

## HIDROGEOLOŠKA INTERPRETACIJA BAZENA PRANČEVIĆI NA CETINI

*S 2 sl. u tekstu i 5 priloga*

Podizanjem betonske gravitacione brane u kanjonu Cetine kod Prančevića ostvaruje se akumulacija Prančevići korisne sadržine oko 3,0 h m<sup>3</sup>. Cijela akumulacija nalazi se u krškom terenu, pa su bili provedeni opsežni i detaljni istražni radovi.

U članku se govori o hidrogeološkim karakteristikama stijena, hidrogeološkim pojavama na području akumulacije, režimu podzemne vode, o gubicima iz akumulacije i konsolidaciji bazena.

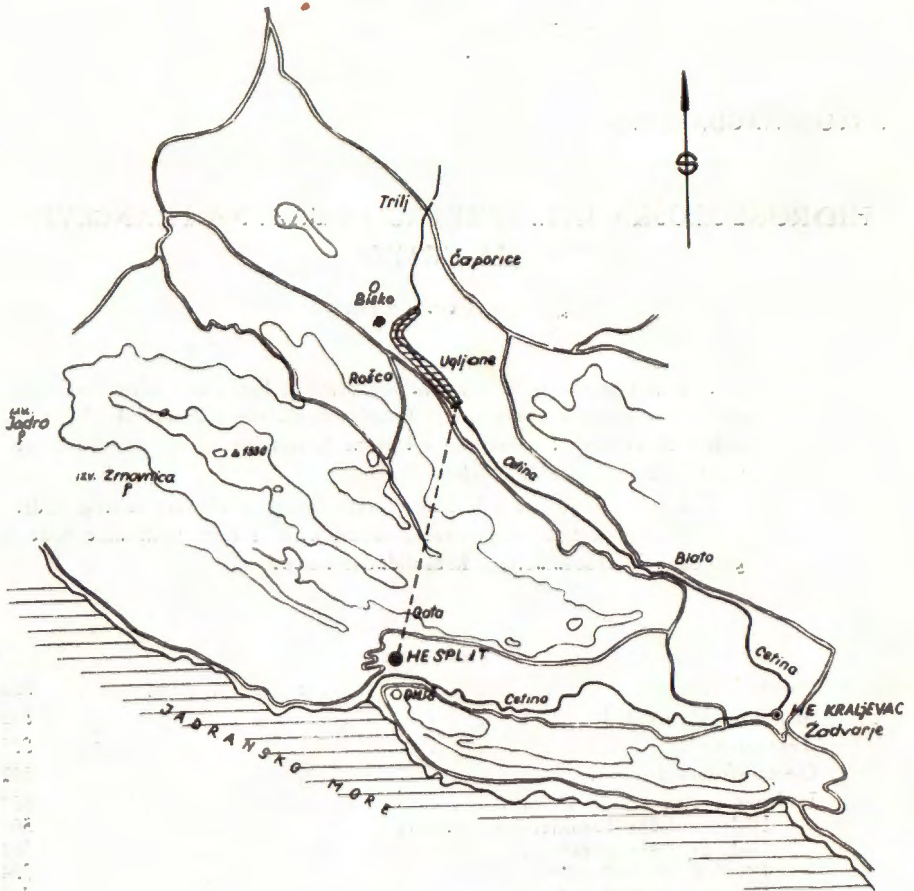
### Sadržaj

Uvod . . . . .	385
Stratigrafski pregled . . . . .	388
Tektonika . . . . .	390
Geomorfologija . . . . .	391
Hidrogeologija . . . . .	392
Hidrogeološke karakteristike stijena . . . . .	392
Hidrogeološke pojave . . . . .	394
Pregled glavnih vrela . . . . .	394
Režim podzemne vode . . . . .	395
Gubici iz akumulacije i konsolidacije bazena . . . . .	399
Zaključak . . . . .	401
Literatura . . . . .	402






### UVOD

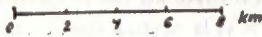
Rijeka Cetina drenira jugozapadni dio Dinarida uključujući i zapadno-bosanska krška polja Livanjsko polje s Buškim blatom, Duvanjsko i Šujičko, te dijelom Kupreško i Glamočko polje. Svojim energetskim potencijalom od blizu 4 milijarde KWh spada među najvažnije hidroenergetske izvore u Jugoslaviji.

Apsolutni pad Cetine od izvora do ušća iznosi 382 m. Cijeli tok možemo podijeliti na dva dijela, koji se međusobno razlikuju po topografskim i hidrogeološkim karakteristikama. Prvi dio od izvora do Trilja karakteriziran je malim padom (90 m), rijeka teče širokim krškim poljima. Drugi dio je pretežno kanjonski, gdje je i koncentriran najveći dio vode.



Legenda - legend

- |   |                |                 |
|---|----------------|-----------------|
|  | akumulacija    | - Storage       |
|  | tunel          | - Tunnel        |
|  | hidroelektrana | - Power station |
|  | ceste          | - Roads         |
|  | izvor          | - Spring        |



Crtao: Jovanović

Sl. 1. Situacija HE Split.  
Fig. 1. General sketch of HE Split.

Ove geomorfološke osobine doline Cetine diktirale su i energetske rješenje toka Cetine. U gornjem toku izgrađena je velika akumulacija Peruća (540 h m<sup>3</sup>) sa pribranskim postrojenjem, a u donjem toku se koristi najveći dio pada (272 m) velikom derivacionom hidroelektranom Split. Akumulacija Peruća se koristi u hidroelektrani Split za sezonsko izravnjanje.

Izgradnja HE Split predviđena je u dvije etape. Prva etapa HE Split, za snagu od 216 MW i prosječnom godišnjom proizvodnjom od oko 1600 GWh već je gotova i od 1962. god. je u normalnom pogonu.

Zahvat se nalazi u kanjonu Cetine na km 40 + 000 kod Prančevića. Odavde se voda dovodnim tunelom dužine 9800 m odvodi prema strojarnici u Zakućcu kod Omiša.

