

GEOLOŠKE RAZMERE NA OBMOČJU PROJEKTIRANIH HIDROELEKTRARN NA DRAVI MED MARIBOROM IN PTUJEM

Marko Breznik in Ljubo Žlebnik

Z 1 sliko med tekstem in z 2 slikama v prilogi

Uvod

Z dograditvijo hidroelektrarne Ožbalt bo izpolnjen poslednji člen v verigi hidroelektrarn v zgornji dravski dolini med Dravogradom in Mariborom. Ves strmec reke Drave na tem območju bo izkoriščen, medtem ko njena vodna energija v ravnini še ni izrabljena.

Pregledne geološke raziskave za potrebe osnovnega energetskega projekta za Dravo med Mariborom in Dravskim Središčem so se začele že l. 1956, ko je bilo tod izvrtanih okrog 40 vrtin. Naslednje leto so se začele intenzivne raziskave v okviru idejnega projekta za hidroelektrarno Hajdoše; nadaljevale so se s presledki do konca leta 1960. Leta 1958 in 1959 so bile končane raziskave za projekt hidroelektrarne Duplek, v letih 1960 in 1961 pa še za idejni projekt hidroelektrarne Loka. Vsa raziskovalna dela so bila izvršena po naročilu Elektrogospodarske skupnosti Slovenije.

Prva v spodnjedravski verigi hidroelektrarn bo zgrajena HE Hajdoše, približno 3 km zahodno od Ptuja. Elektrarna je rečnega tipa, z jezom in strojnico v Hajdošah ter velikim akumulacijskim bazenom, ki bo segal do Rošnje.

Vodni strmec med Rošnjo in Mariborom bo prav tako izkoriščen. Po zamisli projektantov je možno vodno energijo na tem odseku izrabiti na dva popolnoma različna načina: z izgradnjo dveh hidroelektrarn rečnega tipa v Melju in v Dupleku, ali pa z eno samo stopnjo, z jezom v Melju in 9 km dolgim dovodnim kanalom do strojnice v Loki, ki bo izkoristila ves strmec. Po kalkulacijah bi bila izvedba po varianti z dvema hidroelektrarnama znatno dražja.

Splošen geološki opis

Na ozemlju med Mariborom in Ptujem teče Drava povečini ob robu Slovenskih goric v smeri severozahod—jugovzhod. Levi breg reke sestavljajo pretežno terciarni sedimenti, desnega pa pleistocenski in holocenski prod in pesek, s katerim je zasuto Dravsko polje.

Celotno območje med Slovenskimi goricami in Halozami delimo na tri enote: antiklinorij Slovenske gorice, ptujsko-ljutomersko sinklinalo in

antiklinorij Haloze. Slovenske gorice, ki jih sestavljajo različni terciarni sedimenti, sestoje iz več vzporednih antiklinal in sinklinal s smerjo jugozahod—severovzhod. Najseverneje poteka antiklinala Kungota—Jarenina—Cmurek. Južno od tod je plitva sinklinala z osjo od Maribora preko Št. Jurija do Radgone. Še južneje poteka antiklinala Duplek—Murska Sobota s številnimi lokalnimi izboklinami. Antiklinala proti jugovzhodu strmo tone v ptujsko-ljutomersko sinklinalo, ki jo zapolnjujejo mlajšepliocenski sedimenti.

Sinklinala je na jugu omejena z močnim prelomom, ki poteka od Črešnjevca pri Slovenski Bistrici preko Ptujске gore, Zabovcev, severno od Bukovcev preko Zavrča proti Ljutomeru. Ob prelomu so terciarne plasti Haloz postavljene v navpično lego, ali pa celo narinjene proti severu.

Haloze, ki jih na severu omejuje od ptujsko-ljutomerske sinklinale prelom, so izredno zamotano zgrajen antiklinorij, sestavljen iz terciarnih, pa tudi triadnih, permskih in karbonskih sedimentov.

Stratigrafsko zaporedje skladov v Slovenskih goricah najlepše sledimo na levem bregu Drave, kajti reka preseka v svojem toku med Mariborskim otokom in Ptujem vse terciarne plasti od spodnjemiocenskih do pliocenskih. Najstarejši terciarni skladi so razgaljeni v okolici Mariborskega otoka. Sestavljajo jih temno sivi peščeni laporji z vložki peščenjakov in konglomeratov spodnjemiocenske starosti.

Južno od tod preseka Drava mariborsko-radgonsko sinklinalo, ki jo zapolnjujejo spodnjertonski plastoviti laporji z vložki kremenovih peščenjakov in tufitov. Pri Dupleku preide reka v antiklinalo Duplek—Murska Sobota. Sestavljajo jo spodnjertonski laporji, litavski apnenci in peščenjaki z vložki laporja. Litavski apnenci so debeli okrog 100 m in se razprostirajo v precej širokem pasu od Dupleka do Lenarta.

Na apnencih leže srednjertonski laporji in peščeni laporji, ki zavzemajo okrog 1 km širok pas od Dupleka do Žitečke vasi. Plasti pripadajo severnemu krilu ptujsko-ljutomerske sinklinale in so nagnjene proti jugovzhodu.

Od Žitečke vasi proti Ptuju si slede vedno mlajše plasti. Med Žitečko vasjo in Spodnjim Duplekom so razviti spodnjesar matski in srednjesar matski peščeni laporji z vložki peska ter srednjesar matski peski z vložki peščenega laporja in gline.

Sarmatske sedimente prekrivajo pliocenske usedline, ki zapolnjujejo osrednji del ptujsko-ljutomerske sinklinale. Med Spodnjim Duplekom in Martinom so razviti panonski peščeni laporji in peski. Od tod pa do Ptuja je gričevje na levem bregu Drave sestavljeno iz mlajšepliocenskih sladkovodnih plasti, ki pripadajo horizontu *Unio wetzleri*. Spodnji del sedimentov zastopajo gosto zbit prod s peskom, konglomerat z lečami peska in peščenjaka, lapor in glina. V zgornjem delu prevladujeta konglomerat in prod z lečami peska in peščenjaka.

Terciarni sedimenti Slovenskih goric tonejo proti zahodu pod kvartarne naplavine Drave. Debelina kvartarnih naplavin je na severovzhodnem obrobju Dravskega polja med Dravo in cesto Maribor—Ptuj razmeroma majhna. Terciarna podlaga leži 5 m, do največ 15 m pod koto dna

današnje struge; prekrita je s pleistocenskim in holocenskim prodom in peskom.

Majhna debelina kvartarnih naplavin na severovzhodnem obrobju Dravskega polja dokazuje, da vsaj ta del Dravskega polja ni mlada tektonska udorina. Nastal je z erozijo Drave, ki si je v kvartarju vrezovala svojo strugo vedno bolj proti vzhodu v terciarne plasti Slovenskih goric in jo nato postopno zasipala z rečnimi naplavinami. Tako je nastala današnja ravnina ob Dravi.

Po podatkih vrtin, izvrtanih v okviru raziskovalnih del za projektiranje HE Loka, HE Duplek in HE Hajdoše, sestavljajo terciarno podlago pod kvartarnimi naplavinami med Mariborom in vrtino DC₂ v Dolgošah tortonski sedimenti, med vrtino DČ₂ in vrtino S₂ v Loki pa sarmatske plasti. Vse vrtine v območju akumulacijskega bazena, jezu in odvodnega kanala hidroelektrarne Hajdoše so zadele pod kvartarnim prodom na mlajšepliocenske sedimente horizonta Unio wetzleri.

Pleistocenske naplavine dravskega polja sestavlja prod s peskom, med katerega so vložene plasti in leče peska. V Stražunskem gozdu opazimo tudi vložke gline. Kjer so bili ugodni pogoji za proces diageneze, se je prod sprjel v rahlo vezan konglomerat, ki sestavlja 0,5 do 1,0 m debele plasti in leče. Konglomeratni vložki so predvsem na robovih teras, pa tudi drugje.

Na severnem robu polja, predvsem okoli Maribora, je prod mnogo bolj grob kot v osrednjem in južnem delu. V številnih gramoznicah v Mariboru so med prodom vložene debele plasti zelo debelega proda: posamezni prodniki in bloki merijo do 1 m v premeru.

Omenili smo že, da je Dravsko polje nastalo v pleistocenu, ko se je Drava postopno vrezovala v terciarni relief in ga v fazah tektonskega mirovanja ali grezanja zasula s prodnimi naplavinami. V poznejših fazah si je vrezala svojo strugo v lastne naplavine, kar dokazujejo številne terase. Skupno zasledimo na severovzhodnem robu Dravskega polja 4 terase. Najvišja terasa na n. m. višini 270 m v Teznem se razprostira od Teznega čez Tezenski gozd proti cesti Rogoza—Miklavž. Rob naslednje terase (na n. m. višini 265 m) v Mariboru poteka vzporedno z višjo teraso od Maribora, mimo Brezij, Dolgoš, Miklavža, Šmarjete, Njiverk na Ptujsko polje. Terasi sta nagnjeni proti Ptujju. Naklon teras je okrog 1,8 ‰. Na levem bregu Drave je le nekaj ostankov teh teras pri Zgornjem Dupleku, v okolici Spodnjega Dupleka in v okolici Martina.

Najmlajša pleistocenska terasa poteka vzporedno z Dravo od Pobrežja, mimo Zrkovcev, Dolgoš, Miklavža, Loke, Gerečje vasi in Zgornje Hajdine na Ptujsko polje. Pri Loki se od nje odcepi 2 do 3 m nižja terasa, katere rob poteka vzporedno s cesto Maribor—Ptuj in naprej na Ptujsko polje. Ostanki te najnižje pleistocenske terase so ohranjeni tudi na Pobrežju ter med Zrkovci in Dolgošami.

Pod nizko pleistocensko teraso se razprostira holocenska ravnina, ki spremlja Dravo od Maribora do Ptujja v 1 do 3 km širokem pasu. Ravnina je lažno valovita in presekana s številnimi starimi strugami in rokavi Drave. Na površini je prekrita z 0,5 do 3 m debelo plastjo peska z meljem. Pod peščeno meljasto plastjo je prod s peskom zelo neenakomerne sestave.

Po podatkih vrtin, izvrtanih v holocenski ravnini ob Dravi med Mariborom in Ptujem, se zelo hitro menjavajo plasti in leče proda (premer 20 mm) s peskom, plasti dobro granuliranega proda s peskom, peska in peska s prodniki.

Še določnejšo sliko o heterogeni sestavi mlajšekvartarnih naplavin nam dajo podatki o vrednostih koeficienta propustnosti »K«, izračunani za različne kraje med Mariborom in Ptujem. Propustnost proda smo ugotovili s črpalnimi in nalivalnimi poizkusi.

Vrednosti koeficientov »K« niso povsod popolnoma enakovredne. Na mestih, kjer je nepropustna podlaga razmeroma plitvo, je bila dosežena zaradi manjšega dotoka pri isti zmogljivosti črpalke in istem premeru vrtine večja depresija in s tem tudi točnejši rezultati, kot pa tam, kjer je nepropustna podlaga globoko. Pregled vrednosti koeficienta »K« za nekatera mesta podajamo v 1. tabeli.

