

HIDROGEOLOŠKE RAZMERE NA OBMOČJU STROJNICE ELEKTRARNE SREDNJA DRAVA 1. STOPNJA

Ljubo Zlebnik

S 6 risbami med tekstem in 2 fotografijama v prilogi

Uvod

Hidroelektrarna Srednja Drava je kanalskega tipa z jezom v Melju in s strojnico pri Zlatoličju. Jez in strojnica bosta povezana z 17,2 km dolgim dovodnim kanalom. Iz strojnice bo odtekala voda po 6 km dolgem odvodnem kanalu v Dravo nekoliko nad Ptujem.

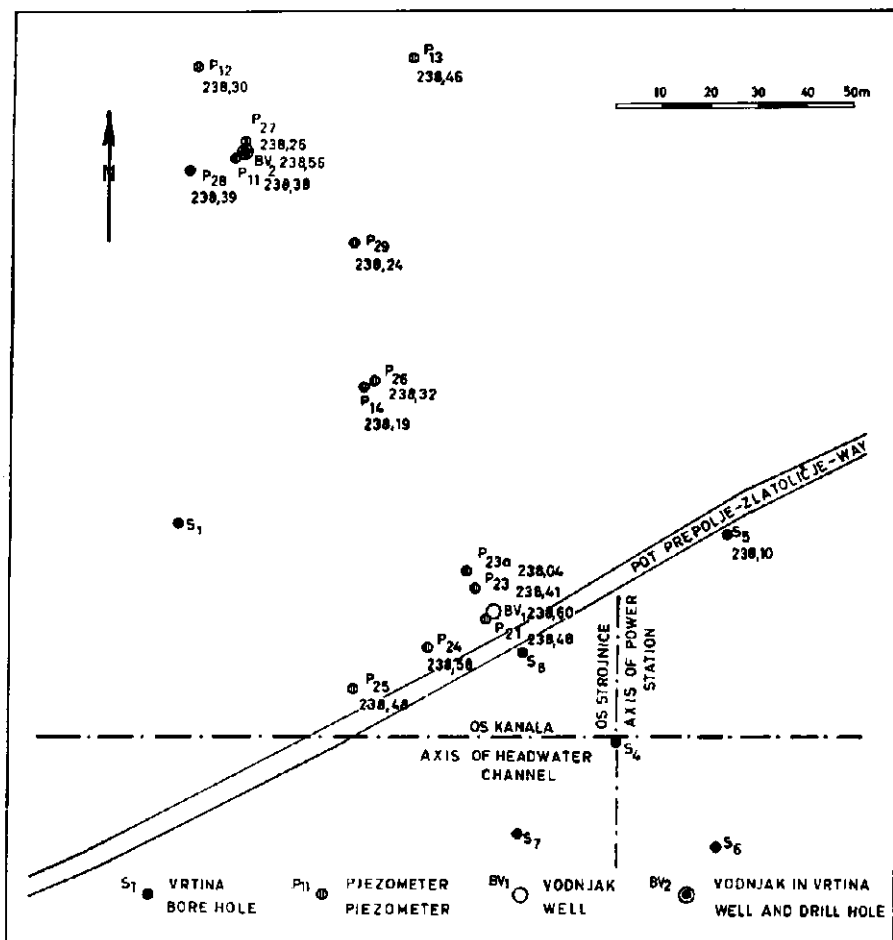
Strojnica je projektirana na pleistocenski terasi v bližini glavne ceste Maribor—Ptuj pri vasi Zlatoličje. Površina terase je na nadmorski višini 237,8 m do 238,4 m. Temelji strojnice leže po projektu na koti 201 m v globini 37,5 m pod površino.

Gladina podtalne vode je pri srednjem stanju vode na koti 230 m; to kaže, da bo gradbena jama za strojnico izkopana 29 m globoko pod gladino podtalne vode, kar je doslej edinstven primer v Sloveniji. Za izdelavo projekta te zahtevne gradnje je bilo potrebno ugotoviti sestavo tal ne le zaradi pogojev temeljenja, temveč tudi zaradi ocene dotoka podtalne vode v gradbeno jamo. V ta namen je bilo na območju strojnice v Zlatoličju izvrtanih 7 vrtin; vrtina S₂ je bila globoka 60 m, vrtina S₄ celo 68,5 m, medtem ko so druge vrtine segale le do kote 200 m (1. sl.).

Geološki opis

Podatki vrtin so pokazali, da sestavlja teraso zgoraj 24,2 do 26 m debela plast debelega peščenega proda z vložki in lečami peska. Spodaj leži bolj droben gosto odložen peščen kremenov prod, ki vsebuje vložke konglomerata, zbitega peska in trde peščene gline. Vložki peska in peščene gline, debeli 0,5 do 4 m, ne sestavljajo zveznih plasti, temveč se horizontalno izklinjajo.

Po podatkih kartiranja v širši okolici je bilo mogoče sklepati, da je vrhnja prodna plast pleistocenska, medtem ko je spodnja prodna plast pliocenske starosti. Pliocenske plasti so razkrite v gričevju na levem bregu Drave med Vurbergom in Ptujem, kjer jih sestavljajo droben peščen kremenov prod, konglomerat, zbit pesek in glina. Po litološki sestavi



Sl. 1. Situacija raziskovalnih vodnjakov, vrtin in piezometrov na območju strojnice v Zlatoličju

Fig. 1. Situation of the exploration wells, drill holes and piezometers in the powerhouse site at Zlatoličje village

so te plasti enake kot na območju strojnice v Zlatoličju. V zgornji prodni plasti so kasneje med kopanjem gradbene jame našli kosti mamuta, kar dokazuje, da je vrhnja prodna plast pleistocenska.

Raziskave zrnivosti proda so pokazale, da je v zgornji, pleistocenski prodni plasti primes melja neznatna, največ 6 %, peska pa je 35 do 57 %. Spodnji, pliocenski prod je drobnejši ter vsebuje veliko melja, od 11 do 35 %, peska pa je 20 do 62 %.