Glavni predmet obrade ovog rada je akumulacija Prančevići. Ona se ostvaruje podizanjem betonske gravitacione brane u kanjonu Cetine kod Prančevića. Duljina akumulacije iznosi oko 4,5 km. Usvajanjem visine uspora vode na koti 273,0 m dobiva se u jezeru korisna zaprema od 3,0 hm<sup>3</sup>, što zadovoljava potrebe dnevnog izravnjanja. Najveći uspor iznosi 23,0 m. Visina uspora na koti 273,0 m najviša je koja se mogla postići s obzirom na geološke i hidrogeološke odnose u području akumulacije. Cijela akumulacija nalazi se u krškom terenu. Kako geološki sastav, struktura terena, hidrogeološke karakteristike imaju veliki utjecaj na akumulaciju, bili su provedeni opsežni i detaljni istražni radovi. Kod toga su korištene razne metode s više ili manje uspjeha. Na objektima HE Split, na akumulaciji, dovodnom tunelu, strojarnici radio sam tokom 1958-1961. god.

Projekt za HE Split izradilo je poduzeće »Elektroprojekt«, Zagreb, a glavni projektant je S. Reštarović. Osnovni podaci za hidroelektranu Split, objavljeni su u Građevinaru (Reštarović 1956, 1957) i Elektroprivredi (S. Reštarović, 1958).

O geološkim i hidrogeološkim odnosima šireg i užeg područja akumulacije pisano je u izvještajima J. Poljaka (1953, 1955) i I. Crnolatca (1953, 1955). Cijelo područje zahvaćeno je preglednom geološkom kartom 1 : 75.000 Sinj i Split, koju je snimio F. Kerner (1914). Radovima J. Poljaka i I. Crnolatca dopunjena je spomenuta geološka karta, a uže područje bazena Prančevići snimljeno je u mjerilu 1 : 5.000.

Uže područje akumulacije detaljno je kartirano u mjerilu 1 : 1000. Na karti mjerila 1 : 10000 prikazani su pretpostavljeni smjerovi kretanja podzemne vode za visokih i niskih vodostaja na temelju opažanja vodostaja u bušotinama (A. Magdalenić, 1958).

Osim površinskih geoloških istraživanja vršena su istraživanja pomoću bušenja na jezgru s ispitivanjem vodopropusnosti. Na području užeg i šireg područja akumulacije izbušeno je oko 130 bušotina dubine između 10-250 m. Determinacijom jezgre iz bušotina, mjerenjem vodopropusnosti i opažanjem podzemnih vodostaja u bušotinama dobili su se dragocjeni podaci za rješavanje komplicirane hidrogeološke problematike ovog područja.

Geofizička ispitivanja u predjelu akumulacionog bazena Prančevići vršena su primjenom metode specifičnog električnog otpora i vlastitog potencijala (B. Milanović, 1959). Ta ispitivanja su imala za cilj da utvrde poremećene zone u vapnencima, opće pravce pružanja tih zona i dubina karstifikacije.

Prilikom izrade ovog rada koristio sam podatke iz fonda Elektroprojekta i poduzeća Hidrocentrale na Cetini u Splitu. Podaci korišteni za ovaj rad navedeni su u literaturi. Posebno se na ovom mjestu zahvaljujem B. Zlatoviću i poduzeću Hidroelektrane na Cetini Split, koji su mi omogućili uvid u potrebnu dokumentaciju. Veliku zahvalnost dugujem D. Srebrenoviću, M. Heraku i E. Nonveilleru na korisnim sugestijama pri radu.

### STRATIGRAFSKI PREGLED

Šire područje akumulacionog bazena Prančevići izgrađeno je pretežno od vapnenjačko dolomitnih stijena gornje krede, a manjim dijelom od tercijarnih naslaga. Kvartar se javlja u pojedinim poljima i uz lijevu i desnu stranu doline Cetine.

#### Kreda

Gornja kreda je zastupana vapnencima i dolomitima. Njihovo proučavanje je izvršio F. Kerner (1914), J. Poljak (1953, 1955) i I. Crnolatac (1953, 1955). Starost izdvojenih dolomita i vapnenaca odnosno njihov stratigrafski položaj u gornjoj kredi nije tačno određen. Dolomit je najstariji član od stratigrafskih elemenata, koje susrećemo na širem području akumulacije. U krovini dolomita nalazimo turonske svijetlosmeđe vapnence s hondrodontama, tako da dolomit vjerojatno pripada cenomanu, a može biti i stariji. Fosili u dolomitu nisu nađeni.

Pojava dolomita je ograničenog prostranstva a vezana je za tektoniku, i F. Kerner ju je objasnio kao prodor. Tu zonu dolomita možemo pratiti od Ugljana prema selu Čaporice, gdje prelazi na desnu stranu Cetine i nastavlja se prema Dicmu. Širina zone je do 1 km. Dolomitna zona se prema Čaporicama na nekoliko mjesta prekida, a širina znatno varira. Morfološki ju je lako uočiti, jer se teren izgrađen od dolomita odlikuje blagim morfološkim oblicima. Dolomit je svijetlosmeđe boje, šećeraste strukture. Na površini se troši u pijesak, te je zbog površinskog trošenja slojevitost slabo vidljiva. Dolomit je gromadaste teksture. Sama površina dolomita je većim dijelom pokrivena debljim ili tanjim pokrovom humusa i kultura. Bušotina B-28 kod Čovića bušena je 100 m u dolomitu. Iz dobivene jezgre je vidljivo da je dolomit i u dubljim dijelovima šećerasto zrnate strukture, ali je skoro bijele boje. Dolomit je do 50 m kompaktan, a dalje je razlomljen.

U hidrogeološkom pogledu, ova pojava šire zone dolomita igra značajnu ulogu.

Vapnenci na ovom području imaju najveću rasprostranjenost. Po starosti, kao i po strukturnim i tekturnim osobinama možemo razlikovati više vrsta vapnenaca. Na karti su izdvojeni vapnenci s rožnjačkim kvrgama, pločasti i škrljavi vapnenci i vapnenci s hondodontama i rudistima. Stariji vapnenci pripadaju turonu, a možda dijelom i cenomanu, dok mlađe možemo uvrstiti u senon. Granica između turona i senona nije postavljena.