Koeficienti propustnosti »K«

1. tabela

| Črpalna vrtina | Mesto vrtine | Koeficient »K« cm/sek | Debelina kvartarnih naplavin m | Depresija ali dvig gladine m | Q l/sek |
|-----------------|--------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|------------|
| Z ₁₁ | Melje | 5,77 · 10 ⁻¹ do 1,44 · 10 ⁻¹ | 19,2 | 0,6 | 14,31 |
| DČ ₄ | Dolgoše | 4,19 · 10 ⁻¹ do 1,04 · 10 ⁻¹ | 14,6 | 0,79 | 8,8 |
| DČ ₃ | Zg. Duplek | 4,68 · 10 ⁻² do 1,95 · 10 ⁻² | >15,0 | 0,98 | 5,6 |
| Č ₂₀ | Martin | 1,5 do 6,80 · 10 ⁻¹ | >15,0 | 0,14 | 8,55 |
| Č ₁₅ | Starše | 5,00 · 10 ⁻¹ do 1,00 · 10 ⁻¹ | >15,0 | 0,50 | 8,93 |
| Č ₁₀ | Slovenja vas | 2,00 · 10 ⁻¹ do 1,00 · 10 ⁻¹ | 9,2 | 1,10 | 9,80 |
| Č ₁ | Hajdoše | 7,00 · 10 ⁻² do 2,00 · 10 ⁻² | 6,2 | 0,70 | 1,44 |

Ponekod ležita holocenski prod in pesek neposredno na terciarni podlagi, ker je Drava odnesla ves pleistocenski zasip. Povečini pa sta pod holocenskimi naplavinami še pleistocenski prod in pesek.

Iz tabele vidimo, da vrednost koeficienta »K« postaja manjša nizvodno od Maribora proti Ptuju. Izjemoma naraste v odseku med Martinom in Staršami, kjer debelina kvartarnih naplavin presega 15 m. Anomalijo si lahko razložimo tako, da je na tem odseku pod holocenskimi naplavinami še bolj propusten in bolj debel pleistocenski prod.

Geološke razmere na območju posameznih projektiranih hidroelektrarn

Hidroelektrarna Loka na Dravi

Strmec Drave od HE Mariborski otok do projektirane hidroelektrarne Hajdoše bo izkoristila HE Loka. Hidroelektrarna bo kanalskega tipa z jezom v Melju in akumulacijskim bazenom do Mariborskega otoka. Od jez

vodi 9 km dolg kanal mimo Miklavža do strojnice v Loki. Iz strojnice bo voda odtekala po 1,5 km dolgem odvodnem kanalu v Dravo.

Akumulacijski bazen. Po projektu se bo voda v bodočem akumulacijskem bazenu dvignila na koto 253 m. Umetni dvig gladine bo v Melju 7 do 8 m, proti Mariborskemu otoku pa se bo zaradi strmca Drave zmanjšal na 1 m.

Akumulacijski bazen leži na pleistocenskih in holocenskih naplavinah, ki sestojijo iz proda in peska. Pleistocenski prod je delno sprijet v konglomerat. Debelina kvartarnih naplavin niha od 1 m v dravski strugi do 40 m na najvišjih terasah. Vsi kvartarni sedimenti so močno propustni, zato je za ocenitev vododržnosti bazena treba poznati njihovo debelino in razprostranjenost v celotnem bazenu in njegovem zaledju.

Nepropustno podlago kvartarnih naplavin v bazenu sestavljajo miocenski laporji, peščeni laporji, sljudnati peščenjaki, trde glinice in tufiti.

Desni breg bazena. V bližini projektiranega jezusa so na desnem bregu razgaljeni laporji, ki segajo do kote 254 m. Vrtine, ki so bile izvrtane v starem profilu jezusa okrog 150 nizvodno od meljskega mostu, so zadele na terciarno podlago na koti 230 m do 234 m. V vrtinah za novi cestni most je terciarna podlaga na koti 235 m do 237 m. Pod HE Mariborski otok so miocenski peščeni laporji 1 m nad gladino Drave.

Geološke raziskave za mariborski vodovod v letih 1941 do 1950 nam dajo nekaj skopih podatkov o globini terciarne podlage in gladini podtalnice. Na Teznu in Betnavi je nepropustna podlaga na koti 250 do 254 m. Po kartah hidroizohips iz leta 1899 pada gladina podtalnice od Pohorja proti Dravi. Ti podatki se ujemajo s podatki iz »Hidrološke karte območja Dravskega polja«, ki jo je izdelal leta 1957 Hidrometeorološki zavod LRS. V območju Tezna in Pobrežja je tok podtalnice usmerjen proti severovzhodu, južno od tod pa proti vzhodu. Po poteku hidroizohips sklepamo, da teče podtalnica proti Dravi.

Ko se bo voda v akumulacijskem bazenu dvignila na koto 253 m, se bodo hidrološke razmere na njegovem območju bistveno spremenile. Smer toka podtalnice se bo spremenila; namesto v Dravo, bo podtalnica tekla iz bazena v naplavino, nizvodno od jezusa pa zopet v Dravo.

Za oceno vodnih izgub iz bazena smo konstruirali strujnice ponikle vode in izračunali vodne izgube za posamezne pasove, široke 200 m. Pri tem moramo poznati debelino aktivne propustne plasti, po kateri se bo precejala voda, dolžino poti L , na kateri bo voda pronicala, ter razliko med zgornjo in spodnjo gladino vode H .

$$\text{Vodne izgube smo računali po formuli } Q = F \cdot \frac{H}{L} \cdot K.$$

Debelina aktivne propustne plasti, skozi katero se bo precejala voda iz bazena, je 7 m; to je razlika med sedanjo gladino podtalnice, ki je na koti 246 m, in dvigom vodne gladine v bazenu na 253 m. Dolžina poti in razlika vodnih gladin pa je za vsak posamezni pas med strujnicami

različna. Za območje na nizvodni strani jezua podajamo kote nepropustne podlage in kote gladine podtalnice v 2. tabeli.

Nadmorske višine nepropustne podlage in gladine podtalnice

2. tabela

| Kraj | Kota nepropustne podlage m | Kota gladine podtalnice m |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| območje neposredno pod jezum | 244 do 240 | 245 |
| V ₂₁ , okrog 2,1 km pod jezum | 232 | 241,3 |
| V ₉ , okrog 4,3 km pod jezum | 231 | 240 |
| V ₈ , okrog 1,6 km nad cestnim mostom v Dupleku | 233 | 239,5 |
| Miklavž | 235 | 240 |
| D ₁₃ , okrog 200 m pod cestnim mostom v Dupleku | 223 | 237,5 |
| D ₁ , okrog 2,8 km pod cestnim mostom v Dupleku | 221 | 235 |

Ker na območju nizvodno od jezua niso bili izvedeni črpalni poizkusi, smo cenili vodne izgube za tri voljene vrednosti koeficientov propustnosti »K«: $K_1 = 1$ cm/sek, $K_2 = 1 \cdot 10^{-1}$ cm/sek, $K_3 = 1 \cdot 10^{-2}$ cm/sek. Za vrednost K_1 so vodne izgube 0,539 m³/sek, za vrednost K_2 0,054 m³/sek, za vrednost K_3 pa 0,0054 m³/sek. Količina vode, ki se bo izgubljala na desnem bregu bazena, je ekonomsko nepomembna.

Pri tovarni Svila bo dovodni kanal zaprl iztek pronicajoče vode iz bazena, zato se bo gladina podtalnice znatno dvignila, morda celo poplavila nizko teraso (kota 250 m), na kateri stoji tovarna. Potrebno bo zgraditi drenažni kanal, po katerem se bo odtekala voda.

Levi breg bazena. Levi bok jezua v Melju je le okoli 100 m oddaljen od Meljskega hriba, ki je zgrajen iz nepropustnih laporjev tortonske starosti. Absolutno tesnitev bazena bi lahko na tem mestu dosegli s tesnilnim zidom do nepropustne podlage.

Del Melja z raznimi industrijskimi napravami je niže, kot bo gladina vode v bazenu, zato bo treba to območje posebej zatesniti. V ta namen smo preiskali geološke razmere na levem bregu Drave s številnimi vrtnami, razporejenimi od jezua do železniškega mostu, in na območju samega Melja. S črpalnimi poizkusi pa smo ugotovili koeficient propustnosti »K«.

Nepropustna terciarna podlaga je v bližini jezua le 4 km pod površino, v vzvodni smeri pa pada in je pri železniškem mostu 22 m globoko.

V Melju je nepropustna podlaga 12 do 21,5 m globoko. Gladina podtalnice niha med kotama 246 m in 248 m ter se proti hribu dviga. Propustnost kvartarnih naplavin je velika od 0,24 do 0,45 cm/sek.

Levi breg je mogoče zatesniti na več načinov. Najbolj zanesljivo, toda najdražje je, zabiti zagatno steno ob Dravi in po eni prečnih ulic na Dravo. Poleg tega je potrebna še drenaža, da bi odvajali površinske vode, ki se bodo stekale z bližnjega gričevja, in vode, ki bodo pronicale skozi netesna mesta v zagatni steni.

Tehnično je izvedljiva tudi druga rešitev, po kateri bi površinsko zatesnili že obstoječo oblogo dravskih bregov in zgradili večjo drenažo, ki bi lahko odvajala vso poniklo vodo. Vsekakor pa je treba tak sistem tesnenja računsko analizirati.

Jez. Po projektu se bo gladina zajezone Drave v Melju dvignila od sedanje povprečne kote 246 m na 253 m.

Ker mesto pregrade ni bilo dokončno določeno, smo preiskali 3 profile v spodnjem delu Melja; prvega tik pred zavojem Drave pod Meljskim hribom, drugega v zavoju in okrog 100 m nizvodno še tretjega.

Geološko so vsi trije profili enakovredni. V prvem profilu sicer sega lapor na desnem bregu do kote zaježitve, vendar zaradi tega ta profil nima nobene prednosti, ker je na tem mestu vtočni objekt.

Za gradnjo bo moral projektant izbirati med drugim in tretjim profilom. V drugem profilu je debelina prodne naplavine v sredini in v desnem delu struge okrog 1 m, v levem delu pa od 4 m do 6 m. Temelji jezovne zgradbe bodo vkopani v laporno podlago. V tretjem, nizvodnem profilu, je debelina proda v sredini struge in v levem delu struge zelo majhna, v desnem delu struge pa niha od 2,5 m do 3,5 m.

Jez bo temeljen na tortonskih sedimentih. Prevladuje trd, debelo plastovit, nekoliko peščen lapor. Vmes so 0,5 do 1,5 m debele plasti tanko plastovitega, nekoliko peščenega laporja in redke 5 do 20 cm debele plasti gosto zbitega, nekoliko sprijetega peska. Plasti položno vpadajo proti severovzhodu in vzhodu v smeri rečnega toka. Preprežene so s številnimi drsami, ob katerih so se plasti nekoliko premaknile. Kjer je več drs zelo blizu skupaj, je lapor med njimi zdobljen, vendar ni zmešan v glino. Pesek, ki vsebuje tudi nekaj melja, je ob drsah nekoliko zmešan.

Meritve vodopropustnosti so v vseh vrtnah dale ugodne rezultate. Vodne izgube so bile pri 10 kp/cm² pritiska med 0,0 in 2,0 l/min/m, le v eni vrtni je izguba znašala 4,25 l/min/m.

Pogoji temeljenja za jez so ugodni. Lapor je možno obremeniti z 10 kp/cm². Tudi pesek, ki je vložen med lapor, je močno konsolidiran. Upoštevati moramo namreč obremenitev v prejšnjih geoloških dobah, ko so bile odložene na tortonske sedimente mlajše miocenske, pliocenske in verjetno tudi pleistocenske plasti, ki so bile pozneje odnesene.