Tudi po litološki sestavi se pliocenski prod močno razlikuje od pleistocenskega. Pleistocenski prod vsebuje poleg kremenovih tudi prodnike

amfibolita, tonalita, gnajsa in redko apnenca, medtem ko v pliocenskem produ prevladujejo dobro zaobljeni drobni kremenovi prodniki. Tako sestavo pliocenskega proda je mogoče razložiti z večjo transportno razdaljo v pliocenu, medtem ko je bila ta razdalja v pleistocenu zaradi ledenikov mnogo krajša in so se poleg prodnikov kremenca ohranili tudi prodniki manj odpornih metamorfnih hribin.

Med vrtanjem smo pliocenske plasti raziskali tudi po standardni metodi penetracije. V pleistocenskem produ te raziskave niso uspele zaradi debelih oblic, ki prevladujejo v produ. V pliocenskem produ, pesku in peščeni glini so penetracijski preizkusi povečini uspeli in so pokazali, da so pliocenske plasti dobro konsolidirane; penetracijska konica je prodrla v globino 1 čevlja (30,5 cm) šele po 100 do 250 udarcih.

Zaradi velike razlike hidrostaticnih pritiskov v vrtini in zunaj obložne kolone je pleistocenski prod ob izvlačenju jedrne cevi prodiral navzgor v obložno kolono. Med vrtanjem v pliocenskem produ tega pojava ni bilo. V pleistocenskih plasteh je bilo treba obložno kolono zabiti do dna vrtine po vsakem izvlačenju jedrne cevi, ker so se sicer stene rušile. V pliocenskem produ pa je bilo možno vrtati brez cevitve do 10 m globoko.

Ta pojav je nastal zato, ker je bil ob spodnjem koncu obložne kolone strujni pritisk v pleistocenskem produ večji od njegove prostorninske teže, zmanjšane za vzgon. V pliocenskem produ pa ta pojav ni možen, ker ima večjo prostorninsko težo in poleg tega določeno kohezijo.

Raziskave vzorcev nekoliko sprijetega pliocenskega proda iz vodnjaka BV₁ so pokazale, da je njegova prostorninska teža pri naravni vlagi = 2,06 do 2,3 t/m³. Prostorninska teža pleistocenskega proda pa doseže največ 2,04 t/m³.

Dopustna obremenitev pliocenskega proda v globini 2 m pod površino je po predpisih PTP 5 kp/cm², v globini 37,5 m pod površino, pod temelji strojnice, je znatno večja. Temeljna tla bodo po izkopu gradbene jame razbremenjena za celotno težo izkopenega materiala. Razbremenitev bo dosegla vrednost 52,5 t/m², računano po obrazcu

$$\sigma_z = \gamma \cdot h + (\gamma_s - \gamma) \cdot (1 - n) \cdot (z - h)$$

σ_z = normalna napetost v navpični smeri

γ_s = 2,7 t/m³ (specifična teža trdne snovi)

$\gamma_w \sim 1$ (specifična teža vode)

z = 37,5 m (globina izkopa)

n = 0,25 (poroznost)

γ = 2,025 t/m³ (povprečna suha prostorninska teža pleistocenskega in pliocenskega proda)

h = 8 m (globina izkopa nad vodo)

Izkop gradbene jame bo do globine 8 m v suhem peščenem produ, nižje bo pod gladino podtalne vode. Ker je izkop z mehanizacijo mogoč le do določene globine, je projektant predvidel črpanje vode iz gradbene jame, da bi bil izkop na suhem.

Temeljna tla bodo po izkopu gradbene jame razbremenjena in se bodo zato dvignila. Ker ni znan deformacijski modul E pliocenskega proda, ne

moremo povsem točno izračunati, za koliko se bodo tla dvignila. Po podatkih laboratorija za mehaniko tal univerze v Ljubljani (Kerin, 1965) bo dvig znašal 19,5 do 28 cm.

Ko bo strojnica zgrajena, se bodo tla ponovno posedla. Posedanje bo manjše od dviga, ker je predvidena teža zgradbe manjša od teže izkopanega materiala. Del zgradbe s turbinama, obrnjen proti toku, je težji od nasprotnega dela, obrnjenega v smeri toka. Bolj obtežen del temeljnih tal se bo tudi bolj posedel, in sicer za 19 do 21 cm, medtem ko se bo manj obtežen del posedel za 16 do 19 cm. Razlika v posedanju je torej 3 do 5 cm. Vendar so te številke le približne, ker je bila pri izračunavanju privzeta za deformacijski modul E pliocenskega proda zelo nizka vrednost (670 kp/cm^2). Zato bosta dejansko posedanje in razlika v posedanju obeh delov strojnice manjša. Med gradnjo bo potrebno opazovati posedanje strojnice, da bi preprečili morebitne okvare turbin po pričetku obratovanja elektrarne, ki bi nastale zaradi nagibanja strojnice.