Vapnenci s rožnjačkim kvrgama su izdvojeni u suvislom pojasu na lijevoj obali Cetine iznad Čikotine mlinice, zatim uz sjeveroistočne padine brda Vučjak (kota 423). Donje partije tih vapnenaca su debelo uslojene i bogate rožnjačkim kvrgama, a gornje su tanko uslojene. Fosili su rijetki. Osim ovih površinskih pojava, vapnenci s rožnjačkim kvrgama nabušeni su u nizu bušotina na raznim dubinama. Tako se u bušotinama B-169 i B-170 na padini iznad Fratrovih Livada, javljaju vapnenci s rožnjačkim kvrgama na dubini od 85-90 m, odnosno 18-40 m. Na desnoj obali Cetine nabušeni su vapnenci s rožnjacima u bušotini B-100 (kod Bilječkove mlinice) na dubini od 7 m, zatim u bušotini B-155 (iznad terase Široka Velika) na 40 m, u bušotini B-54, (padina brda Uma), te na pregradnom profilu u bušotini B-91.

Osnovnu masu turona čine rudistni vapnenci. To su pretežno slabo uslojeni vapnenci, više gromadastog karaktera, svjetlosmeđe do bijele boje, jedri i kristalinični. U tim vapnencima su nađene brojne hondodonte. One su osobito česte u nižim partijama prema granici sa dolomitom. (Runjik, Bane). Unutar ovih vapnenaca javljaju se i dolomitni vapnenci i vapnenjački dolomiti.

Karakteristična je pojava tanko pločastih bituminoznih i škrljavih vapnenaca. Debljina slojeva je promjenljiva i varira između 1 cm do 30 cm. Takve vapnence nalazimo kod sela Rošca i u području kote 403. Debljina zone iznosi 35-40 m.

Škrljavi vapnenci se javljaju na više mjesta uz desnu obalu Cetine počevši od Bilječkove mlinice do pregradnog mjesta. Javljaju se kao uloči u deblje uslojenom rudistnom vapnencu. Uloči su široki 2-3 m, a debljina slojeva 3-15 mm. Na površini se raspadaju u tanke pločice. Škrljavost im se smanjuje sa dubinom, te u bušotinama vidimo na njima samo tanke tamne crte. Škrljavi vapnenci imaju posebno značenje za hidrogeologiju desne strane Cetine, iako se ne javljaju u kontinuiranim zonama.

U brojnim bušotinama javljaju se uloči jako bituminoznog vapnenca. To su tamni vrlo kompaktni vapnenci, većim dijelom silificirani (ustanovljeni su u preko 40 bušotina). Bituminozni vapnenci su ustanovljeni i u dovodnom tunelu.

Glavice pojedinih vrhova izgrađene su od bijelih kristaliničnih vapnenaca, koji se ubrajaju u senon. Trupina Mosora je također izgrađena od vapnenaca senona (J. Poljak, 1953, I. Crnolatac, 1953).

Južno od V. Njiva u krednim vapnencima blizu kontakta sa paleogenom A. Ivanović, (1960) je odredio keramosferine. Uz keramosferine dolaze radioliti i miliolide. Prema Ivanoviću ovi vapnenci bi bili taloženi u razdoblju negdje od turona vjerojatno do kraja senona.

## Paleogen

Paleogenske naslage ne igraju značajniju ulogu u izgradnji užeg i šireg područja akumulacije Prančevići. Ovamo ubrajamo miliolidne vapnence, alveolinsko numulitne vapnence i fliš. Miliolidni vapnenci su smeđe boje a najbolje su vidljivi u krpi paleocena nedaleko zaselka Kačunka, i kod Nečaja. Zbog malih pojava nisu svuda posebno izdvajani. Po stratigrafskom položaju pripadaju paleocenu (I. Crnolatac, 1953).

Alveolinske-numulitne vapnence lako razlikujemo od krednih, jer su svijetlosmeđe boje, i puni su presjeka brojnih alveolina i numulita. Nalazimo ih kod zaseoka Kačunka i u uskoj zoni od V. Njiva prema zaselku Luka. Jedri su i čvrsti, te su poslužili kao agregat za pripremu kvalitetnog betona.

Na foraminiferskim vapnencima slijede diskordantno eocenske klastične naslage. Izdvojene su na malom prostranstvu kod Nečaja, južno od pregradnog mjesta. Tu su one dijelom u direktnom kontaktu sa krednim vapnencima, jer je kreda malo navučena na eocenske naslage. One mnogo lakše podliježu površinskoj eroziji od vapnenaca, pa se na terenu lako uoče. Sastoje se od lapora i pješčenjaka.

## Kvartar

Kvartar se javlja u pojedinim poljima (Bisko), te uz lijevu i desnu stranu doline Cetine. To su pretežno glinovito pjeskoviti materijali i crvenica. Za akumulaciju nemaju značenja, osim što manje površine plodne zemlje uz Cetinu dolaze pod vodu.

Uz lijevu obalu Cetine, a manjim dijelom uz desnu obalu, javljaju se sipari. Na lijevoj strani, od pregradnog mjesta do Fratrovih Livada, sipari se mjestimice penju i do 320 m nadmorske visine te potpuno pokrivaju stijene u podlozi. Na mjestima su vezani crvenicom u siparišne breče.

## TEKTONIKA

Tektonska je aktivnost na ovom dijelu terena bila vrlo intenzivna. Na prvi pogled se dobije dojam, kao da su tektonske prilike dosta jednostavne, ali kod detaljnijeg istraživanja se vidi, da su tektonski odnosi zamršeni, a koji puta i posve nejasni, dijelom zbog slabe uslojenosti i litoške monotonosti sedimentata.

Najznačajniji pokreti došli su do izražaja kod V. Njiva i D. Dolca, gdje kredne naslage naliježu na eocenske vapnence i lapore.

Pojavu dolomita Ugljane-Čaporice F. Kerner objašnjava prodorom. Jugozapadna strana dolomita je rasjedna. S jedne i druge strane dolomitne zone dolaze vapnenci s horndodontama. Uz rasjed su vapnenci jako zdrobljeni, a vide se i brojne dijaklaze s gorskim zrcalima. Veliku razlomljenost pokazuju i jezgre iz bušotina, koje su locirane blizu rasjeda (B-83, B-28). Paralelno s ovim rasjedom ide i rasjed duž korita Cetine.

Ovaj rasjed od pregradnog mjesta do Bilječkove mlinice, pruža se u pravcu SZ-JI, a kod Bilječkove mlinice se križa sa poprečnim rasjedom pravca sjeveroistok-jugozapad. Tu su slojevi s obje strane Cetine najjače borani i poremećeni. Uz korito Cetine nalazimo brojne tragove gorskih zrcala.

