemente, pri katerih so nastale omenjene porušitve — tj. prostoležeče nosilce z zakrivljeno osjo in nekonstantno višino. Primer takšnega nosilca je prikazan na naslednji sliki, kjer so označene tudi karakteristične dimenzije elementa.

Lastnosti lameliranega lesa

Lamelirani les ima v primerjavi z elementi iz polnega lesa izjemno dobre mehanske lastnosti: za lamele se namreč izberejo samo deli debel brez napak in s tem dosežemo enakomerno kvaliteto tudi v notranjosti preseka.

Mehanske lastnosti lepljenega lesa so v največji meri odvisne od lesa, iz katerega so izdelane lamele, seveda pa tudi od izbranega lepila in kvalitete lepljenja. Za gradbene konstrukcije se uporablja navadno les iglavcev (smreka, jelka) ali mehkih listavcev (topol) 1. in 2. kvalitetnega razreda, lepljen z rezorcin-fenol-formaldehidnim lepilom.

* Članek je bil podan na XVIII. kongresu Jugoslovenskog društva za ispitivanje i istraživanje materiala i konstrukcija v Sarajevu, oktobra 1982



Slika 1. Shema prostoležečega nosilca s krivo osjo in nekonstantno višino

Les je anizotropen material z bistveno različnimi lastnostmi v dveh pravokotnih smereh: v smeri vlaken in pravokotno na vlakna. Medtem ko so trdnosti v smeri vlaken zelo visoke, so mehanske lastnosti v smeri pravokotno na vlakna bistveno nižje (razmerje med dopustnima tlačnima napetostima v dveh pravokotnih smereh znaša za iglavce

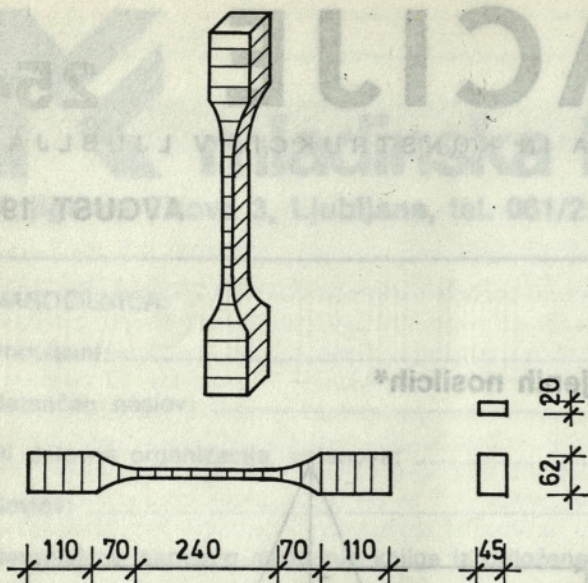
$$\sigma_{\text{dop,||}}^{\text{tl}} / \sigma_{\text{dop,\perp}}^{\text{tl}} = 100/30 = 5,$$

razmerje med moduloma elastičnosti pa

$$E_{||} / E_{\perp} = 100/30 \approx 30).$$

Posebno neugodna obremenitev za les je nateg, ki deluje pravokotno na vlakna. Zato predpisi PTP 8 teh obremenitev ne dopušča (čl. 1), ampak je potrebno t. i. radialni nateg oz. radialni upogib prevzeti z ustreznimi spojnimi sredstvi.

Osnutek novega jugoslovenskega pravilnika za lesene konstrukcije, ki detajlneje obravnava lamelirane lepljene konstrukcije, ni pa še v veljavi, pa to obremenitev dopušča. V njem so namreč podane dopustne vrednosti prečnih nateznih napetosti po površini lepila, torej morajo enake obremenitve prevzeti tudi vlakna lamel. Po delovnem osnutku novega pravilnika iz leta 1979 znašajo te dopustne napetosti za rezorcinol-formaldehidna lepila 0,4 MPa oz. 1/3 natezne trdnosti, dobljene s preiskavami (maksimalno 0,5 MPa).*



Slika 2. Preizkušavec za preiskavo $\sigma_{n,\perp}$ in diagram obtežba-pomik

Preiskave natezne trdnosti lepljenega lesa pravokotno na vlakna

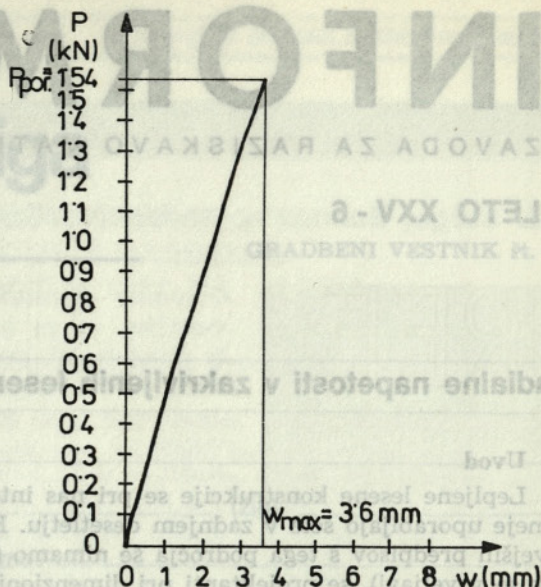
Na ZRMK smo med preiskavami karakterističnih mehanskih lastnosti lepljenega lesa izvršili tudi več preiskav natezne trdnosti pravokotno na vlakna oz. na lepljene spoje. Preiskave smo ob pomanjkanju ustreznih standardov izvršili na nestandardnih vzorcih, ki so bili izbrani tako, da so bili pri lastnostih materiala zajeti tudi lepljeni spoji. Vzorci so imeli zato večje dimenzije, razmerja dimenzij pa so bila enaka oz. podobna, kot pri standardnih vzorcih za preiskave lesa. Na sliki 2 so prikazane dimenzije preizkušavca ter karakteristični diagram obtežba-pomik, na sliki 3 pa porušitev preizkušavca v trgalnem stroju.