Hidrogeologija

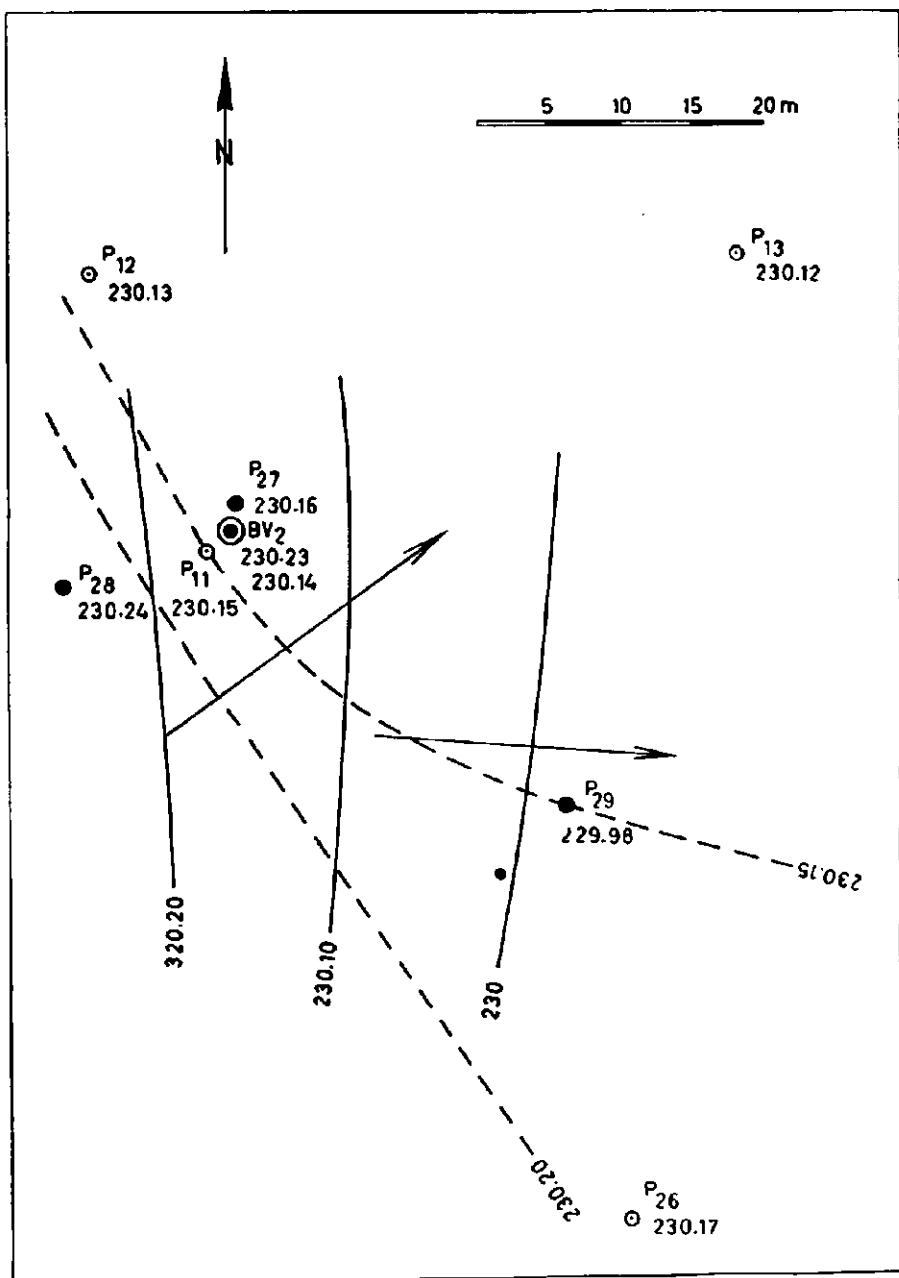
Za izračunanje dotoka vode v gradbeno jamo je bilo potrebno čim točneje ugotoviti vrednost koeficienta prepustnosti pleistocenskega in pliocenskega proda. V ta namen smo raziskali prepustnosti prodov laboratorijsko ter s črpalnimi poizkusi v vodnjakih in vrtinah. Za ta članek smo podrobneje vrednotili samo rezultate raziskav v pliocenskemrodu, medtem ko bodo podatki o pleistocenskemrodu obdelani v posebni razpravi.

S poizkusnim črpanjem v vodnjaku BV_2 je bilo ugotovljeno, da je srednja vrednost koeficienta prepustnosti k pleistocenskega proda $4,1$ do $4,63 \cdot 10^{-1} \text{ cm/sek}$ (2. sl.).

Podatkov za vrednost koeficienta prepustnosti pliocenskega proda je bilo znatno več. Že leta 1959 smo s črpalnim poizkusom v vrtini $\dot{C}_2$

LEGENDA K 2. SLIKI EXPLANATIONS TO FIG. 2

- P_{29} 22998 ● PIEZOMETER Z GLADINO VODNEGA HORIZONTA V PLIOCENSKEM PRODU
PIEZOMETER SHOWING THE WATER TABLE IN PLIOCENE GRAVEL
- P_{13} 23012 ○ PIEZOMETER Z GLADINO VODNEGA HORIZONTA V PLEISTOCENSKEM PRODU
PIEZOMETER SHOWING THE WATER TABLE IN PLEISTOCENE GRAVEL
- VODNJAK BV_2 TER VRTINA Z GLADINAMA VODNIH HORIZONTOV
V PLEISTOCENSKEM IN PLIOCENSKEM PRODU
WELL BV_2 AND DRILL HOLE SHOWING THE WATER
TABLES IN PLEISTOCENE AND PLIOCENE GRAVELS
- HIDROIZOHIPSE VODNEGA HORIZONTA V PLIOCENSKEM PRODU DNE 27.4.1964
CONTOURS OF THE GROUND WATER TABLE ON APRIL 27, 1964
- - - HIDROIZOHIPSE VODNEGA HORIZONTA V PLEISTOCENSKEM PRODU DNE 27.4.1964
CONTOURS OF THE GROUND WATER TABLE ON APRIL 27, 1964
- SMER TOKA PODALNE VODE
FLOW DIRECTION OF THE GROUND WATER



Sl. 2. — Fig. 2

v Hajdošah ugotovili, da v pliocenski prodni plasti, izolirani v krovlini in talnini z glino, niha vrednost koeficienta prepustnosti med $5,05 \cdot 10^{-2}$ in $5,14 \cdot 10^{-3}$ cm/sek. Na območju strojnice v Zlatoličju smo prepustnost pliocenskega proda preizkusili s tlačenjem vode v vrtine S_1 , S_2 , S_4 , S_5 , S_6 , S_7 in S_8 .

Prepustnost smo v vrtinah raziskovali po odsekih 2 do 8 m, ker smo se morali ravnati po tehničnih možnostih zatesnitve vrtine z obturatorjem. V prodnih plasteh obturator ni povsod tesnil, zato smo ga morali pomikati navzgor in navzdol, dokler nismo dosegli zadovoljive tesnitve. Merili smo povečini le pri dveh različnih pritiskih; ko je pritisk vode narasel prek 5 kp/cm^2 , je voda pogosto predrila stene vrtine ob obturatorju, kar se je pokazalo v nenadnem padcu pritiska.

Za izračunanje Darcyjevega koeficienta k po podatkih merjenja prepustnosti je mogoče upoštevati le pritiske na stene vrtine v merjenih odsekih, zato je bilo treba odšteti tlačne izgube, ki nastanejo pri pretakanju vode skozi drogovje, prišteti pa pritisk vodnega stebra od manometra do gladine podtalne vode.