Osim glavnih rasjeda pružanja SZ-JI, postoje i manji poprečni lomovi, kojima su predestinirane pojedine jaruge. Na tim poprečnim lomovima uz Cetinu imamo obično povremena vrela. Pravac pružanja slojeva je pretežno sjeverozapad-jugoistok s padom prema sjeveroistoku. Drugi pravci su rjeđi, izuzev onih mjesta, gdje su vapnenci jako poremećeni. Vapnenci su lagano borani.

Karakteristična je pojava škriljavih vapnenaca. Oni se javljaju na više mjesta uz desni bok akumulacije i uvijek su skoro okomiti. Uz bokove Cetine vide se brojne pukotine, koje se na platou redovito ne mogu pratiti. Pretežu dva pravca pukotina i to pravac sjeverozapad-jugoistok i sjeveroistok-jugozapad.

Tektonski pokreti su dali glavne smjernice morfološkom oblikovanju tla, te razvoju nadzemne i podzemne hidrografije.

## GEOMORFOLOGIJA

Područje akumulacije Prančevići predstavlja jednu kršku zaravan. Lijeva i desna strana se međusobno razlikuju. Na lijevoj strani je ravna ploča znatno šira, a iznad nje se uzdižu Vučjak, Runjik i Grabovac (50-80 m). Na desnoj strani je ravni dio zaravni znatno uži i brzo prelazi u višu stepenicu Um (kota 439). Cijelo područje je izgrađeno od vapnenca, koji se međusobno razlikuje po sastavu i strukturi. Zbog tih razlika pojedine vrste vapnenaca su se različito ponašale prema tektonskim pritiscima i radu podzemnih i površinskih voda, te je i razvoj morfoloških oblika različit. U gromadastim vapnencima su morfološki oblici jače razvijeni nego u pločastim i škriljavim vapnencima. Bijeli kristalinični vapnenci najjače podliježu trošenju. Oni pokazuju i najveću vodopropusnost.

Na terenu su razvijeni svi morfološki oblici krša kako površinski tako i podzemni. Razvijene su ponikve, škrape, dolovi, jame ili bezdanke i spilje. Jame i spilje su većim dijelom istražene (Malez, 1954 i Baučić, 1957). Nalazimo ih s lijeve i desne strane Cetine. To su plitki objekti, pretežno ispod 20 m. U njima nije konstatirana voda.

Oblik doline Cetine je kanjonski. U uzvodnom dijelu akumulacije od Bilječkovog mlina do kraja akumulacije ima pravac sjeveroistok-jugozapad, a nizvodno od Bilječkovog mlina poprima pravac sjeverozapad-jugoistok. Dolina Cetine predestinirana je tektonskim lomovima. Dolinske strane su nejednake visine. Lijeva strana je viša od desne i kreće se od 60 do preko 100 m, dok je desna strana visine do 60 m. Ovo svakako ima odraza i na dubinu karstifikacije jedne i druge strane, te je na desnoj strani niža. Stijene su pretežno strme, a mjestimice okomite. Vap-

nenci su u donjim dijelovima prekriveni debelim siparima često i do 50 m iznad Cetine.

Brojni krški morfološki oblici, ponikve, jame, spilje te brojne pukotine u vapnencima omogućuju intenzivno poniranje oborinske vode u podzemlje.

## HIDROGEOLOGIJA

### Hidrogeološke karakteristike stijena

Iz geološkog pregleda je vidljivo da je uže područje akumulacije izgrađeno iz karbonatnih stijena vapnenaca i dolomita. Dolomiti se javljaju u široj zoni jedino na potezu Ugljane-Čaporice, gdje prelaze na desnu stranu Cetine. Oni su najstarije stijene na ovom području, te jezgru tih dolomita možemo smatrati slabije propusnim stijenama od vapnenaca, izuzev površinskog trošnog dijela i uz rasjedni kontakt s vapnencima. Zbog toga i s obzirom da su oni nešto dalje od akumulacije, u daljnjem izlaganju ćemo se zadržati samo na vapnencima.

Hidrogeografske prilike su podvrgnute principima krške hidrografije tj. glavna se cirkulacija vode ne vrši površinskom hidrografskom mrežom već podzemnom. Podzemnu cirkulaciju vode omogućuju brojne pukotine i razlomljene zone u vapnencima. Veliku razlomljenost stijena dokazuju nam površinska geološka istraživanja, brojne bušotine, (oko 130 bušotina dubine od 10 do 250 m) sa vađenjem jezgre i mjerenjem vodopropusnosti, opažanje vodostaja u bušotinama, određivanje dubine karstifikacije geofizičkim metodama, iskop istražnih galerija i dovodni tunel. Razlomljenost vapnenca ovisi kako o geološkim zbivanjima tako i o njihovim petrografskim osobinama. Tektonska aktivnost je bila vrlo intenzivna, a kako se vapnenci međusobno razlikuju po sastavu i strukturi, to se i veličina pukotina i razlomljenost mijenja od mjesta do mjesta.

Svijetli kristalinični vapnenci pokazuju najveću vodopropusnost, dok tanko pločasti i škrljavi vapnenci predstavljaju stijene manje propusnosti. Ovamo možemo ubrojiti i bituminozne vapnence, koji su nabušeni u cijelom nizu bušotina, a veoma su kompaktne stijene. Tanko pločasti i škrljavi vapnenci se pretežno javljaju uz desnu obalu Cetine. Oni predstavljaju izvjesnu barijeru protjecanju podzemne vode iako ne čine jednu suvislu zonu. Pukotine i šupljine, nastale tektonskim putem se pod djelovanjem vode stalno proširuju te nastaju i kaverne. Moć otapanja vode je srazmjerna brzini vode kroz pukotine.

Kaverne su nabušene u nekoliko bušotina npr. na B-151, B-153, B-160, B-10-B, B-125, B-111, B-99, B-100 i B-83. One su različitih dimenzija i javljaju se na različitim dubinama. Manje više sve ove bušotine su locirane uz tektonske lomove. Velike otvorene pukotine konstatirane su i u dovodnom tunelu.