Odpornost peska proti zdrsu bo treba še laboratorijsko preiskati. Ker so plasti peska tanke in redke, bo možno objekt temeljiti na laporju.

Vododržnost laporja je skoraj popolna, potrebne so le plitve vezne injekcije in plitve tesnilne injekcije tam, kjer je lapor razpokan, kar bo mogoče ugotoviti v gradbeni jami.

Dovodni kanal bo potekal v začetnem delu od 0,0 do 0,5 km po nizki holocenski terasi. Oporni zidovi kanala bodo lahko temeljeni na laporju, ki je plitvo pod površino.

V odseku od 0,5 do 2,5 km poteka dovodni kanal po nizki terasi, pokriti s holocenskim peskom, pod katerim je prod, ponekod sprijet v rahlo vezan konglomerat.

Od 2,5 do 6,5 km leži kanal na pleistocenski terasi, ki sestoji pretežno iz proda različne granulacije, iz vložkov peska ter leč konglomerata in plasti samic. Samice s premerom do 1 m so pogostne v pleistocenskih terasah na desnem bregu Drave na Teznem in Pobrežju. Konglomeratne leče, debele 0,3 do 1,5 m, je opaziti na terasah na Pobrežju in v gramoznici v Dolgošah.

Od 6,5 do 7,8 km poteka dovodni kanal po robu pleistocenske terase. Pretežni del dna kanala in nasip, ki je bližje reki, je na holocenski nizki terasi. Holocenska terasa je ponekod pokrita z lahko gnetno organsko glino. Gladina podtalnice je 0,15 m pod površino. Pod robom pleistocenske terase izvira Miklavška Studenčnica. Lahko gnetna organska glina ni primerna za temeljenje kanala in jo bo treba povsod, kjer nastopa v trasi kanala, odstraniti.

Odsek od 7,8 do 9,0 km je na pleistocenski terasi podobne sestave kot odsek 2,5 do 6,5 km.

Dno kanala je nad gladino podtalne vode, razen v začetnem delu od 0,0 km do 0,8 km.

Strojnica leži na holocenski nizki terasi. Izvrtali smo vrtini S_5 in S_6 . V vrstini S_5 smo ugotovili naslednjo geološko sestavo:

| | |
|-----------------|--|
| 0,00 — 1,00 m | peščen glinast melj |
| 1,00 — 17,20 m | prod, pesek, delno meljast in nekoliko kamenja |
| 17,20 — 17,60 m | rjava srednje gnetna glina |
| 17,60 — 18,40 m | siva srednje gnetna lapornata glina |
| 18,40 — 22,50 m | siv tanko plastovit peščen lapor, težko gneten in poltrd; siva lapornata glina, srednje in težko gnetna. Verjetno so mehanski učinki vrtnanja pregnetli lapor v lapornato glino. |

Gladina podtalnice je okrog 3,0 m pod površino, vodopropustnost pa je na odseku 17,50 do 22,50 m pri 10 kp/cm² pritiska le 1,36 l/min/m, kar je ugoden podatek.

Podobne so razmere v vrtini S_6 . Površinska glinasta plast je holocenska, prod in pesek sta holocenske in pleistocenske starosti. Peščen lapor in lapornata glina sta sarmatske starosti. Popolnoma ekvivalentne sarmatske sedimente smo ugotovili tudi v bližnjih vrtinah S_1 , S_2 , S_4 , z izjemo lapornate gline s prodniki, ki je ni v vrtinah S_5 in S_6 . V vrtini V_7 v bližini mesta strojnice je poleg peščenega laporja in lapornate gline tudi pesek.

Temelji strojnice v Loki bodo okrog 19 m pod površino v sarmatskem peščenem laporju in lapornati glini. Pogoji temeljenja so ugodni. Vodo-

propustnost je majhna. Sarmatske plasti so bile v mlajših geoloških dobah obremenjene s pliocenskimi in pleistocenskimi sedimenti, ki so bili pozneje odneseni. Plasti so zaradi tega že dobro konsolidirane in bodo usedki le majhni.

Sarmatske plasti so nagnjene pod kotom 10° proti jugovzhodu, v smeri toka vode v kanalu. Strižno odpornost gline in laporja bo treba laboratorijsko preiskati. S primernim oblikovanjem konstrukcije bo možno doseči zadovoljivo varnost proti zdrsu.

Sarmatske sedimente je treba preiskati dovolj globoko pod temelje, ker je možno, da so v večji globini bolj stisljivi sedimenti.

Podtalnica je plitvo pod površino. Vodonosni prod in pesek sta močno propustna, zato izkop gradbene jame brez tesnitve nikakor ne bo možen. Dno gradbene jame bo zatesnjeno s skoraj nepropustnimi sarmatskimi sedimenti.

Ovodni kanal. dolg 1,5 km, leži na holocenski nizki terasi. Sestavo holocenskih in pleistocenskih sedimentov smo preiskali s 7 vrtinami. Na površini je 1 do 2 m peska z meljem in peščene meljaste gline. Globlje je prod s peskom, med katerega so vložene plasti kamenja in debelega proda. Konglomeratnih leč z vrtanjem nismo ugotovili, niso pa izključene.

Podtalnica je 2 do 3 m pod površino. Prod je močno propusten. Med vrtanjem se je v nekaterih vrtinah pojavil tkoč pesek, ki je z dna vrtine prodiral navzgor v obložne cevi.

Hidroelektrarna Hajdoše na Dravi

Strmec Drave med hidroelektrarno Loka in hidroelektrarno Borl-Ormož bo izkoristila hidroelektrarna Hajdoše z jezom in strojnico v Hajdošah ter velikim akumulacijskim bazenom, ki bo segal do Rošnje. Iz strojnice, ki bo na levem bregu Drave, bo odtekala voda po 1,8 km dolgem odvodnem kanalu v Dravo. Geološke razmere na območju elektrarne smo raziskali s številnimi vrtinami, z geotehničnimi laboratorijskimi in terenskimi preiskavami ter inženirsko geološkim in hidrološkim kartiranjem celotnega območja. Elektrarna je že v gradnji.

Akumulacijski bazen se bo razprostiral na ravnini ob Dravi med Hajdošami in Rošnjo. Da ne bi zajezena Drava preplavila prevelikih površin obdelovalne zemlje, bodo zgrajeni obrambni nasipi. Na desnem bregu bo obrambni nasip segal od Hajdoš do Rošnje in bo dolg 8,5 km. Levi breg Drave od Orešja do Vurberga tvori terciarno gričevje Slovenskih goric. Med Vurbergom in Martinom, kjer je struga Drave precej odmaknjena od gričevja, bo treba zgraditi 3,7 km dolg nasip.

Gričevje na levem bregu Drave je zgrajeno iz mlajših pliocenskih sedimentov, ki pripadajo horizontu Unio wetzleri. Sestavljajo ga sladkovodne plasti gosto zbitega proda, konglomerata, peska, gline in laporja. Levi breg Drave sestavljajo pliocenski sedimenti, delno prekriti s pleistocenskim in holocenskim prodom in peskom.

Na desnem bregu so pliocenski sedimenti prekriti s 5 m do preko 15 m debelo plastjo kvartarnega proda in peska, ki prekriva holocensko

ravnino ob Dravi. Ravnina je široka 1 do 2 km. Na zahodu jo omejuje ježa prve pleistocenske prodne terase, na kateri stoje vasi Rošnja, Starše, Zlatoličje, Slovenja vas in Hajdoše.

Pliocenske plasti na levem bregu Drave so kot celota nepropustne. Prod, konglomerat in pesek so zaradi obremenitve mlajših naplavin, ki so se odlagale nanje, že popolnoma konsolidirani, gosto zbiti in zelo malo propustni. Koeficient propustnosti »K« za pliocenski prod niha od $1 \cdot 10^{-2}$ cm/sek do $1 \cdot 10^{-4}$ cm/sek. Podatke o velikosti koeficienta »K« smo dobili s črpalnim poizkusom, s preizkusom vodopropustnosti po Lugeonu in z laboratorijskimi preiskavami na terenu. Pliocenski konglomerat in pesek sta mnogo manj propustna kot prod.

Med prodom, konglomeratom in peskom so vložene 1 do 10 m debele nepropustne plasti gline in laporja. Pri preizkusih vodopropustnosti so bile izgube vode v odsekih vrtin, kjer sta sestavljala stene glina in lapor, pri 10 kp/cm^2 pritiska povsem neznatne.

Pliocenske plasti horizonta Unio wetzleri so v splošnem nagnjene v smeri rečnega toka in proti ravnini, zato bodo nepropustne plasti gline in laporja, vložene med prodom in konglomeratom, onemogočale izgubljanje vode iz bazena. V grobem jih lahko razdelimo na spodnji in zgornji del. Spodnji del horizonta Unio wetzleri sestavljata prod in konglomerat s številnimi vložki in lečami gline, laporja in peščenjaka. Zgornji del je zgrajen pretežno iz proda, konglomerata in peska z redkimi vložki peščene gline in peščenega laporja.

Zgornja meja spodnjega dela horizonta Unio wetzleri je v bližini Vurberga na koti 270 m, v profilu pregrade na levem bregu pa na koti 233 m ali malo nižje. Strugo Drave doseže okrog 800 m nizvodno od pregrade. Plasti padajo zelo položno proti jugovzhodu, delno so tudi horizontalne.

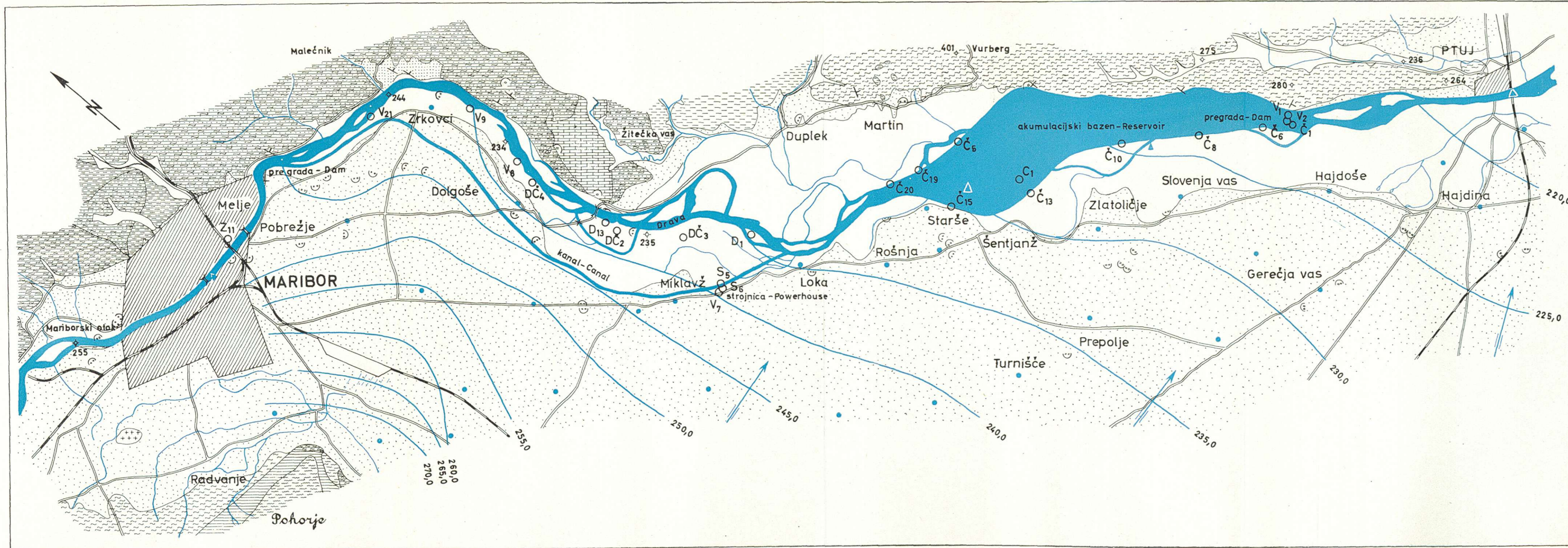
V območju pregrade sestoji pobočje nad levim bregom Drave iz konglomerata in proda z debelejšimi vložki peska, peščenjaka in peščene gline. Ti skladi pripadajo zgornjemu delu horizonta Unio wetzleri.