Vodne izgube pri raziskavah prepustnosti so nihale od 8,5 do 52 l/m/min pri pritiskih $3,5$ do $4,5 \text{ kp/cm}^2$ v določenih odsekih.

Koeficient prepustnosti » k « smo izračunali po Dupuitovi enačbi za dotok vode iz horizonta pod pritiskom:

$$k = \frac{0,366 \cdot Q \cdot \log \frac{R}{r}}{M \cdot H}$$

M = dolžina raziskanega odseka vrtine v m

r = polmer vrtine v m

Q = vodne izgube med preizkusom VDP v m^3/sek

H = pritisk vode na stene vrtine, izražen v m vodnega stebra

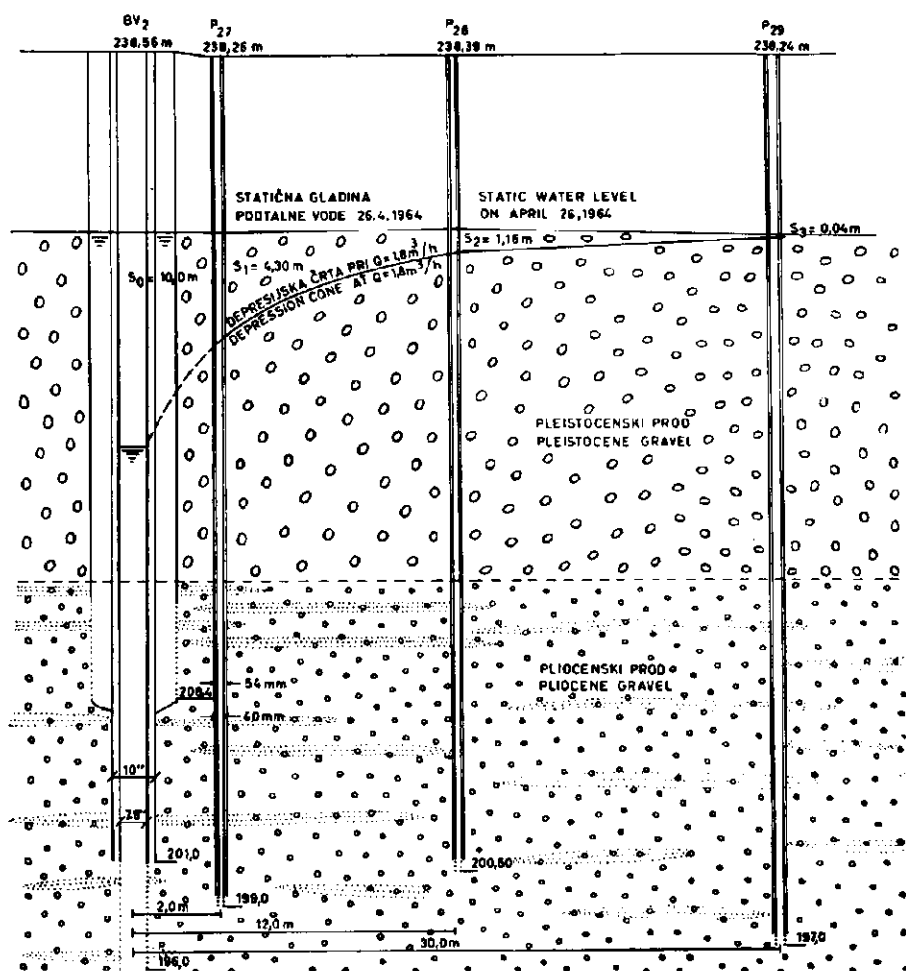
R = polmer vpliva v m $\sim 100 \text{ m}$.

Izračunane vrednosti k so približne, ker dejanske razmere niso ustrezale v celoti pogojem enačbe, vendar so za oceno prepustnosti uporabne.

Tako izračunane vrednosti koeficienta k nihajo od $3,76 \cdot 10^{-4}$ do $3 \cdot 10^{-8}$ cm/sek.

V geomehanskem laboratoriju univerze v Ljubljani so v permeamtru raziskali vzorce pliocenskega proda iz vodnjaka BV₁, zbite na isto prostorninsko težo, kot je bila ugotovljena pri neporušenih vzorcih proda. Ugotovljeno je bilo, da niha koeficient prepustnosti k od $1,2 \cdot 10^{-4}$ do $5,3 \cdot 10^{-5}$ cm/sek.

Vse navedene raziskave so kazale, da je pliocenski prod vsaj stokrat manj prepusten kot pleistocenski prod. Da bi potrdili rezultate raziskav, so izkopali vodnjak BV₁ do kote 197,5 m, ki je bil perforiran v pliocenskemrodu le od kote 206 m navzdol. Po podatkih poizkusnega črpanja je bil koeficient » k « pliocenskega proda $3 \cdot 10^{-2}$ cm/sek, kar je le desetkrat manj kot prepustnost pleistocenskega proda.



Sl. 3. Depresijska krivulja pri črpanju $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ iz vrtine v vodnjaku BV₂
 Fig. 3. Drawdown curve at discharge $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ from the drill hole located within the well BV₂

Ti podatki so se močno razlikovali od prej ugotovljenih. Izražen je bil sum, da je voda dotekala v perforirani del vodnjaka ne samo iz pliocenskega proda, temveč ob stenah vodnjaka tudi iz zgornje, močno prepustne pleistocenske prodne plasti.

Posebno pozornost so vzbudili podatki kemičnih analiz vode, ki je bila vzeta med črpanjem iz vodnjakov BV₁ in BV₂. Po kemični sestavi sta bila oba vzorca vode skoraj enaka, čeprav je bil vodnjak BV₂ perforiran v pleistocenskih plasteh, vodnjak BV₁ pa le v pliocenskih plasteh. Trdota je bila pri obeh vzorcih $14,6^\circ \text{dH}$. V nasprotju z dobljenimi rezultati analiz smo pričakovali, da se bosta vodi razlikovali med seboj,

ker je litološka sestava pleistocenskega in pliocenskega proda precej različna.