Voda može pojedine pukotine i zamuljiti glinovitim materijalom, koji je često pod pritiskom konsolidiran i u suhom stanju predstavlja



čvrstu stijenu. Takve pukotine postaju slabo propusne ili praktično nepropusne za vodu. Karakterističan je primjer za to B-153 na desnoj obali Cetine istočno od sela Rošca. Bušotina prolazi kroz pukotine, koje su ispunjene glinovito pjeskovitim materijalom i to od 60,5 do 63 m, 83-86 m, 103-104,8 m, 108-109,4 m i 111-112,5 m. Iako je u vrlo razlomljenom materijalu, uslijed zamuljenja pukotine vodopropusnost je mala i iznosi od 1-5 l(min)m' - kod 10 atm. Pukotine ispunjene konsolidiranim glinovitim materijalom, konstatirane su na više mjesta i u dovodnom tunelu.

Kod prosuđivanja okolnosti propusnosti terena bezuvjetno moramo uzeti u obzir i morfološke karakteristike. Rezultati površinskih istraživanja, bušenja, mjerenja VDP i opažanja vodostaja nam pokazuju, da su uzvišenja s lijeve i desne zaravni Cetine: Vučjak, Grabovac, Karanj, Um, kompaktnije stijene i u hidrogeološkom pogledu pozitivnije - manje su zdrobljene, manje VDP i visokog podzemnog vodostaja. Ovo nam potvrđuje i injekciona galerija na lijevom boku pregradnog mjesta. Galerija je dužine 167 m. Prvih 90 m su stijene ispresijecane brojnim pukotinama, a što se više približujemo brdu Grabovac, materijal je sve kompaktniji sa rijetkim pukotinama.

Jače zdrobljene zone, koje se javljaju uz rasjedne linije, djeluju kao drenovi. Tu su podzemni vodostaji za malih voda niski. Pukotine omogućuju komuniciranje vode u svim smjerovima, no ipak je propusna moć pukotina najveća po pravcu pružanja lomnih linija. To je u prvom redu rasjedna linija duž dolomitnog prodora Čaporice-Ugljane, zatim poprečni lom koji izbija na Cetinu kod Fratrovih Livada, gdje se javljaju i najjača povremena vrela.

Razlomljenost krških terena daje im veliku akumulacionu sposobnost, i mogućnost retardacije podzemnih tokova, što dovodi do ujednačenja vodnog režima.

Do sada navedeni podaci su samo kvalitativne prirode, tj. daju nam podatke o jače, odnosno slabije razlomljenim područjima, pa prema tome i jače odnosno slabije propusnim terenima. Razlomljenost vapnenaca se ne može odrediti samo površinskim promatranjem. Bilo je bušotina, koje su počele u zdravim stijenama, a kasnije naišle na razlomljene, i obrnuto, bušotine locirane u razlomljenom materijalu nakon nekoliko metara su ušle u kompaktne stijene. Od ovoga su dakako izuzete bušotine locirane uz izrazito tektonske linije. Podatke o kvantitativnim vrijednostima propusnosti terena daju nam mjerene vrijednosti vodopropusnosti u bušotinama. VDP je vrlo različita od bušotine do bušotine, a isto tako i u profilu jedne te iste bušotine. To ovisi o broju, veličini, međusobnom odnosu pukotina. Jasko (1959) navodi radove mađarskih geologa koji su vršili u mađarskom Sredogorju mjerenja volumena šupljina u vapnencima. Iz ovih mjerenja proizlazi, da se volumen pora različitih vrsta vapnenaca kreće uglavnom od 0,5 do 24%.

Vodopropusnost u bušotinama mjerena je pod maksimalnim pritiskom od 10 atm. Ona u prosjeku iznosi od 1-15 l(min)m' kod 10 atm. Na mjestima gdje su vapnenci jače razlomljeni propusnost doseže 30-40 pa i više lit(min)m', a da se pritisak od 10 atm. uopće nije postigao. Na priloženim

profilima I, II, III i IV je vidljivo kako se mijenja VDP po dubini pojedinih bušotina. Općenito možemo reći da vodopropusnost opada sa dubinom.

Samo korito Cetine je kolimirano riječnim nanosom te kod normalne protoke predstavlja skoro nepropusnu sredinu.

### Hidrogeološke pojave

Za područje akumulacije Prančevići je značajno da nema stalnih jakih krških vrela, kakvih nalazimo u gornjem dijelu toka Cetine. Postoje samo kratkotrajna povremena vrela, koja se nalaze od 3–15 m iznad razine Cetine. Površinska hidrografija ovoga područja je oskudna, te osim Cetine nema stalnih površinskih tokova. Postoje bujične doline kojima povremeno protječe oborinska voda. S desne strane je to torent Ljute Drage i dolina Osredak kod Bilječkove mlinice. Dolinom Ljute Drage voda teče samo za vrlo jakih i dugotrajnih kiša. Za vrijeme inundacije Bisjačkog polja dio vode se prelijeva u Ljutu Dragu. S lijeve strane Cetine postoje dva manja krška dola, jedan kod sela Mundići, a drugi iznad Fratrovih Livada.

### Pregled glavnih vrela

1: S desne strane Cetine kod Beksetinova mlina postoji jako povremeno vrelo. Voda izbija iz spilje širine 4 m, visine 1 m i kanalom dužine 5 m otiče u Cetinu. Voda izbija samo za jakih oborina i traje kratko vrijeme.

1 a. Iznad samog mlina je drugo pukotinsko vrelo koje je na većoj apsolutnoj visini od vrela 1. Izgleda da ovo vrelo komunicira s prijašnjim. Kada vrelo 1. ne može propustiti svu vodu dolazi do prelijevanja na višoj koti.

Ova vrela su kratkotrajna, ali znatne izdašnosti, što ukazuje na jaku karstifikaciju i na neposredno slivno područje.

2. Povremena vrela kod Bilječkove mlinice. Iza samog mlina je pukotinsko vrelo cca 3,5 m iznad Cetine (oko 270 m aps. visine). Voda teče nekoliko puta godišnje 5–6 dana. Za vrijeme vrlo jakih oborina javlja se voda i iznad mlina u obliku slapova.

3. Uz put koji vodi od Bilječkove mlinice prema Bisku nalazimo vrelo koje izbija iz kvartarnog nanosa. Ono je kao i br. 2 na cca 270 m nadmorske visine.