Obrambni nasipi. Desni breg Drave je nižinski, zato bo treba vzdolž struge zgraditi obrambni nasip, ki bo temeljen na holocenskem pesku inrodu. Prav tako je predvidena izgradnja obrambnega nasipa na levem bregu Drave v ravnini pod Vurbergom.

Peščena meljasta plast, ki prekriva nizko holocensko teraso ob Dravi, bo naravna površinska tesnilna preproga pred nasipom. Koeficient propustnosti peščene meljaste plasti niha od $1 \cdot 10^{-2}$ cm/sek do $4 \cdot 10^{-6}$ cm/sek. Podatki so bili dobljeni s številnimi preiskavami v eodometru v laboratoriju in v permeamtru na terenu.

Kvartarni prod pod peščeno meljasto plastjo je znatno bolj propusten. Njegov koeficient propustnosti niha od 4 cm/sek do $1 \cdot 10^{-2}$ cm/sek na desnem bregu Drave, na levem bregu Drave pa od 1,5 cm/sek do $1 \cdot 10^{-1}$ cm/sek. Podatke smo dobili s črpalnimi poizkusi; na levem bregu jih je bilo 6, na desnem pa 14.

Kvartarni prod leži na različnih pliocenskih sedimentih:rodu, konglomeratu, pesku, glini in laporju. Vsi pliocenski sedimenti so zelo malo



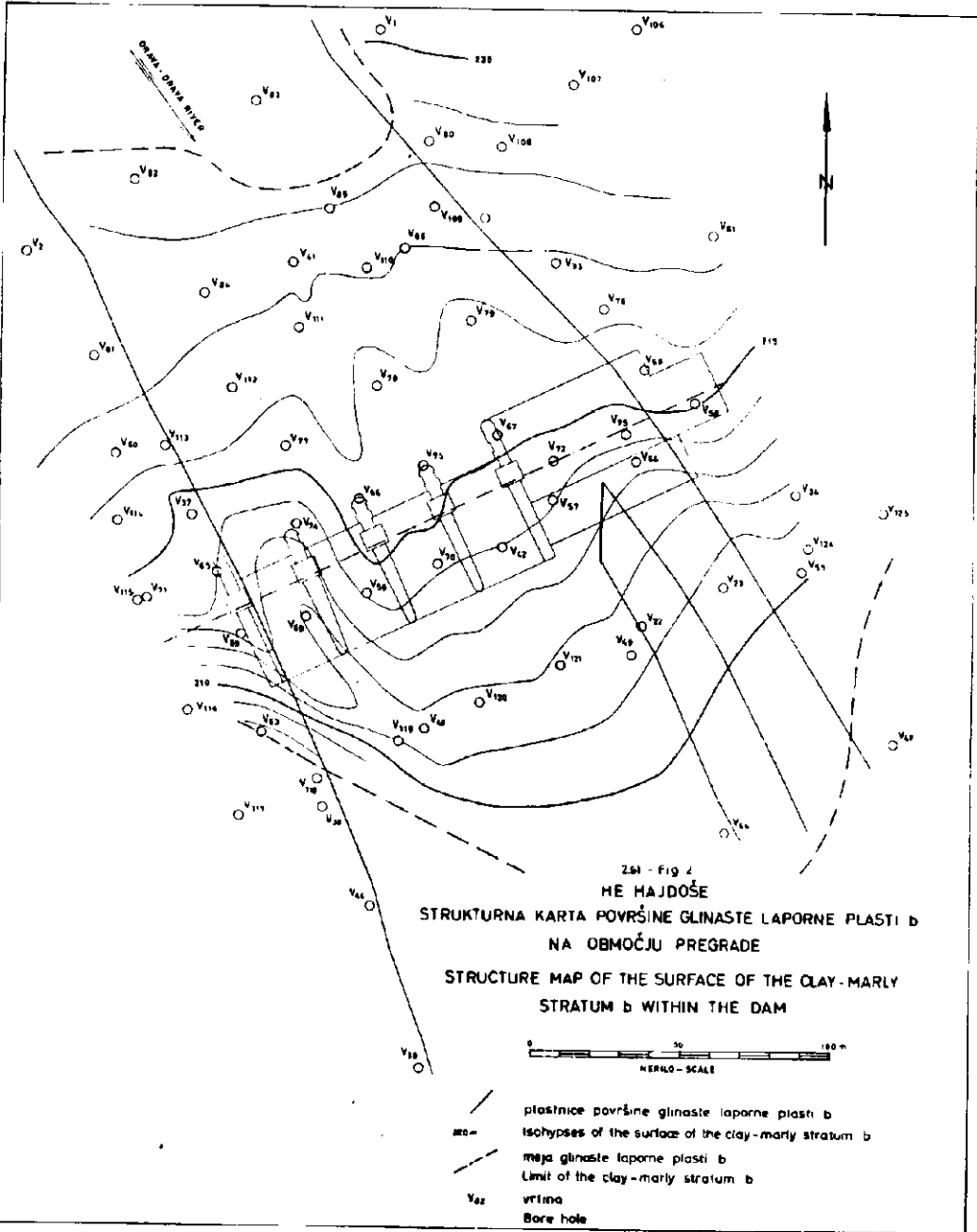
1. sl. - Fig. 1.
GEOLOŠKA SKICA DRAVSKEGA POLJA MED MARIBOROM IN PTUJEM
GEOLOGICAL SKETCH MAP OF DRAVSKO POLJE BETWEEN MARIBOR AND PTUJ

MERILO 1:50 000
 SCALE 1:50 000

- | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| holocen Holocene | | pesek in prod Sand and gravel | | | vpad plasti Strike and dip of strata |
| pleistocen Pleistocene | | prodne terase Gravel terraces | | | gramozna jama Gravel pit |
| pliocen Pliocene | | prod, konglomerat, pesek, glina in lapor Gravel, conglomerate, sand, clay and marl | | | kamnolom Quarry |
| zgornji miocen Upper Miocene | | pesek, pesek z meljem, lapor in glina Sand, sand with silt, marl and clay | | | vrtna Bore hole |
| | | konglomerat in peščenjak Conglomerate and sandstone | | | vodnjak Well |
| | | peščen lapor z vložki peska in peščenjaka Sandy marl with intercalations of sand and sandstone | | | vodomer Hydrometer |
| srednji in spodnji miocen Middle and Lower Miocene | | litotamnijski apnenc Lithotamnia limestone | | | hidroizohipse Hydroisohypses |
| | | lapor z vložki silificirane gline in tufskega peščenjaka Marl with intercalations of siliceous claystone and tuffaceous sandstone | | | smer toka podtalnice The groundwater flow direction |
| | | lapor, glina, peščenjak in konglomerat Marl, clay, sandstone and conglomerate | | | |
| | | blestniki in kvarciti Mica shists and quartzites | | | |
| paleozoik Palaeozoic | | amfibolit Amphibolite | | | |
| | | tonalit Tonalite | | | |

VSE HIDROLOŠKE PODATKE SMO POVZELI PO HIDROLOŠKI KARTI DRAVSKEGA POLJA, KI JO JE IZDELAL HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD LRS V DNEH OD 14. DO 16. 10. 1957.

WE HAVE TAKEN ALL THE HYDROLOGICAL DATA FROM THE HYDROLOGICAL MAP OF DRAVSKO POLJE (PLAIN OF DRAVA), MADE BY HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD LRS IN THE SPACE OF TIME FROM OCT. 14th TO OCT. 16th 1957.



propustni ali pa nepropustni. Zaradi tega se bo voda iz bazena izgubljala le skozi 5 m do preko 15 m debelo plast kvartarnega proda in peska, le v neznatni meri tudi skozi pliocenski prod in pesek. Vodne izgube bodo dopustne, če bo tesnilna preproga pred nasipi široka vsaj 150 m in če koeficient propustnosti proda ne bo večji kot $1 \cdot 10^{-1}$ cm/sek do $5 \cdot 10^{-1}$ cm/sek. Po podatkih črpalnih poizkusov in geoelektričnih raziskav na desnem bregu Drave obsegajo propustnejša območja okrog 25 % trase nasipa, na levem bregu pa skoraj celotno traso nasipa. Na propustnejših odsekih bo potrebna dodatna tesnitev z zagatnimi stenami do pliocenske podlage.

Črpalne vrtine \dot{C}_8 do \dot{C}_{15} na desnem bregu in \dot{C}_{16} do \dot{C}_{20} na levem bregu leže na mestih, ki so po podatkih geoelektričnih raziskav bolj propustna.

Po podatkih črpalnih vrtin se granulometrična sestava kvartarnega proda v vertikalni in v horizontalni smeri hitro spreminja, s tem v zvezi pa se spreminja tudi propustnost proda. Črpalni poizkus nam je dal podatek za povprečni koeficient propustnosti vsega preiskanega odseka.

Pri oceni vodnih izgub iz bazena upoštevamo tudi, da bo naravno zablajenje bazena sčasoma zelo zmanjšalo pronicanje vode pod nasipi.

Ploščine ploskve kvartarnega proda, skozi katerega bo pronicala voda pod nasipi, ni mogoče popolnoma točno izračunati, ker je debelina proda vzdolž trase nasipov zelo neenakomerna. Nekaj podatkov o debelini kvartarnega proda smo dobili iz črpalnih vrtin, neenakomerno razporejenih po obeh nasipih v medsebojnih razdaljah 500 do 1000 m. Praznine med posameznimi strojnimi vrtinami smo izpolnili z ročnimi udarnimi sondami in z ročnimi vrtinami, s katerimi smo hoteli ugotoviti debelini peščene meljaste plasti in kvartarnega proda.

Po podatkih vrtanja peščena meljasta plast, na katero bo temeljen obrambni nasip, ni popolnoma homogena. Vzdolž nasipa se tako v horizontalni kot v vertikalni smeri menjavajo plasti in leče dobro granulirane peska, drobnega peska z meljem in rjavkastega ali sivega glinastega melja z drobnim peskom. Na površini je približno 30 cm humusa, redko 50 cm do 130 cm. Pred začetkom gradnje in med gradnjo bo treba izkopati jaške in iz njih vzeti vzorce peska in melja za geomehanske preiskave, predvsem za določitev modula stisljivosti.

V nekaterih vrtinah na desnem in levem obrambnem nasipu je bila ugotovljena okrog 1 m debela plast močno stisljivega organskega melja s šoto. Ker se take zemljine pri obremenitvi prekomerno usedajo, jih bo treba odstraniti.