Za projekt izkopa gradbene jame in gradnje strojnice je bilo treba poznati čim točnejšo vrednost koeficienta k pliocenskega proda. Zato je Geološki zavod po naročilu Dravskih elektrarn ponovno izvedel poizkusno črpanje v pliocenskemrodu. V ta namen je leta 1964 izvrtal z dna vodnjaka BV₂ vrtino premera 7,5 colov do kote 196 m. Obložna cev vrtine je bila spodaj perforirana na dolžini 5 m. Da bi preprečili pretakanje vode iz zgornje, bolj prepustne plasti ob ceveh vodnjaka navzdol v perforirani del vrtine, je bila do kote 201 m zabita še neperforirana cev premera 20 colov. Enako so bile izvedene tudi piezometriške vrtine. P₂₇, P₂₈ in P₂₉ (3. sl.).

Že prvi podatki črpanja so pokazali, da je izolacija pliocenskega proda od pleistocenskega popolnoma uspeša; že pri $Q = 0,205$ l/sek je znašala depresija v vrtini 3,6 m, v piezometriških ceveh pa nekoliko manj. Poizkusno črpanje je trajalo 10 dni pri 6 različnih količinah Q od 0,205 do 1,7 l/sek (4. sl.). Pri vseh poizkusih smo črpali tako dolgo, da smo dosegli stacionarno stanje, razen pri $Q = 1,7$ l/sek, ko je gladina vode v vodnjaku padla pod spodnji rob črpalke in je bilo črpanje prekinjeno.

Za izračunanje vrednosti k iz črpalnih poizkusov, pri katerih je bilo doseženo stacionarno stanje, smo uporabili Thiemovo enačbo za dotok vode k vodnjaku iz vodnega horizonta pod pritiskom:

$$k = 0,366 Q \frac{\log . r_2 - \log . r_1}{M (s_1 - s_2)}$$

r_2 = razdalja piezometra P₂₈ od središča vrtine

r_1 = razdalja piezometra P₂₇ od središča vrtine

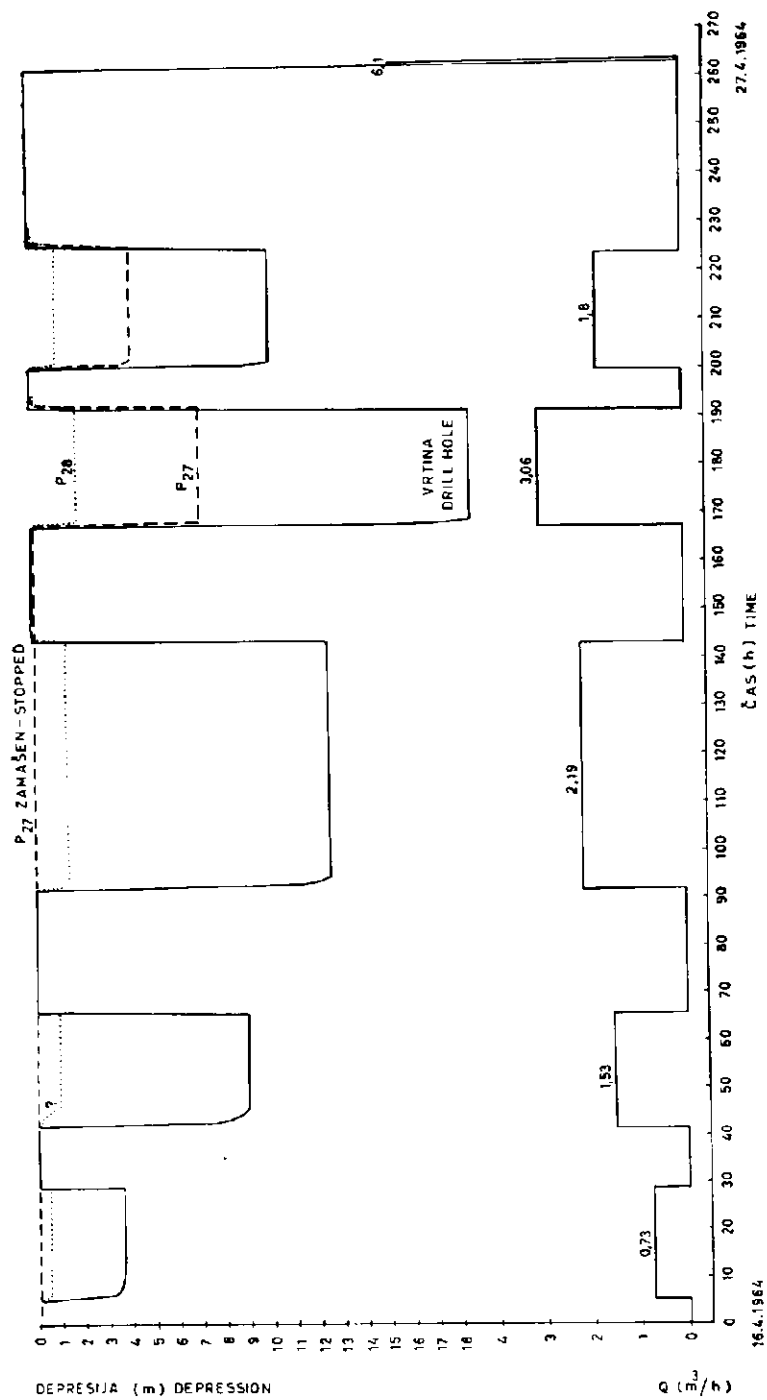
s_1 = znižanje gladine vode v piezometru P₂₇ med črpanjem

s_2 = znižanje gladine vode v piezometru P₂₈ med črpanjem

M = debelina vodnega horizonta — dolžina perforiranega dela črpalne vrtine.