Iz diagrama, ki prikazuje odvisnost pomika prečno na vlakna od natezne obremenitve, vidimo da se pomiki linearno večajo do zloma. Porušitev torej ne napoveduje povečanje deformacij, kar je značilnost krhklega loma.

V tabeli 1 so podane povprečne vrednosti nateznih trdnosti, vrednosti standardnega odklona ter koeficienti variacije za vse izvršene preiskave (pri vsaki preiskavi je bilo preiskanih po 6 vzorcev). Iz rezultatov lahko sklepamo, da je natezna trdnost pravokotno na vlakna odvisna tudi od debeline lamel. Zaradi majhnega števila vzorcev in sorazmerno velikega raztrosa rezultatov so te vrednosti bolj informativne in bomo s preiskavami v tej smeri nadaljevali.

Že zdaj pa ugotavljamo, da so ob zahtevi predloga novega pravilnika, da sme znašati dopustna napetost največ 1/3 trdnosti, vrednosti dopustnih nateznih napetosti pravokotno na lepljene spoje izredno visoke.

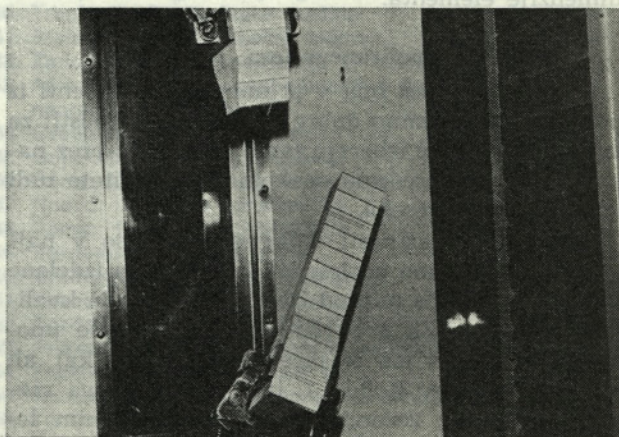
* V kasneje spremenjenem osnutku je vrednost dopustnih nateznih napetosti pravokotno na vlakna znižana na 0,25 MPa.



Preizkus št.	$\bar{\sigma}_{n,\perp}$ (MPa)	s (MPa)	$v = 100 \cdot \frac{s}{\bar{\sigma}_{n,\perp}}$ (%)	Opombe:
I	1,28	0,20	15	lamelle 2 cm
II	1,20	0,15	13	
III	1,90	0,19	10	lamelle 3,2 cm
IV	1,91	0,17	9	

Tabela 1. Natezne trdnosti pravokotno na vlakna

Dopustne vrednosti po pravilniku (0,4 MPa), dobimo ob upoštevanju rezultatov preiskav le pri povprečnih nateznih trdnostih, če pa upoštevamo še standardni odklon rezultatov, morajo biti dopustne napetosti nižje. Do teh zaključkov smo prišli na osnovi preiskav enosnih preizkušavcev, znano pa je, da kombinirana upogibno-natezna obremenitev neugodno vpliva na trdnostne lastnosti lesa, kar so potrdile tudi naše nadaljnje preiskave.



Slika 3. Porušitev preizkušavca v trgalnem stroju

Jelena Srpčič, dipl. inž. gradb.

(Nadaljevanje prihodnjič)

Seznam skript in učbenikov VTO gradbeništvo in geodezija v Ljubljani

AVTOR	NASLOV	LETNICA	CENA
1. CERAR S.	Osnove gradbene mehanike: statika	1981	760,—
2. ČUČEK I.	Fotogrametrija	1974	50,—
3. FAJFAR P.	Dinamika gradbenih konstrukcij	1984	2500,—
4. FAJFAR P.	Osnove dinamike	1980	150,—
5. KILAR B.	Sferna trigonometrija z uporabo v geodeziji	1983	1000,—
6. KILAR B.	Približna določitev astronom. geografskih koordinat in azimuta	1978	80,—
7. OZVALD B.	Tehnično risanje	1977	60,—
8. PAJK M.	Kalkulacije gradbenih del	1982	400,—
9. PAJK M.	Gradbeno poslovanje	1982	200,—
10. POGAČNIK A.	Urbanistično planiranje	1984	1900,—
11. POGAČNIK A.	Urbanizem Slovenije	1983	570,—
12. PREGL M.	Osnove matričnega računa	1977	20,—
13. PRELOG E.	Statika gradbenih konstrukcij I	1978	180,—
14. PRELOG E.	Statika gradbenih konstrukcij II	1979	275,—
15. PRELOG E.	Računanje gradbenih konstrukcij I	1979	200,—
16. PRELOG E.	Računanje gradbenih konstrukcij II	1980	300,—
17. PŠENIČNIK M.	Hidravlika	1979	200,—
18. RAJAR R.	Hidravlika nestalnega toka	1980	300,—
19. VODOPIVEC F.	Razdaljemer in trilateracija	1982	280,—
20. VRIŠER I.	Urbana geografija	1984	1100,—
21. ŠUKLJE L.	Mehanika tal	1984	1200,—