Ročne udarne sonde so dale koristne podatke o debelini peščene meljaste plasti, medtem ko podatki o debelini kvartarnega proda niso zanesljivi. Če primerjamo podatke udarnih sond s podatki vrtin v osi nasipov (črpalne vrtine \dot{C}_1 do \dot{C}_{16} v osi desnega nasipa in črpalne vrtine \dot{C}_6 in \dot{C}_{16} do \dot{C}_{20} v osi levega nasipa) vidimo, da se v nizvodnem delu nasipov ujemajo, medtem ko se v osrednjem in zgornjem delu močno razlikujejo.

Po podatkih vrtin v osi desnega obrambnega nasipa (\dot{C}_1 do \dot{C}_{16}) razdelimo celotno traso nasipa po globini pliocenske podlage na tri odseke. V nizvodnem odseku, od pregrade do vrtine \dot{C}_6 , je pliocenska podlaga, ki

jo sestavljajo gosto zbit prod s peskom, konglomerat in glina, od 4,5 do 6,5 m globoko pod površino. V osrednjem odseku, od vrtine Č₈ do vrtine Č₁₃, je pliocenska podlaga od 7,8 do 11,8 m globoko pod površino. V zgornjem odseku, od vrtine Č₁₃ do vrtine Č₁₅, je pliocenska podlaga globlje kot 15 m. V vrtini Č₁, okrog 1 km nizvodno od broda v Staršah, je pliocenski prod v globini 15 m.

Podatki ročnega udarnega sondiranja se v nizvodnem odseku nasipa dokaj dobro ujemajo s podatki vrtnja, medtem ko so se sonde v ostalih dveh odsekih ustavile znatno plitveje, kot leži pliocenska podlaga, še v holocenskem ali pleistocenskemrodu.

Globina, do katere lahko zabijemo sonde v prod, je omejena povprečno na 4 m. Edini koristen podatek, ki ga dobimo z udarnim sondiranjem, je ugotovitev, da do globine, v katero je prodrla sonda, ni konglomeratnih vložkov. Na mestu, kjer se je sonda ustavila, je sprijet ali pa tudi zbit debel prod.

V osi levega obrambnega nasipa je bilo izvrtanih 6 vrtin (Č₃, Č₁₀ do Č₂₀). Po podatkih o globini pliocenske podlage, ki smo jih dobili z vrtnjem, lahko razdelimo traso nasipa prav tako na tri odseke. V nizvodnem delu, od priključka nasipa na pobočje do vrtine Č₁₆, je pliocenska podlaga 6,0 m, v srednjem odseku, od vrtine Č₁₆ do vrtine Č₁₉, pa 12,0 do 12,5 m globoko pod površino. V zgornjem odseku, od vrtine Č₁₉ do Č₂₀, je pliocenska podlaga globlje kot 15 m.

Povprečne globine do pliocenske podlage, ugotovljene z vrtnjami, in povprečne globine, ki smo jih dosegli z ročnimi udarnimi sondami, se v nobenem od treh odsekov nasipa ne ujemajo; v nizvodnem odseku odstopajo za okrog 2 m, v ostalih dveh pa znatno več.

Kot nepropustno jedro nasipa bo mogoče uporabiti peščeno meljasto plast. Na območju akumulacijskega bazena smo preiskali dve mesti za odvzem materiala, v Zlatoličju in Slovenji vasi. Debelino peščene meljaste plasti smo preiskali z ročnimi udarnimi sondami, razporejenimi v mreži s stranicami po 50 m. Zaloge peska na obeh nahajališčih so 540.000 m³.

Prav tako smo preiskali nahajališča peska in melja na levem bregu Drave, kjer so zaloge peska 130.000 m³.

Jez. Po projektu se bo gladina Drave v Hajdošah dvignila od sedanje povprečne kote 222,5 m na 235,0 m. Jezovna zgradba bo temeljena na koti 214,0 m na pliocenski lapor in glino, strojnica na levem bregu pa na pliocenski prod in konglomerat na koti 205,0 m.

Mlajši pliocenski sedimenti, na katerih bodo temeljena pretočna polja, stebri jezui in strojnica, so razkriti le na levem bregu Drave. Na desnem bregu in v strugi so prekriti s holocenskim peskom in prodrom.

Pobočje na levem bregu Drave je zgrajeno od kote 225 m do kote 280 m iz zaporedja plasti gosto zbitega proda, konglomerata, peska, glin in laporja. V podaljšku osi pregrade sta na levem pobočju dve glinasti laporni plasti, debeli 3 do 10 m, ki sta vloženi med prod in konglomerat na kotah 226 m in 272 m. Nagnjeni sta zelo položno poševno na tok reke proti jugovzhodu. S preiskavami vodopropustnosti po metodi Lugeona smo dognali, da sta glina in lapor praktično nepropustna.

Koeficient propustnosti »K« pliocenskega proda niha od $1 \cdot 10^{-2}$ do $1,5 \cdot 10^{-4}$ cm/sek. Levi bok pregrade je zaradi lege glinastih in lapornih vložkov in zaradi majhne propustnosti pliocenskega proda zelo malo propusten. Da bi čimbolj zmanjšali vodne izgube skozi pliocenski prod in konglomerat, bo potrebno s krilnim zidom, oziroma z injekcijsko zaveso pod njim, tesniti dve po 3 m debeli plasti proda, ki ležita nad glinasto laporno plastjo »b« (glej 3. sl.). V vrtini 107 na vzvodnem krilu gradbene jame ležita obe plasti proda med kotama 235 in 232 m ter 230 in 226,5 m, spuščata se proti Dravi vzporedno z glinasto laporno plastjo b.

Desni bok bo potrebno na odseku, kjer obrambni nasip ni zatesnjen s površinsko tesnilno preprogo, predvsem v bližini priključka na jezovno zgradbo, zatesniti na kak drug način do nepropustne pliocenske podlage.

Najprimernejša je tesnitev z injekcijsko zaveso. Tesnitev z zagatnimi stenami ne bo možna, ker je na desnem boku pregrade pod 2 do 5 m debelo površinsko plastjo holocenskega proda in peska več kot 2 m debela plast pliocenskega konglomerata. Pod plastjo konglomerata je v globini 9 do 12 m pod površino plast nepropustnega laporja. Zagatno steno bi morali zabiti skozi 2 do 5 m debelo plast konglomerata do laporja, kar pa ni izvedljivo.

Jezovna zgradba bo temeljena na glinasti laporni plasti b na koti 214,0 m. V profilu pregrade je ta plast debela 3 do 6 m. Njena zgornja površina leži v območju pregrade na kotah 213 m do 216 m. Plast b pada v nizvodni smeri in od levega brega proti desnemu. Je lečaste oblike in se izklinja tako v vzvodni, kot v nizvodni smeri. Obseg leče smo preiskali s 64 vrtinami, s katerimi smo jo točno omejili v vseh smereh. Na levem bregu se izklini okrog 100 m vzvodno od prednje, vodne strani strojnice pri vrtinah V 80 in V 85. Med vrtinama V 58 in V 76 na levem bregu se stanjša na 2 m. Na desnem bregu izgine 150 m vzvodno od pregrade pri vrtini V 82. V nizvodni smeri se izklini na levem bregu okrog 100 m od zadnje, zračne strani strojnice pri vrtini V 47, na desnem bregu pa v bližini zadnje, zračne strani pregrade med vrtinama V 69 in V 63, kjer jo nadomešča močno konsolidiran pesek.

Glinasta laporna leča b bo naravna tesnilna preproga in bo zmanjšala vodne izgube skozi 5 do 10 m debelo plast pliocenskega proda, ki leži pod njo. Vodne izgube skozi pliocenski prod bodo okoli $0,047 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Pretok smo izračunali po enačbi $Q = F \cdot \frac{H}{L} \cdot K$. Za koeficient »K« smo

privzeli najslabšo možno vrednost $1 \cdot 10^{-2}$ cm/sek (vrednost koeficienta propustnosti pliocenskega proda, ugotovljena s črpalnim poizkusom, niha od $1 \cdot 10^{-2}$ do $6 \cdot 10^{-3}$ cm/sek), H je 15 m, L je 150 m in ploskev proda F, skozi katerega se bo precejala voda, je $550 \text{ m} \cdot 8,5 \text{ m} = 4670 \text{ m}^2$. Pri izračunu smo upoštevali možnost, da bo glinasta laporna plast b nizvodno od podslapja erodirana.

Izračunane vodne izgube so zelo majhne. Za hidroelektrarno so ekonomsko opravičljive tudi mnogo večje vodne izgube.

Kot smo omenili, je bila glinasta laporna plast b v območju pregrade preiskana s številnimi vrtinami. Vrtine V 69 do V 76 smo izvrtali z na-

Sestava glinasto lapornatih plasti b in c

3. tabela

| Petrografska klasifikacija zemljin | Zrnavost AC klasifikacija | Konsistenca | Naravna vlaga % | Meja židkosti LL % | Indeks plastičnosti PI | Enoosna tlačna trdnost kp/cm ² | Kot strižnega odpora |
|---|--|----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|--|----------------------------|
| rjav in siv peščenjak, delno tanko plastovit | peščena meljna mešanica SF _a konsolidiran melj ML | poltrda trda | 21,60 do 18,62 | 41,50 do 54,10 | 8,90 do 33,70 | 2,15 do 15,60 | — |
| siv in rjav, gosto zbit pesek z meljem | peščena meljna mešanica SF _a | težko gnetna | 21,34 | 35,10 | 9,10 | 0,64 do 1,37 | — |
| rjava in siva peščena glina | pusta do mastna glina CI-CH | poltrda trda | 14,80 do 22,40 | 52,20 do 66,60 | 31,50 do 45,40 | 3,15 do 5,89 | 25° 40' do 28° 30' |
| siva in rjava peščena glina | pusta glina CI | težko gnetna | 19,80 do 26,70 | — | — | 1,24 do 3,93 | — |
| siv in rjav lapornat peščenjak, delno tanko plastovit | melj s finim peskom ML | poltrda trda | 18,95 do 22,20 | 48,00 do 54,80 | 15,20 do 32,50 | 3,94 do 22,90 | — |
| siv in rjav lapor | močno konsolidirana mastna glina CH-CL | poltrda trda | 15,45 do 21,30 | 69,85 | 43,37 | 3,77 do 23,20 | — |
| siv in rjav peščen lapor, delno tanko plastovit | melj z nekaj drobnega peska MI ali peščeno glinast melj MI | poltrda trda | 13,80 do 22,32 | 50,60 do 81,40 | 16,70 do 51,40 | 1,57 do 26,00 | 31° 40' |
| siva in rjava glina | mastna glina CH | težko gnetna | 14,25 do 27,30 | 57,10 | 35,70 | 1,28 do 4,23 | 23° 45' |
| siv in rjav peščen glinast melj | melj ML | srednje gnetna | 20,10 do 23,30 | 30,80 | 3,20 | 0,57 | — |
| siva in rjava glina | mastna glina CH | srednje gnetna | 24,20 do 31,70 | — | — | 0,71 do 0,93 | 27° |

menom, da bi ugotovili geotehnične lastnosti vzorcev glinaste laporne plasti b in c (Glej 3. sl.). Podatki so potrebni projektantu za račun stabilnosti objekta proti zdrsni in za račun posedanja zemljine pod objektom. Razen v teh vrtninah smo vzeli vzorce za geotehnične raziskave še v številnih drugih vrtninah v območju pregrade, vendar smo jih preiskali le po metodi enoosnih preiskav tlačne trdnosti.

Glinasta laporna plast b, podobno tudi glinasta laporna plast c, sta sestavljeni iz tanjših in debelejših plasti in leč zemljin, katerih opis podajamo v 3. tabeli, obenem z njihovimi geotehničnimi lastnostmi.