Nedaleko vrela 3. u kvartaru na više mjesta povremeno izbija voda, a isto tako i uz rub padine (br. 4). Ova vrela imaju znatno manje vode od prije spomenutih. Od Bilječkove mlinice pa sve do pregradnog mjesta Prančevići na desnoj strani Cetine nije konstatirano ni jedno povremeno vrelo. Jedino se na pregradnom mjestu za vrijeme iskopa građevne jame, za viših vodostaja u zaleđu, pojavio izvor. Najznačajnija povremena vrela uz lijevu obalu Cetine su skupina vrela kod Fratrovih Livada.

5. Povremeno vrelo na rubu polja Fratrovih Livada. Voda izlazi iz sipara i odvodnim kanalom odlazi u Cetinu. Uzvodno od tog vrela na kraju Fratrovih livada javlja se niz malih povremenih izvora iz siparišnog materijala. Sve su to sekundarni izvori. Primarne pukotine se ne vide. Sipari su pomiješani sa crvenicom i slijepljeni u breču, tako da su mjestimice slabo propusni za vodu, što je u vjetovalo stvaranje niza razbijenih izvora.

6. Skupina vrela ispod puta koji vodi za Prančeviče. To su najveća vrela na lijevoj obali Cetine, a javljaju se na dužini od oko 40 m. Cijelo to područje je prekriveno siparišnim materijalom, tako da su primarne pukotine rijetko vidljive. Za vrijeme izvođenja injekcione zavjese na pojedinim pukotinama je izbijala injekciona smjesa na površinu.

7. Izvor Šakomet. Nalazi se nizvodno od pregradnog mjesta cca 17 m iznad Cetine. Vodu daje povremeno i vrlo kratko vrijeme.

Približni maksimalni kapacitet svih povremenih vrela u bazenu iznosi oko 3-4 m<sup>3</sup>/sek (S. Reštarović 1958).

### Režim podzemne vode

Zahvaljujući brojnim bušotinama koje su raspoređene na užem i širem području akumulacije, režim podzemne vode je poznat. Na nekim bušotinama vršena su sistematska mjerenja podzemnih vodostaja 4-5 godina (1954-1961). Na manjem broju piezometara vrše se osmatranja i nakon punjenja akumulacije. U nizu problema krške vode, ustanovljavanje nivoa i sistematsko mjerenje kolebanja nivoa krške vode doprinose utvrđivanju prirodnih pojava u kršu. Oscilacije podzemne vode ovise o dotoku, koji opet ovisi o razgranatosti, dimenzijama i međusobnoj povezanosti pukotina. Podzemni vodostaji nam indiciraju jače propusne zone od slabije propusnih što je od velike važnosti za sanaciju terena.

Nivo krške vode će biti tim više izjednačen čim je potpunija komunikacija među pukotinama tj. čim su pukotine šire, jednakomjernije i gušće. Takav je npr. plato između brda Grabovac i Vučjak, gdje nema većih razlika u vodostajima pojedinih bušotina (izuzev niskih vodostaja). Razmatranje krivulja podzemnih vodostaja izvršit ćemo na nekoliko karakterističnih profila. Za niski vodostaj uzeta su simultana mjerenja vodostaja od 15. 9. 1958. god. a za visoki vodostaj 15. 4. 1958. god. To nisu ni minimalni ni maksimalni vodostaji u toj godini.

Profil I (B-142, B-125, B-1, B-147, B-66, B-55, B-56, B-57 i B-58).

Ovaj profil je položen od B-142 na desnoj strani Cetine preko pregradnog mjesta i ide padinama brda Grabovac. Izmjerene vrijednosti VDP-a u bušotinama kroz koje prolazi profil su različite. Bušotine na desnoj strani Cetine imaju znatno veću vodopropusnost od onih na lijevoj strani. Za velikih voda s jedne i druge strane Cetine je pad piezometarske linije prema Cetini, s tom razlikom da je s lijeve strane nivo podzemne vode iznad usporne kote, u akumulaciji, a s desne ispod. Za malih voda krivulja pada od Cetine prema zaleđu. Karakteristična je bušotina B-142. U srednjem dijelu bušotine je mala vodopropusnost, a na dubini

od 135–145 m (apsolutna visina 160–170 m) se naglo povećava i male vode se zadržavaju na tom nivou, što je znatno niže od susjedne bušotine B–125. Tu postoji jedan jači dren, koji snizuje vodostaj za malih voda. Oscilacije vodostaja u pojedinim bušotinama su različite. Npr. u B–56 iznosi preko 50 m, dok u B–1 i B–125 od 10–15 m. Brdo Grabovac predstavlja razvodnicu. S jedne strane vode se dreniraju prema poprečnom lomu Ugljane–Fratrove Livade, a s druge strane prema vrelu Šakomet i vrelima oko Čikota mlina. Vodopropusnost na desnoj strani je najveća između 230–270 m u zoni najčešćih varijacija podzemnih vodostaja.

Profil II (B–83, B–3, B–2, B–54, B–53). Ovaj profil se nalazi uzvodno od profila I. Kao i kod prijašnjeg profila vodostaji su za visokih vodnih stanja na lijevoj strani Cetine iznad usporne kote u akumulaciji, a na desnoj strani iznad normalnog vodostaja Cetine, ali ispod usporne kote. Kod malih voda vodostaji u zaleđu su znatno niži od razine Cetine. Oscilacije nivoa podzemne vode u bušotinama iznose i preko 80 m. (B–83). U bušotinama bliže Cetini su te oscilacije manje. Bušotine B–3 i B–2 pokazuju veliku vodopropusnost, ali iznad usporne kote, dok se ispod usporne kote VDP smanjuje. B–52 pokazuje niske vodostaje kod minimalnog vodnog stanja što je vjerojatno posljedica drene paralelnog sa Cetinom prema V. Njivama.