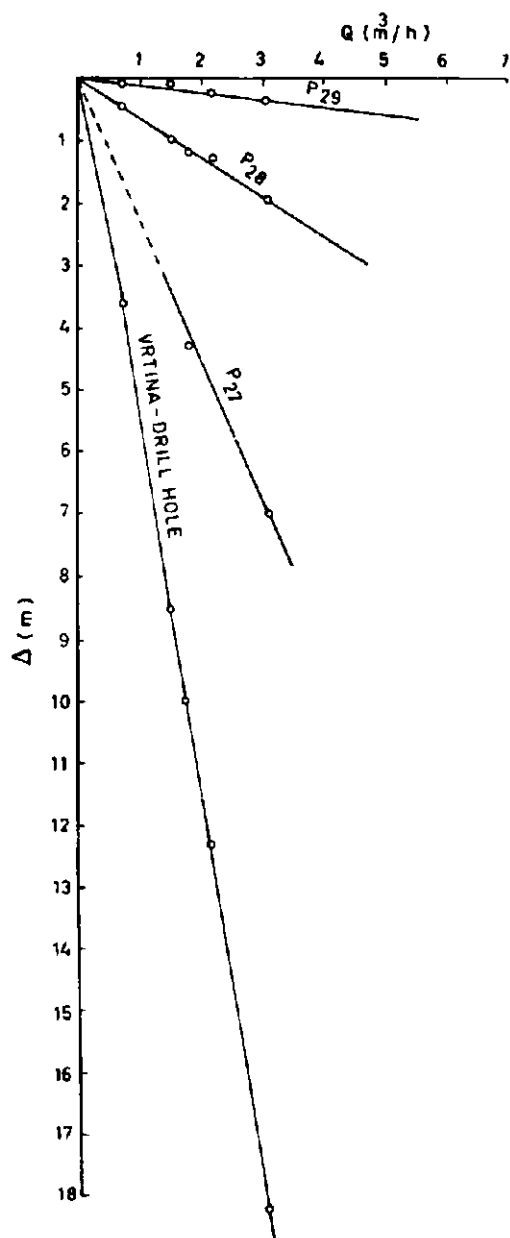
Razmere med črpalnim poizkusom so približno ustrezale pogojem Thiemove enačbe. Pri računanju smo privzeli, da je plast pliocenskega proda in peska nad perforacijo v vrtini do kote 214 m, kjer je meja med pliocenskim in pleistocenskim prodom, nepropustna. Ta predpostavka ni povsem točna, vendar lahko z gotovostjo trdimo, da je prepustnost pliocenskih plasti v navpični smeri neznatna. Med vrtanjem je namreč voda dotekala v vrtine le na odsekih čistega peščenega proda. Na odsekih vrtine v meljastemrodu, glini in konsolidiranem pesku ni bilo znatnejšega dotoka vode, kar smo ugotovili po znatnem upadanju vodne gladine v vrtini, potem ko smo izolirali čiste peščene prodne plasti z obložno cevjo. Vrtali smo brez izplake, zato se voda v vrtini ni tako hitro dvignila do prvotne višine, ko smo izvlekli jedrno cev.

Enake pliocenske plasti nastopajo tudi pod dnem vrtine, tj. pod koto 196 m. Zato smo privzeli, da so tudi te plasti v navpični smeri neprepustne in da iz njih med poizkusnim črpanjem voda ni dotekala v vodnjak.



Sl. 4. Diagram črpanja iz vrline v vodnjaku BV₂

Fig. 4. Diagram of the pumping test with the drill hole located within the well BV₂



Sl. 5. Diagram odvisnosti depresije Δ od količine črpane vode Q v vrtini in piezometrijskih ceveh

Fig. 5. Diagram showing the relations between drawdown Δ and drill hole discharge Q

Opazovanja so potrdila našo domnevo, da je depresija v vodnjaku in piezometriških ceveh sorazmerna količini črpane vode, kar je značilno za vodne horizonte pod pritiskom (5. sl.).

Vrednost koeficienta prepustnosti k je:

$$\begin{aligned} \text{za } Q &= 0,5 \text{ l/sek} \\ k &= 9,04 \cdot 10^{-6} \text{ m/sek} \\ \text{za } Q &= 0,85 \text{ l/sek} \\ k &= 9,48 \cdot 10^{-6} \text{ m/sek} \end{aligned}$$

V obeh primerih smo uporabili podatke iz piezometriških cevi P_{27} in P_{28} , ki so najbolj zanesljivi. Med črpanjem so bile v piezometriški cevi P_{29} malenkostne depresije, v vrtini pa je bila depresija večja, kot bi ustrezalo Thiemovi depresijski črti, in sicer zaradi izgub pritiska pri pretakanju vode skozi perforirano cev (6. sl.). Kot debelino vodnega horizonta M smo privzeli dolžino perforiranega dela vodnjaka. Vodni horizont M vsebuje več plasti prepustnega peščenega proda, vložnih v zelo malo prepusten pesek in meljast prod. Izračunana vrednost koeficienta k je srednja vrednost prepustnosti močno prepustnih in zelo malo prepustnih pliocenskih plasti.

Vrednost koeficienta k smo zaradi kontrole računali tudi po grafični metodi, ki jo je predložil *Castany* (1963).

Po tej metodi računamo k po enačbi

$$T = \frac{0,366 \cdot Q}{c}$$

$$T = k \cdot M$$

$$c = \frac{\delta \Delta}{\delta(\log x)}; \text{ vrednost } c \text{ odčitamo neposredno z grafičnega prikaza}$$

depresije in logaritma razdalje; na ordinato nanašamo vrednosti depresije v navadnem merilu, vrednosti razdalj piezometrov od središča vrtine pa v logaritmičnem merilu. Pri dveh različnih vrednostih Q smo dobili naslednji vrednosti za k : Pri $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$