Pripominjamo, da smo dobili vzorce za geomehanske raziskave z vrtnjem z malo izplakovalne vode, ker cilindrov v močno konsolidirane zemljine nismo mogli zabiti. Nekateri vzorci so bili med preiskavo že delno osušeni. Zaradi tega se je pri plastičnih zemljinah povečala enoosna tlačna trdnost, pri peščenjakih pa ni imela vpliva nanjo.

V naslednjem bomo na kratko opisali geotehnične lastnosti zemljin, ki smo jih podali v 3. tabeli in primerjali njihovo petrografsko klasifikacijo z rezultati zrnitev, oziroma s klasifikacijo AC.

Po klasifikacij AC, ki upošteva le rezultate zrnitev, nastopajo le puste do masne glin, CI do CH, medtem ko so po petrografski klasifikaciji iste zemljine glin, laporji in peščene glin. Melj in melj z drobnim peskom, ML do MI, je po petrografski klasifikaciji peščen lapor. Od zemljin, zastopanih v glinastih laporih plasteh b in c se ujemata obe klasifikaciji le za konsolidiran pesek in pesek z meljem.

Kljub vsem pomanjkljivostim nam petrografska klasifikacija znatno več pove o določeni zemljini kot zgolj klasifikacija AC oziroma rezultati zrnitev. Petrografski naziv določene zemljine vsebuje še splošne podatke o zrnivosti, stopnji konsolidacije in diagenoze ter o mineraloški in petrografski sestavi, medtem ko iz rezultatov zrnitve ne moremo sklepati n. pr. o stopnji diagenoze in o mineraloški ter petrografski sestavi.

Značilen primer je melj ali melj z drobnim peskom. ML do MI, ki je po petrografski klasifikaciji lahko peščen glinast melj, peščenjak, lapornat peščenjak ali peščen lapor.

Zaključek, ki nam ga vsiljuje primerjava obeh klasifikacij je, da je za konsolidirane in diagenetsko sprijete terciarne zemljine primernejša petrografska klasifikacija, dopolnjena z nekaterimi elementi klasifikacije AC.

Od fizikalnih lastnosti zemljin smo upoštevali konsistenco, plastičnost in tlačno trdnost in kot strižnega odpora.

Naravna konsistenca zemljin je neposredno odvisna od odstotka naravne vlage. Večina zemljin v plasteh b in c je poltrde in trde konsistence: lapor, peščen lapor, lapornat peščenjak, peščenjak in delno peščena glina. Njihova naravna vlaga niha od 12,60 do 22,40 %. Tanki glinasti vložki v laporju, peščeni glini in peščenjaku so bodisi težko gnetni ali srednje gnetni. Težko gnetne glin imajo naravno vlago 20,20 do 23,80 %, medtem ko doseže naravna vlaga srednje gnetnih glin 24,20 do 31,70 %.

Meja židkosti »LL« je zelo visoka pri glinah, do 57,10 %, pri peščenih glinah 52,20 do 66,60 %, peščenih laporji 50,60 do 81,40 %, laporjih do

69,85 % in pri lapornatih peščenjakih 48,80 do 54,80 %. Vse te zemljine sprejmejo mnogo vode in povečini tudi nabrekajo. Poleg tega so tudi zelo plastične. Indeks plastičnosti, PI, je pri glinah 35,70 %, pri peščenih glinah 31,50 do 45,40 %, pri laporjih 43,70 %, pri peščenih laporjih 16,70 do 51,40 % in pri lapornatih peščenjakih 15,20 do 32,50 %.

Nižjo mejo židkosti, do 30,80 %, imajo peščeni melji, pesek z meljem do 35,10 %, dokaj visoko pa peščenjak 41,50 do 54,10 %. Indeks plastičnosti in s tem plastičnost je pri njih zelo nizka: pri peščenem melju 3,20 %, pri pesku z meljem 9,10 % in nekoliko večja pri peščenjaku 8,90 % do 33,70 %.

Trdnost zemljin, predvsem njihova enosna tlačna trdnost, je odvisna od prirodne konsistence ter stopnje diagenoze in konsolidacije. Najnižja je pri pesku z meljem 0,64 do 1,37 kp/cm² in peščenem melju do 0,57 kp/cm². Nekoliko višja, a še vedno nizka, je pri težko gnetni peščeni glini 1,24 do 3,93 kp/cm² in pri težko gnetni glini 1,28 do 4,23 kp/cm² ter srednje gnetni glini 0,71 do 0,93 kp/cm².

Lapor, lapornat peščenjak, poltrda peščena glina in peščenjak prene-sejo obremenitve 3,15 do 23 kp/cm². Peščen lapor zdrži obremenitve 1,57 do 26,10 kp/cm², kar je odvisno od stopnje diagenoze.

Kot strižnega odpora je bil preiskan za srednje gnetno glino, kjer je najnižji 23° 45'; nekoliko višji je za težko gnetno glino 27°. Za peščeno glino niha od 25° 45' do 28° 30'. Peščen lapor ima dokaj visoko vrednosti kota φ 31° 40'.

Razen opisanih geomehanskih raziskav smo pri 6 vzorcih preiskali tudi njihovo stisljivost. Podatke o stisljivosti podajamo v 4. tabeli.

Stisljivost zemljin v plasteh b in c

4. tabela

| Zemljina | Konsistenca | Moduli stisljivosti Mv | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | 0,02 do 0,5 kp/cm ² | 0,5 do 1,0 kp/cm ² | 1,0 do 2,0 kp/cm ² | 2,0 do 4,0 kp/cm ² | 4,0 do 7,5 kp/cm ² |
| peščenjak s plastmi melja | poltrda | 294,80 | 410,10 | 326,17 | 205,65 | 215,03 |
| siv in rjav peščen lapor | poltrda | 79,20 do 400,70 | 42,80 do 215,16 | 70,0 do 479,70 | 156,70 do 149,26 | 340,20 do 211,60 |
| siv in rjav peščen lapor | težko gnetna | 445,20 | 122,00 | 335,20 | 146,10 | 426,10 |
| siva in rjava peščena glina | poltrda | 44,70 | 60,70 | 71,70 | 94,06 | 171,50 |
| peščenjak | poltrda | 214,89 | 387,75 | 425,30 | 743,64 | 211,17 |

Iz tabele vidimo, da spada večina vzorcev med manj stisljive zemljine. Po PTP-1 so zemljine z M_v 100 do 400 kp/cm^2 manj stisljive. Pač pa spadata 2 vzorca peščene glin in peščenega laporja med srednje stisljive zemljine, posebno pri nižjih obremenilnih stopnjah (M_v 50 do 100 kp/cm^2).

Pripominjamo, da so med laporji, peščenimi laporji in trdimi glinami pogosto vložene mehkejše glin in meljaste glin, v katerih zaradi načina vrtnanja ni bilo mogoče dobiti neporušenih vzorcev. Zaradi tega nismo mogli preiskati njihove stisljivosti. Verjetno je modul stisljivosti nekaterih glinastih vložkov manjši od 50 kp/cm^2 . Po PTP-1 so zemljine z M_v 20 do 50 kp/cm^2 zelo stisljive.

Pri izračunu nosilnosti temeljnih tal in usedkov, ki bodo nastali pod težo jezovne zgradbe, je potrebno predvsem paziti na mehkejše glinaste vložke. Zaradi heterogene sestave temeljnih tal in lečaste oblike stisljivih vložkov posedanja ne moremo točno izračunati. Leče stisljive glin so po večini tanke (10 do 30 cm) in so neenakomerno razporejene med trdimi in poltrdimi zemljinami.

Konstruktivno jezovne zgradbe bo treba prilagoditi znatnemu neenakomernemu posedanju.

Na površini glinaste laporne plasti *b* je 0,5 do 0,1 m debela plast razmehčane glin. To plast bo potrebno pri kopanju temeljev odstraniti in jez temeljiti na poltrd in trd lapor, peščen lapor, peščenjak in glino.

Zaradi odkopa razmehčane površinske plasti ne bo možno temeljiti nizvodne strani pretočnih polj na koti 214,0 m, ampak 1,0 do 1,5 m globlje. Desno pretočno polje bo treba prav tako temeljiti globlje, ker je glinasta laporna plast *b* med vrtinami V_{71} , V_{65} , V_{59} in V_{63} zelo heterogena in delno nadomeščena s peskom in meljasto glino.

Pri računu stabilnosti objekta proti zdrsu moramo upoštevati heterogeno sestavo glinaste laporne plasti *b*. Različni petrografski sestavi ustrezajo različne tlačne in strižne trdnosti zemljin. Med zemljinami, ki imajo dokaj visoko tlačno trdnost in veliko kohezijo, so tanki mehkejši glinasti vložki, v katerih bi se lahko razvile drsine. Pri izračunu stabilnosti objekta ne smemo privzeti ugodnih geomehanskih karakteristik laporja, peščenega laporja in peščenjaka za celotno plast *b*, ampak moramo upoštevati geomehanske karakteristike zemljine, ki je manj odporna proti zdrsu: glina, pesek, glinast melj.

Glinasta laporna plast je nagnjena povprečno za 10° proti jugu, v smeri vodnega toka in proti desnemu bregu. S primernim izoblikovanjem temeljev je treba preprečiti, da bi bili le-ti nagnjeni po površini nepropustne plasti. Temelji naj bodo bodisi vodoravni, kar je lahko izvesti na ta način, da se na sprednji strani globlje zakopljejo v nepropustno plast *b*, ali pa bo potrebno poglobiti sprednji del temelja.

Gradbena jama. Projekt predvideva več načinov, s katerimi bi zaprli in osušili gradbeno jamo. Najlaže je zapreti gradbeno jamo z zabijanjem železnih zagatnih sten skozi holocenski prod do pliocenske podlage. Po podatkih, dobljenih z vrtinami na obodu gradbene jame, sklepamo, da jeklenih zagatnih sten ne bo možno zabiti do nepropustne plasti *b*.