Profil III (B–14, B–52, B–105, (B–51), B–50, B–49, B–17, B–73). Ovaj profil je položen preko brda Vučjak (lijeva strana Cetine) do zaselka Rošca na desnoj strani. Izmjerena vodopropusnost je velika, a osobito u bušotinama B–50 i B–49, u kojima na većem dijelu intervala nije postignut pritisak od 10 atm. Velika vodopropusnost se javlja iznad usporne kote i ide sve do kote 220. U tom intervalu su i oscilacije vodostaja. Za visokih vodnih stanja pijezometarska linija gravitira prema Cetini. Minimalni vodostaji su i do 50 m ispod razine Cetine (B–50). S lijeve strane je pijezometarska linija i za malih voda nagnuta prema Cetini, iako ispod razine Cetine. Na ovom profilu su unešeni i vodostaji nakon punjenja akumulacije. Slika piezometarskih linija po smjeru nagiba se nije mnogo izmijenila, osim što su vodostaji u bušotinama viši, kako kod velikih tako i kod malih voda. Primjećuju se i manje amplitude malih i velikih voda.

Profil IV (B–16, B–10, B–15, B–18, B–49, B–75, B–53). Ovaj profil ide paralelno sa tokom Cetine i pokazuje prilike na desnom boku. Bušotine su udaljene od rijeke 300–450 m. Za velikih voda vodostaji se nalaze iznad kote 260. Kod toga se vidi izvjesna pravilnost vodostaja u bušotinama. Primjećuje se lagani pad pijezometarske linije paralelno sa smjerom toka Cetine. Kod malih voda vodostaji se spuštaju i do 100 m (B–75) ispod usporne kote u akumulaciji. Ovdje vidimo nepravilne promjene vodostaja u pojedinim bušotinama, koje se međusobno znatno razlikuju.

Za 21 bušotinu, za koje su postojali potpuniji podaci o mjerenju vodostaja, prikazane su linije učestalosti i trajanje vodostaja. Kod nekih bušotina su bila kontinuirana mjerenja u trajanju od 4–5 godina, dok kod drugih postoje prekidi i nepotpuna mjerenja. Iz linije učestalosti možemo vidjeti koji vodostaji su bili najučestaliji u pojedinim bušotinama za promatrani period, a linije trajanja nam kažu, kojim postotkom je izvjesna

SL.2. Bazen Prančevići  
B-54

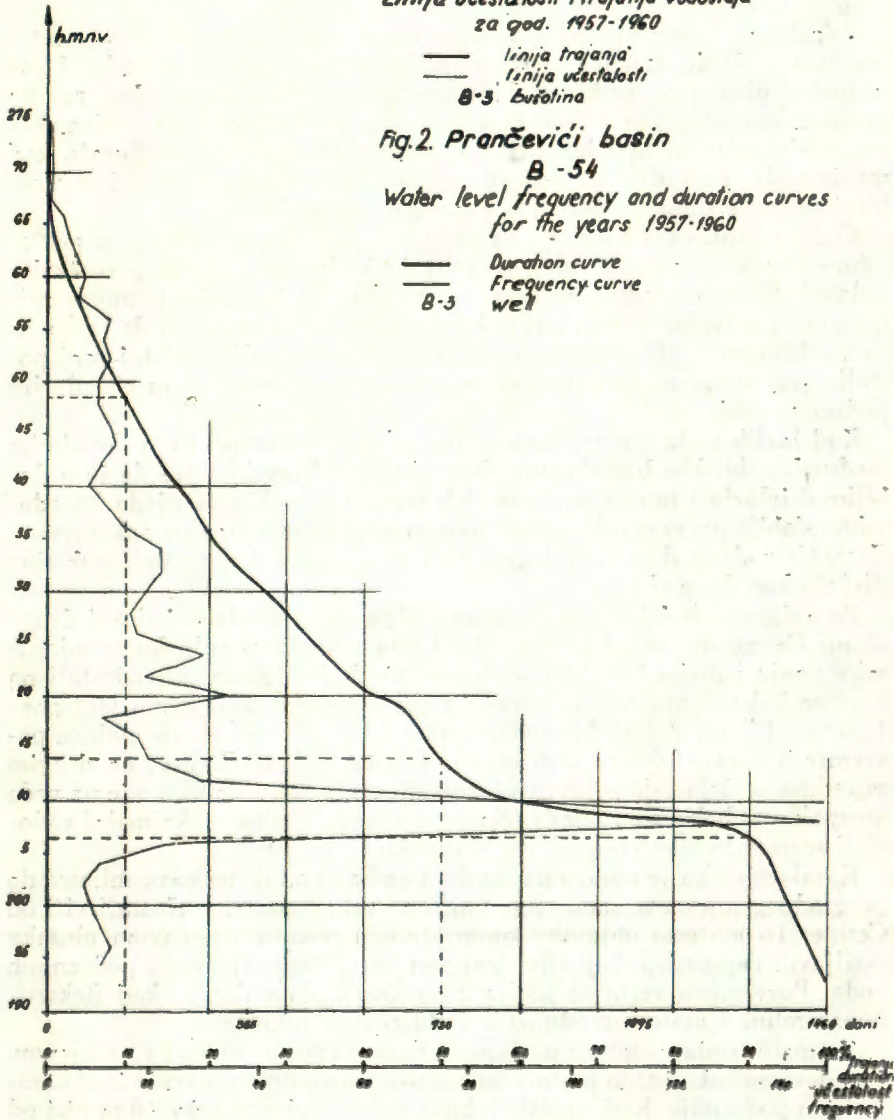
Linija učestalosti i trajanja vodostaja  
za god. 1957-1960

— linija trajanja  
— linija učestalosti  
B-3 bušotina

Fig.2. Prančevići basin  
B-54

Water level frequency and duration curves  
for the years 1957-1960

— Duration curve  
— Frequency curve  
B-3 well



Crtao: Jovanović Lj.

hidrološka veličina bila zastupana u jedinici periode (priložene su 3 karakteristične krivulje). Na karti su prikazane hidroizohipse za 50% trajanja. Iz položaja hidroizohipsi je vidljivo da je nivo podzemne vode na lijevoj strani, kod 50% trajanja vodostaja, više izjednačen nego na desnoj strani.

Pokušaj da se ucrtaju hidroizohipse za 90% trajanja pokazao je interesantne podatke. Razlike među pojedinim bušotinama su toliko da se vodostaji nisu mogli prikazati hidroizohipsama. Bila bi potrebna znatno gušća mreža podataka. Slične rezultate daje nam i profil IV podzemnih vodostaja, gdje su također vidljive velike nepravilnosti vodostaja kod malih voda. Iz profila podzemnih vodostaja, linije trajanja i hidroizohipsi za 50% trajanja možemo zaključiti slijedeće.