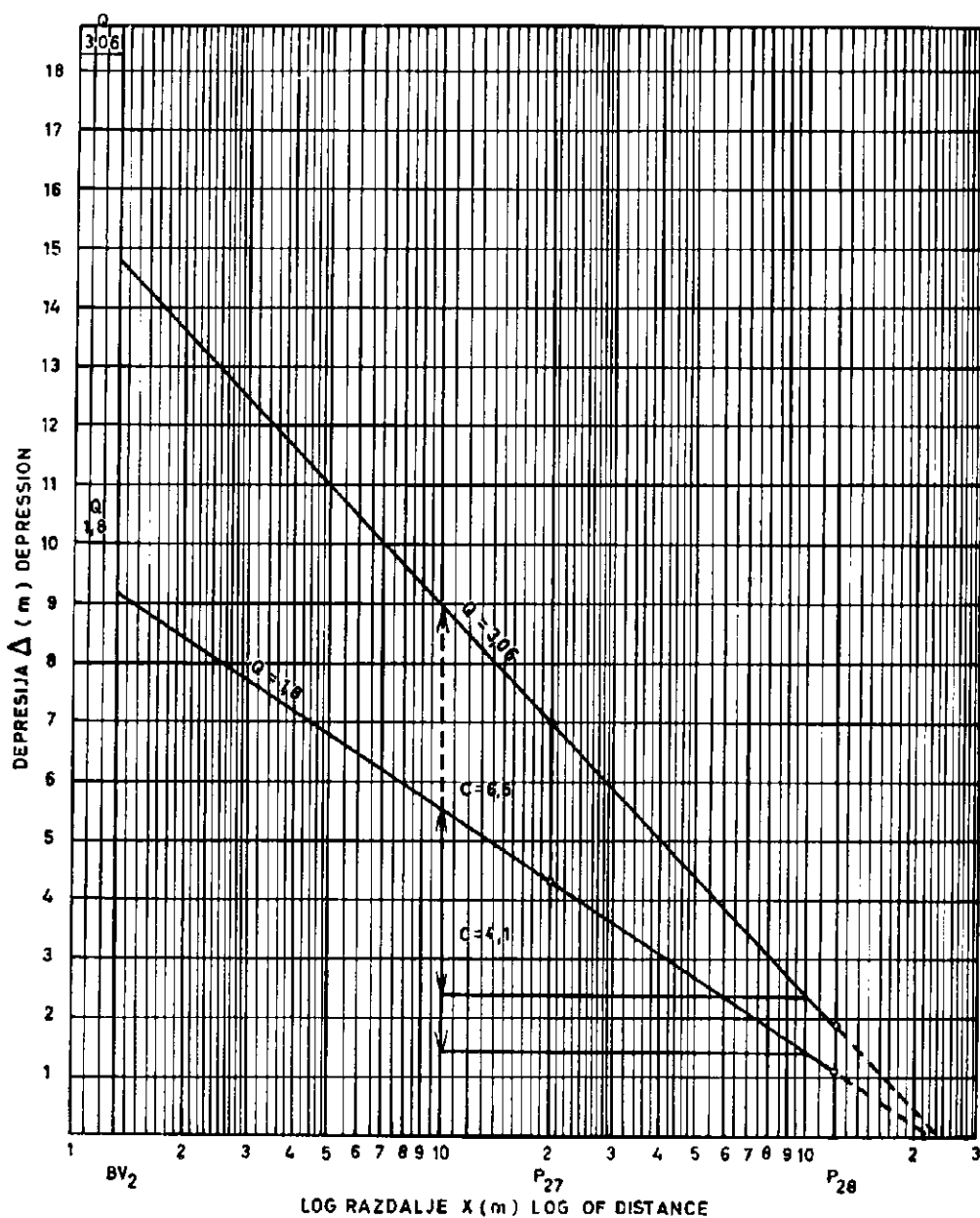
$$T = \frac{0,366 \cdot 0,0005}{4,1} = 4,47 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sek}$$

$$k = \frac{T}{M} = \frac{4,47 \cdot 10^{-5}}{5} = 8,93 \cdot 10^{-6} \text{ m/sek}$$

$$\text{Pri } Q = 3,06 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$T = \frac{0,366 \cdot 0,00085}{6,5} = 4,78 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sek}$$

$$k = 9,57 \cdot 10^{-6} \text{ m/sek}$$



Sl. 6. Depresija v vrtini in piezometrih pri črpanju $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ in $3,06 \text{ m}^3/\text{h}$

Fig. 6. Depression of the water table in the drill hole located within the well EV_2 and piezometers at discharges $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ and $3,06 \text{ m}^3/\text{h}$

Rezultati, ki smo jih dobili z računanjem na oba načina, so skoraj enaki. Izračunana vrednost koeficienta k je srednja vrednost prepustnosti 5 m debele plasti pliocenskega proda, iz katere je med črpanjem dotekala voda v vrtino. Pliocenski prod sestoji iz plasti manj prepustnega meljastega proda in iz plasti bolj prepustnega čistega peščenega proda. To velja za celotno območje, zato lahko privzamemo izračunano vrednost koeficienta k za ves pliocenski prod.

Kemična analiza vode, ki je tekla med črpanjem iz vrtine, je pokazala, da se njena sestava močno razlikuje od sestave vode iz zgornjega vodnega horizonta. Trdota vode v spodnjem horizontu je le 11,55° dH, v zgornjem pa 14,6° dH.

Po podatkih poizkusnega črpanja iz vrtine v vodnjaku BV₂ je bil izdelan glavni projekt. Projektant je predvidel kopanje gradbene jame brez zagatnih sten s črpanjem vode, ki bo dotekala iz pleistocenskega proda. Dotoka vode iz pliocenskega proda ni upošteval, ker vrednost koeficienta k kaže, da bo zelo majhen. Prav tako je bilo mogoče po podatkih vrtanja sklepati, da v pliocenskemrodu ne bo pojavov tekočega peska.

Po končanem izkopu gradbene jame so opazovanja potrdila pričakovanje, da bo dotok vode iz pliocenskih plasti le neznaten. Točnih podatkov o količini vode ni bilo mogoče zbrati, ker zid, temeljen v pliocenskih plasteh, ki brani prelivanje vode, dotekajoče iz pleistocenskega proda v gradbeno jamo, ni popolnoma vodotesen. Po približni oceni dotok iz pliocenskega proda ni presegal 10 l/sek.