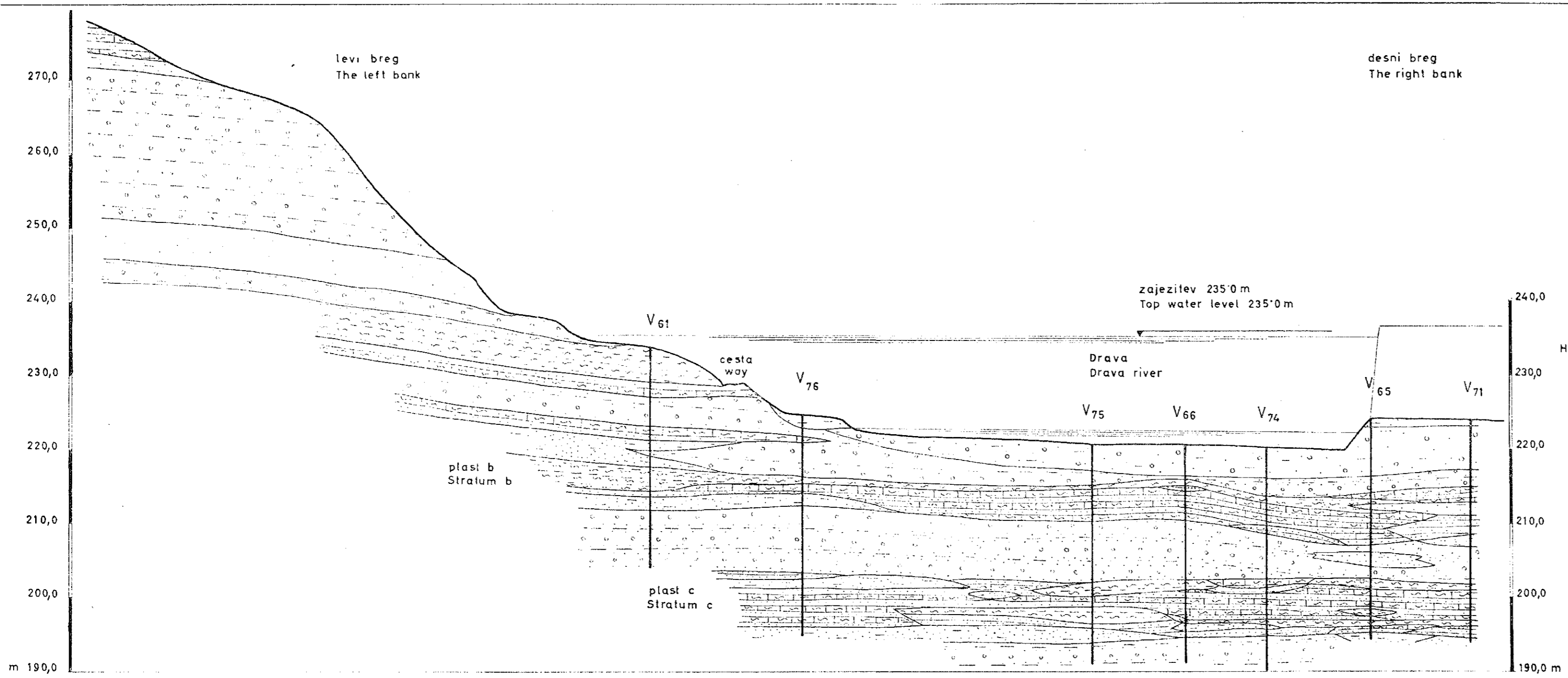
3.st. - Fig. 3.

HE HAJDOŠE

PREGLEDNI GEOLOŠKI PRESEK PREKO DRAVE
NA OBMOČJU PREGRADE
GENERAL GEOLOGICAL SECTION ACCROSS THE DRAVA
RIVER WITHIN THE DAM

MERILO RAZDALJ 1:1000
SCALE OF LENGTHS 1:1000

MERILO VIŠIN 1:500
SCALE OF HEIGHTS 1:500



- | | | |
|---|--|---|
| holocen in pleistocen Holocene and Pleistocene | | pesek in melj Sand and silt |
| | | prod s peskom in meljem Gravel with sand and silt |
| | | meljasta glina Silty clay |
| pliocen Pliocene | | peščen lapor in lapor Sandy marl and marl |
| | | pesek Sand |
| | | pesek z meljem Sand with silt |
| | | peščenjak Sandstone |
| | | srednji in droben prod ter konglomerat Middle and fine grained gravel and conglomerate |
| | | V66 Bore hole |

V vzvodni steni gradbene jame je nepropustna plast zelo plitvo, na koti okrog 218 m, vendar je nad njo na desnem bregu debelejša plast pliocenskega konglomerata in proda z vložki konglomerata.

V nizvodni in desni obrežni steni je glinasta laporna plast b na kotah 211 do 218 m. Nad to plastjo so razmeroma debele plasti in leče pliocenskega konglomerata ter glin in laporja. Verjetno bo možno zabiti zagatno steno samo do zgornje površine propustnih pliocenskih sedimentov, proda, konglomerata, proda z vložki konglomerata. Vodo, ki bo pronicala skozi propustne plasti, bo potrebno črpati, pri betoniranju temeljev pa paziti, da pronicajoča voda ne bo zmeščala površine glinaste laporne plasti b.

Vodne množine, ki bodo dotekale v gradbeno jamo skozi propustne pliocenske sedimente pod zagatno steno, smo izračunali po formuli

$$Q = F \cdot \frac{H}{L} \cdot K. \text{ Za koeficient »K« smo privzeli vrednosti } 1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sek in}$$

$1 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sek}$. Hidravlični gradient I bo za vzvodno steno približno 1,6 v primeru, če vzvodno od gradbene jame ne bo zgrajena pomožna pregrada. Drava bo nad vzvodno steno gradbene jame zajezena na koti 226 m, ob nizvodni in desni obrežni steni pa bo gladina vode na koti 225,5 m (povprečna gladina Drave). Hidravlični gradient za desno obrežno steno bo približno 1,2, za nizvodno steno pa 1,3.

Podatki o vodnih množinah, ki bodo dotekale v gradbeno jamo

5. tabela

| Mesto | Ploškev | Hidrav- | Ocenjen | Dotok | Ocenjen | Dotok |
|--------------------|-------------|---------|----------------------|---------------------|----------------------|--------|
| | pliocenskih | lični | | | | |
| | propustnih | gra- | cm/sek | m ³ /sek | cm/sek | |
| | sedimentov | dient | | | | |
| | F (m) | I | | | | |
| vzvodna stena | 150 × 2 | 1,6 | 1 · 10 ⁻² | 0,048 | 1 · 10 ⁻³ | 0,0048 |
| desnoobrežna stena | 130 × 5 | 1,2 | 1 · 10 ⁻² | 0,078 | 1 · 10 ⁻³ | 0,0078 |
| nizvodna stena | 240 × 7 | 1,3 | 1 · 10 ⁻² | 0,220 | 1 · 10 ⁻³ | 0,022 |
| | | | Skupaj: | 0,346 | Skupaj: | 0,0346 |

Iz 5. tabele vidimo, da bi bil dotok vode v najslabšem možnem primeru precejšnji, 0,346 m³/sek. Če pa privzamemo, da je koeficient »K« $1 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sek}$, bi bil dotok že zelo majhen.

Opozarjamo na pojav arteške vode v vrtinah V₂, V_{3a}, V_{3c}, V₄₁, V₄₂ in V₄₃. Piezometrični nivo vode v propustnih pliocenskih sedimentih med nepropustnima plastema b in c je na koti 225 m. Vzrok visokemu piezometričnemu nivoju vode v tej propustni pliocenski plasti je dviganje nepropustne krovline in talnine proti toku Drave in proti levemu bregu. Okrog 150 m vzvodno od profila pregrade je ta propustna plast v neposrednem stiku s kvartarnim prodom.

V osušeni gradbeni jami bo deloval na spodnjo površino glinaste laporne plasti b vzgon 12 do 15 t/m². Če privzamemo, da je plast b debela

3 do 6 m, njena prostorninska teža $2,1 \text{ t/m}^3$, je njena obtežba le 6,3 do $10,5 \text{ t/m}^2$. Nevarnost dviga plasti b zaradi vzgona je treba preprečiti z drenažnimi vodnjaki.

Strojnica bo temeljena na močno konsolidiranem pliocenskem produ in delno na konglomeratu. Temelji strojnice so na koti 205 m. Nosilnost te plasti je dobra, izračunati pa moramo usedke pod objektom, najboljše tedaj, ko bo izkopana gradbena jama.

Spodnja glinasta laporna plast c je dobro konsolidirana in bodo usedki majhni. Voda v pliocenskem produ med plastema b in c bo povzročila med gradnjo precej težav. Zabijanje tesnilnih zagatnih sten skozi pliocenski prod bodo ovirali konglomeratni vložki v produ.

Odvodni kanal. Iz strojnice bo odtekala voda po 1800 m dolgem odvodnem kanalu v Dravo. Os odvodnega kanala poteka po holocenski ravnini pod ježo 10 m visoke terase, ki jo sestavljajo različni pliocenski sedimenti: konglomerat, gosto zbit prod, pesek, lapor in glina. Dno kanala je predvideno na koti 214 m.

Traso kanala smo raziskali s 16 strojnimi vrtinami in 130 ročnimi udarnimi sondami. Na podlagi raziskav je možno dokaj točno oceniti, kolikšen del izkopa bo v holocenskem produ in pesku in v pliocenskih sedimentih.

Ugotovili smo, da je površinska holocenska prodna peščena plast debela 2,5 do 5 m. Pod njo leže različni pliocenski sedimenti, katerih zasuta površina je zelo valovita. Pliocenski sedimenti so zelo položno nagnjeni v smeri toka Drave.

V zgornjem delu kanala, do 0,8 km od vtoka, nastopajo pliocenski sedimenti, ki pripadajo spodnjemu delu horizonta Unio wetzleri. V preseku vzdolž osi kanala si sledijo položno nagnjene plasti in leče gosto zbitega proda, peska, konglomerata, laporja in gline. Popolnoma enake plasti nastopajo v območju pregrade.

Od 0,8 km do izliva v Dravo nastopajo skoraj vodcravno ležeče plasti gosto zbitega proda, konglomerata, peska in peščenjaka. Vmes sta dve tanki leči gline in laporja. Plasti pripadajo zgornjemu delu horizonta Unio wetzleri.

Leta 1960 so se začela prva poizkusna dela na izkopavanju odvodnega kanala. Površinsko plast holocenskega proda in peska so odstranili z bagri, medtem ko pliocenskih sedimentov z njimi ni bilo možno odkopavati.

Gladina podtalne vode je 2 m pod površino, zato so morali jamo najprej izsušiti, kar sta uspešno opravili 2 črpalke kapacitete 2000 l/min . Ko je bila jama, ki je imela površino $200 \text{ m} \times 50 \text{ m}$, izsušena, so pliocenske plasti odkopali z buldožerji, le trše konglomerate so razstrelili. Opazovanja v izsušeni jami so pokazala, da je skoraj vsa voda dotekala iz površinskega holocenskega proda, le malo pa iz propustnih pliocenskih plasti na vznožju gričevja. Voda je prodirala v jamo povečini v obliki velikih izvirov na meji holocenskih in pliocenskih plasti. Dotok vode iz pliocenskega proda, konglomerata in laporja na dnu jame je bil malenkosten, kar kaže, da je pliocenski prod znatno manj propusten kot mlajši holocenski prod.

GEOLOGIC CONDITIONS ALONG THE DRAVA RIVER BETWEEN MARIBOR AND PTUJ WITH SPECIAL REGARD TO THE CONSTRUCTION OF WATER POWER PLANTS

With the completion of the hydroelectric power plant Ožbalt the entire upper course of the Drava river, from Dravograd to Maribor, will be harnessed for power generating purposes. Plans, however, are being made also for the construction of another two water power plants between Maribor and Ptuj, one of them to be located at Loka and the other at Hajdoše.

Flowing southeastward toward Ptuj, the Drava river follows by and large the foot of Slovenske Gorice. Its left bank is built up mainly of Tertiary marl, clay, consolidated sand and gravel, and conglomerate, its right bank of Pleistocene and Holocene gravels and sands with which also the Drava alluvial plain is filled.

The entire region consists of three structural units: the anticlinorium of Slovenske Gorice, the syncline of Ptuj—Ljutomer, and the anticlinorium of Haloze. The axes of all three units trend in the northeast-southwest direction. The Drava river, which flows at right angles to the strike of the beds, encounters on its way from Maribor to Ptuj strata the age of which decreases in that direction.

The Drava plain was formed during the Pleistocene when the Drava river was gradually cutting into the Tertiary relief and was during periods of subsidence or rest filling it again with gravel and sand. Later again the river cut down its bed into its own valley fill as borne out by the numerous terraces. There are altogether four terraces at the northeastern margin of the Drava plain.

GEOLOGIC CONDITIONS OF THE SITES CHOSEN FOR THE PROJECTED WATER POWER PLANTS

The water power plant Loka

The power plant Loka will utilize the Drava river gradient between the power plant Mariborski Otok and the projected power plant Hajdoše. The plant will be of the canal-type with its dam at Melje and its reservoir reaching as far as Mariborski Otok. There will be a 9 km long diversion canal running from the dam past Miklavž to the plant at Loka from whence the water will flow along a one and a half kilometer long canal back into the Drava river.

The top water level of the reservoir will be at 253 m. At Melje the water level will rise for about 7 m, while at Mariborski Otok it will rise only for one meter.

The reservoir area consists of Pleistocene and Holocene gravels and sands. The Pleistocene gravel is partly cemented together. The thickness of the Quaternary deposits ranges from one meter in the Drava river bed to 40 m on the highest terraces. The Quaternary sediments in the

reservoir area are underlain by impervious Miocene marl, sandy marl, micaceous sandstone, indurated clay and tuffite.

The right bank of the reservoir is a high Pleistocene terrace built up of gravel and sand with conglomerate intercalations. The gravel is by and large very coarse and contains even boulders the diameter of which is up to one meter.

On the right bank of the river, near the dam, the Tertiary marl crops out at the elevation of 254 m. In the river bed area chosen for the dam site the Tertiary base lies at the elevation of 236 to 243 m, while in the bore holes drilled for the projected road bridge some 1800 m upstream from the dam, the base lies at the elevation of 235 to 237 m. In the section of the water power plant Mariborski Otok the Miocene sandy marl reaches one meter above the water level of the Drava river. At Tezno and Bctnava located on the right bank of the Drava river and 3 km from its bed, the impervious base lies at the elevation of 250 to 254 m.

At present the ground water flows from the foot of Pohorje toward the Drava river. As soon as the water level in the reservoir has risen to the elevation of 253 m the ground water will change its course. Instead toward the Drava river the ground water will flow from the reservoir into the alluvium and downstream of the dam into the Drava river. The water loss, which incidentally will be negligible, has been computed by using three different permeability coefficient K and under the assumption that the thickness of the pervious zone through which the water from the storage basin will seep, is seven meters, i. e. the difference between the present water level of the Drava river and the future top water level of the reservoir. If the permeability coefficient K is 1 cm/sec, the water loss will be $0.539 \text{ m}^3/\text{sec}$; if K is $1 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$, the loss will be $0.054 \text{ m}^3/\text{sec}$; if K is $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$, the loss will be $0.0054 \text{ m}^3/\text{sec}$.

On the left bank near the dam the impervious base is no more than four meters below the surface but dips downstream and reaches at the railroad bridge the depth of 22 m. At Melje where the majority of the industrial plants of the region is located, the impervious base lies at the depth of 12 to 19 m. The ground water level is between the elevation of 246 and 248 m and rises in the direction of the surrounding hills. Pumping tests have shown that the permeability of the Quaternary deposits is considerable. The value of the permeability coefficient ranges from 0.24 to 0.45 cm/sec.

The dam site has as yet not been definitely chosen as a consequence of which three profiles have been examined at Melje. The first profile is upstream directly before the river swerves around the foot of the Melje Hill; the second in the bend itself; and the third some 100 m downstream from the latter. The dam will have to be constructed either over the second or the third profile. In the second profile the thickness of the gravel alluvium in the river bed is small, i. e. in the middle and the right portion of the bed about one meter, in the left portion from 4 to 6 m. In the third profile downstream the thickness of the gravel in the middle and the left portion of the bed is small, in the right portion of the river bed from 2.5 to 3.5 m.

The dam foundation will rest on Tortonian sediments consisting of thick-bedded sandy marl with intercalations of thin-bedded sandy marl and rare intercalations of consolidated sand. The strata are gently inclined toward the northeast and east and there are numerous slicken-sides between which the marl is partly crushed.

The permeability measurements by the method of Lugeon yielded satisfactory results in all bore holes. At the pressure of 10 kp/cm² the water loss was between 0.00 to 2.0 l/min/m, while in one bore hole it was 4.25 l/min/m. The marl is almost absolutely impervious so that only the crushed portions of the rock will have to be grouted.

The conditions for the foundation of the dam are favorable. The marl withstands a crushing weight of 10 kp/cm² while the sand intercalated in the marl is firmly consolidated.

The diversion canal will run in its initial part, from the 0.00 to the 2.5 km mark, across one of the lower terraces the superface of which consists of Holocene sand underlain by gravel which in part is slightly conglomerated. From the 2.5 to the 6.5 km mark the canal will run across a Pleistocene terrace built up of gravel, sand intercalations, conglomerate lenses, and boulders the diameter of which is up to one meter. From the 6.5 to the 7.8 km mark the canal will follow the margin of the Pleistocene terrace. The main portion of both the canal bottom and the embankment will lie on one of the lower Holocene terraces covered locally by a soft organic clay. The latter, of course, is not suitable for the foundation and will have to be removed. From the 7.8 to the 9.0 km mark the canal will run across a Pleistocene terrace similar to that between the 2.5 and 6.5 km marks.

The bottom of the canal will lie above the ground water level except between the 0.0 and 0.8 km marks.

The power house is located on a Holocene terracc. On the site two bore holes, S₅ and S₆, were drilled. The geologic section of bore hole S₆ is as follows:

0.00 — 1.00 m sandy clayey silt

1.00 — 17.60 m gravel, sand, cobbles

17.20 — 17.6 m brown clay of intermediate plasticity

17.60 — 22.5 m thin-bedded sandy marl of slight plasticity and marly clay of intermediate to slight plasticity.

The ground water level is at the depth of 3.0 m. In the depth of 17.5 to 22.5 m and at the pressure of 10 kp/cm² the permeability is no more than 1.36 l/min/m. Similar conditions prevail in borehole S₄.

The marl and clay are Sarmatian in age. The power house will be founded some 19 m below the present surface in the Sarmatian sandy marl and clay. The conditions for the foundation are favorable. The permeability of the rocks is small. The Sarmatian strata are thoroughly consolidated so that settling will be negligible.

From the power house the water will flow along a one and a half kilometer long canal cut in a Holocene terrace, back into the Drava river. The surface of the terrace consists of a one to two meters thick bed of sand and silt and is underlain by gravel and sand with intercalations of coarse gravel. Although no conglomerate lenses were established by boring, it is nonetheless possible that they are present.

The ground water is 2 to 3 m below the surface owing to which the excavation works will have to be carried out under water, but no great difficulties are expected since the excavations will be in the gravel.

The water power plant Hajdoše

This water power plant will utilize the gradient of the Drava river between the power plant Loka and the power plant Borl--Ormož. The plant will be of the river type, and its large reservoir will extend as far as Rošnja. From the power house, which will be located on the left bank of the Drava river at Hajdoše, the water will flow off along an 1.8 km long canal back into the Drava river. The construction of the power plant is well under way.

The reservoir will extend across the plain spreading along the Drava river between Hajdoše and Rošnja. In order to prevent the Drava river from flooding large areas of cultivated land levees will be required. The levee on the right bank will extend from Hajdoše to Rošnja and will be 8.5 km long. The left bank of the Drava river from Orešje to Vurberg is built up of the Tertiary hills called Slovenske Gorice. Between Vurberg and Martin where the river bed is at a considerable distance from the hills, a 3.7 km long levee will have to be constructed. The left bank of the Drava river consists mainly of Pliocene sediments which in part are overlain by Pleistocene and Holocene gravels and sands. The Pliocene beds as a whole are impervious. The gravel, sand and conglomerate are so compressed by the overlying younger sediments that they have become thoroughly consolidated and are only slightly permeable. The permeability coefficient K of the Pliocene gravel ranges from 1×10^{-2} cm/sec to 1×10^{-4} cm/sec. The conglomerate and sand, on the other hand, are even less permeable than the gravel.

Intercalated between the gravel, conglomerate and sand are 1 to 10 m thick impervious clay and marl strata. The impervious beds dip in the direction of the river and the plain, thus preventing water losses from the reservoir.

On the right bank the Pliocene sediments are overlain by a 5 to over 15 m thick stratum consisting of gravel and sand.

It is held that the water will seep from the reservoir only through the 5 to 15 m thick stratum of Quaternary gravel and sand.

At the Hajdoše dam the water level of the Drava river will rise from the present elevation of 222.5 m to the elevation of 235 m.

The Upper Pliocene sediments on which the dam and the power house will be founded are exposed only on the left bank of the Drava river.

On the right bank and in the bed itself they are overlain by Holocene sand and gravel.

Owing to the position of the clay and marl intercalations and the slight permeability of the Pliocene gravel, seepage through the left abutment of the dam will be slight. In order, however, to lessen the water loss through the Pliocene gravel and conglomerate, the gravel strata between the clay and the marl intercalations will have to be sealed off. The right bank will likewise have to be sealed off, especially close to the right abutment. The most suitable seal would seem to be a grout curtain reaching down to the impervious Pliocene substratum.

The dam foundation will lie on the clayey marl stratum "b" (figs. 2 and 3) at the elevation of 214 m. In the dam section this bed is from 3 to 6 m thick. Its surface lies in the dam area at the elevation of 213 to 216 m. The bed "b" dips downstream and from the left towards the right bank. It forms a lens which thins out both up- and downstream. The exact extent of the lens was determined by means of 64 bore holes. In the upstream direction the bed "b" lenses out at a distance of about 100 m from the power house, in the downstream direction on the left bank at a distance of 100 m from the power house, and on the right bank near the dam itself.

The lenticular bed "b" will serve as a natural seal by means of which the water loss through the underlying 5 to 10 m thick Pliocene gravel bed will be lessened. The water loss through the Pliocene gravel will be in the neighborhood of $0.047 \text{ m}^3/\text{sec}$ if the permeability coefficient of the Pliocene gravel K is $1 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{sec}$.

Neither the clayey marl bed "b" nor the clayey marl bed "c" is homogenous, the one and the other is made up of more or less thick clay, marl, sandstone and silt beds and lenses.

In computing the loading capacity of the foundation site and settlements due to the weight of the dam, attention should be focused primarily on the softer clay intercalations the volume of which changes considerably under compression. The designer of the dam will have to pay special attention to settling which will not be uniform.

The foundation for the power house will lie at the elevation of 205 m and will rest partly upon the firmly consolidated Pliocene gravel and partly upon Pliocene conglomerate. The loading capacity is adequate, but it will be necessary to calculate the settling below the structures after the excavation works have been completed.

The lower clayey marl bed "c" is sufficiently consolidated so that only slight settlements can be expected. The water occurring between beds "c" and "b" of the Pliocene gravel will no doubt render construction works difficult.

From the power house the water will flow along a 1800 m long canal back into the Drava river. The canal will run across a Holocene plain extending at the foot of the higher terrace built up of different Pliocene sediments such as conglomerate, firmly consolidated gravel, sand, marl and clay. The bottom of the canal will be at the elevation of 214 m.

Bore holes have shown that the thickness of the Holocene gravely sand bed is from 2.5 to 5 m. It is underlain by Pliocene sediments whose relief is exceedingly undulated. The latter sediments are slightly inclined in the direction of the Drava river.

The excavation of the canal was begun in 1960. The Holocene gravel and sand were removed by means of dredgers which, however, proved unsuitable for the excavation of the Pliocene beds.

The ground water level having been 2 m below the surface, the excavation had to be laid dry by means of two pumps the capacity of which was 2000 l/min. As soon as the 50 by 200 m excavation was dry the Pliocene beds were removed by means of bulldozers while the harder conglomerates were blasted.