GEOLOGIC AND HYDROGEOLOGIC CONDITIONS IN THE POWERHOUSE SITE OF THE SREDNJA DRAVA I POWER PLANT

Abstract

The powerhouse of the Srednja Drava I power plant is projected on the Pleistocene terrace of Drava river near the main road Maribor--Ptuj at the village Zlatoličje. The foundations of the powerhouse are proposed on the plus 201 m level in the depth of 37,5 meters and 29 meters below the ground water table. In the powerhouse area extensive geologic and hydrogeologic researches have been carried out (Fig. 1). According to data obtained by bore holes, the terrace is composed to the depth of approximately 25 meters by loosely packed Pleistocene gravel; below it is a layer of densely packed Pliocene gravel with intercalations of sand, conglomerate and indurated clay. These intercalations horizontally thin out at a short distance.

From the grading analysis of the Pleistocene and Pliocene gravels emerged that the Pleistocene gravel contains only an insignificant admixture of silt and from 35 % to 57 % sand. The particle size of Pliocene gravel is mostly very thin, containing from 11 % to 35 % silt and 20 % to 62 % sand.

Standard penetration tests carried out in the Pliocene gravel showed that it is much consolidated. On account of coarse particles the results of the same tests in the Pleistocene gravel are not reliable. The Pleistocene and the Pliocene gravel differ from one another very much as to the value of volume weight. This comes up at the former at most to 2,04 t/cu. m and at the latter from 2,06 to 2,3 t/cu. m.

From drilling examinations emerged that Pleistocene gravel at corresponding conditions turns into running sand, whereas this is not the case with Pliocene gravel.

All these investigations show that the Pliocene gravel under the foundations of the powerhouse can be loaded with more than 5 kp/sq. cm.

The 'additional intensity of loading soil will not be significant because unloading due to excavations will reach the value of 52.5 t/sq. m. The conditions of the powerhouse foundations are therefore favourable. Excavations will mostly take place under the ground water table. The Pleistocene gravel could be partly excavated by means of power equipment. Before the excavation of dense packed Pliocene gravel, however, water will have to be removed from the building ground by pumping.

For the excavation project the quantity of 'water inflow from Pleistocene and Pliocene gravels had to be evaluated. For this purpose permeability tests of Pleistocene and Pliocene gravels were carried out and that in laboratory and under field conditions with bore holes and pumping tests. At the village Zlatoličje two wells were dug out, BV-1 and BV-2. The screen of the shallow well BV-2 was sunk and perforated only within the section of Pleistocene gravel. The same operation was performed at the deeper well BV-1 only in the lower part of the Pliocene gravel. Pumping test showed the value of permeability coefficient k of the Pleistocene gravel from 4,1 to $4,63 \cdot 10^{-1}$ cm/sec and of the Pliocene gravel $3 \cdot 10^{-2}$ cm/sec (Fig. 2). Laboratory investigations of Pliocene gravel, pumping tests and permeability measurements at drilling gave much lower values of the permeability coefficient k and that from $5,05 \cdot 10^{-2}$ to $5,3 \cdot 10^{-5}$ cm/sec. A particular attention raised the chemical analyses of water from both wells because they showed nearly the same quality of water. Owing to a different gravel composition a corresponding difference in the chemical composition of water should be expected. The suspicion gained ground that during the pumping test water penetrated in the perforated portion of the well BV-1 not only from the Pliocene gravel, but also along the casing exterior from the overlaying, very permeable Pleistocene gravel. In any case in the Pliocene gravel on account of the different lithologic composition a somewhat different quality of water could be expected.

By ordre of the Dravske Elektrarne another pumping test had to be carried out. Consequently the Geological Survey of Ljubljana made a drilling hole in the Pliocene gravel within the shallow well BV-2 (Fig. 3). The pumping test proved to be successful. Measurements of the water table in the test hole as well as in the piezometers showed a great depression and that already at $Q = 0,205$ litre/sec (Fig. 4). Chemical

analyses of water, flowing from the well during the pumping test, showed that its composition greatly differs from the one of the upper water horizon. Whereas the water hardness from the Pleistocene gravel reaches 14,6° dH, the one from the Pliocene gravel comes up only to 11,5° dH.

At the stabilized water level the value of k was evaluated from pumping test data- applying the same equation as for the flow to a well, penetrating a confined aquifer (Fig. 5). Observations during the pumping test showed that the drawdown in the testhole and in the piezometers was proportionate to the discharge rate. This is a characteristic for the confined aquifers. The calculated value of k oscillates between 9,06 to 9,48.10⁻⁴ cm/sec. On the basis of these data the main project provided an excavation without sheet pile curtains and without grouting but pumping of water flowing from the Pleistocene gravel. The discharge from the Pliocene gravel has not been taken into account owing to the very low value of k . According to drilling data no running sand could be expected in the Pliocene gravel. For this reason the foundations of the powerhouse have been projected directly on the Pliocene gravel without any consolidation works.

Later observations during the excavation entirely confirmed all the foreseeings regarding the discharge of water from the Pleistocene and Pliocene gravels and the possibility of foundations on the Pliocene gravel (Figs. 7 A and 7 B).

LITERATURA

- Bogomolov, G. V., in Silin-Bekčurin, A. I., 1959, Specijalna hidrogeologija. »Gradjevinska knjiga«, Beograd.
- Castany, G., 1963, *Traité pratique des eaux souterraines*. Dunod, Paris.
- Kerin, A., 1965, Diplomaska naloga št. 453/65. Arhiv Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani.
- Todd, D. K., 1964, *Ground water hydrology*. John Wiley & Sons, Inc., Publishers.
- Žlebnik, L., 1963, Pregledno geološko poročilo k projektu elektrarne prve stopnje Srednje Drave. Poročilo v arhivu Geološkega zavoda v Ljubljani.



A



B

Sl. 7. — Fig. 7

A. Pogled na zahodni del gradbene jame

A. View of the western part of excavation

B. Pogled na severni in vzhodni del gradbene jame

B. View of the northern and eastern part of excavation

p = pleistocenski prod — Pleistocene gravel

pl = pliocenski prod — Pliocene gravel

i = izvir v pleistocenskemrodu — Flow of water from Pleistocene gravel

v = voda, ki teče proti črpališču — Water flowing to pumping station

č = črpališče — Pumping station

z = Betonski zid, ki preprečuje prelivanje vode v gradbeno jamo — Concrete wall protecting the excavation from water