Kod srednjih i velikih voda su varijacije podzemnih vodostaja međusobno suvisle tj. možemo pretpostaviti da krška voda ovdje predstavlja jedan jedinstven međusobno povezan sistem. Tu bi se dakle mogle primijeniti u glavnim crtama postavke A. Grund a. Svakako da ima manjih odstupanja gdje su došli do izražaja lokalni uplivi. U toj zoni postoji razgranata mreža pukotina koja omogućuje intenzivnu cirkulaciju podzemne vode.

Kod malih voda postoje nepravilne promjene vodostaja u pojedinim međusobno bliskim bušotinama. Ovo se može objasniti time da je u dubljim dijelovima terena mreža krških šupljina i pukotina rjeđa i međusobno slabije povezana. Voda se dakle kreće više izdvojenim pukotinama. Kretanje vode je zbog manjih pukotina sporije, a pojedine veće pukotine djeluju kao drenovi.

Za vrijeme visokih vodnih stanja vodostaji u zaleđu s jedne i druge strane Cetine su viši od vodostaja u Cetini. Na lijevom boku se mjestimice penju i preko kote 300 (B-83, B-56, B-58). Kada se vodostaji na lijevom boku dignu znatno iznad Cetine na poprečnom lomu Ugljane-Fratrove Livade dolazi do prelijevanja vode u Cetinu, tj. do pojave povremenih vrela. Iako su vodostaji u zaleđu viši od Cetine, na drugim mjestima ne dolazi do pojave povremenih vrela, što nam ukazuje na veću kompaktnost bokova od zaleđa. Na desnoj strani Cetine maksimalni vodostaji se ne dižu tako visoko i osciliraju oko kote 270.

Karakteristična je pojava da na desnom boku od Bilječkove mlinice do pregradnog mjesta nemamo povremenih vrela, iako su vodostaji viši od Cetine. To možemo objasniti kompaktnošću bokova i pojavom uložaka škriljavih vapnenaca, koji čine izvjesnu barijeru protjecanju podzemnih voda. Povremena vrela se javljaju na kraju akumulacije kod Beksetinog mlina i nešto nizvodnije kod Bilječkove mlinice.

Za malih voda vodostaji padaju od Cetine prema zaleđu, i na lijevoj i na desnom boku i tada postoji mogućnost procjeđivanja vode iz akumulacije u podzemlje. Kod najdaljih bušotina je vodostaj i do 50 m niži od razine Cetine. Smjer kretanja podzemne vode za visokih vodnih stanja je generalno prema Cetini, a za malih voda od Cetine. Amplitude minimalnih i maksimalnih voda su različite na pojedinim bušotinama. Neke bušotine ne pokazuju velike oscilacije kao npr. B-14 i B-16, dok kod nekih bušotina oscilacije iznose 50-100 m (B-83). Iz profila I i II podze-

mnih vodostaja dobije se dojam kao da postoji diskontinuitet u vodnom licu lijeve i desne strane Cetine. Dok su vodostaji na lijevom boku vrlo visoki, na desnoj strani su istovremeno znatno niži. Ugljanski dolomitni prodor predstavlja stanovitu barijeru, međutim mjestimična jaka karstifikacija dozvoljava mogućnost dotoka iz daljnjeg sliva.

### Gubici iz akumulacije i konsolidacija bazena

Korito Cetine je tokom vremena kolmirano riječnim nanosom i prije stvaranja akumulacije je predstavljalo gotovo nepropusnu sredinu, tako da nisu primijećeni veći gubici na području akumulacije. Ostvarenjem uspora do kote 273 m. n. m. situacija se u području bazena mijenja. Iz prijašnjih izlaganja je vidljivo da za visokih vodostaja imamo pojavu periodičkih vrela i da su vodostaji u zaleđu u to vrijeme znatno viši od nivoa vode u Cetini. Kod visokih vodnih stanja prema tome ne treba očekivati ni gubitke iz akumulacije. Kod niskih vodnih stanja pijezometarska linija pada od Cetine u smjeru zaleđa, i postoji mogućnost gubljenja vode. Najopasnija mjesta za gubljenje vode iz akumulacije su otvoreni krški kanali, kojima se hrane povremena vrela s lijeve i desne strane Cetine. Ova povremena vrela dolaze pod uspor (neka i do 15 m), te se kod malih podzemnih voda mogu pretvoriti u estavele. Gubici mogu nastati i kroz brojne pukotine, koje nalazimo na oba boka akumulacije. Međutim ti gubici ne mogu biti veliki, jer su pukotine prostorno ograničene, a osim toga su ispunjene glinovitim materijalom. Pretpostavlja se da će kod mirnije vode u akumulaciji doći do daljnjeg ispunjavanja pukotina, iako na pojedinim mjestima može doći i do ispiranja, i do otvaranja pukotina. Ovakva iznenađenja u kršu su uvijek moguća, iako su ovdje malo vjerojatna zbog malog uspora. Karakteristično je, a ujedno i povoljno za akumulaciju, da su rubovi kanjona manje okršeni od zaleđa. Svakako su najopasnija mjesta područje povremenih vrela kod Fratrovih Livada i kod Biska.

Osim gubitaka iz akumulacije, postoje gubici i u dovodnom tunelu.

Veći gubici iz akumulacije bili bi vrlo nepovoljni, jer gubitak protoke od 1,0 m<sup>3</sup>/s predstavlja godišnji manjak energije od oko 20 GWh (S. Reštarović, 1957).

Veličinu gubitaka pokušao sam izračunati iz podataka o dotoku vode u akumulaciju, radnoj vodi HE Split, ispustu prema Kraljevcu i oscilacijama vode u jezeru.

Dotok u akumulaciju Prančevići praktički je definiran protokom Cetine kod Gardunske mlinice. Kod najviših vodnih stanja u akumulaciju utiče i voda na periodičkim vrelima. Maksimalni kapacitet tih vrela procijenjen je na 3-4 m<sup>3</sup>/sek.

Količina vode utrošene u hidroelektrani dobivena je preračunavanjem snage hidroelektrane u MW u m<sup>3</sup>/sek.

Ispust prema Kraljevcu registriran je na preljevu brane, i na cijevi za ispuštanje vode. Rezultati registrirani na preljevu su tačniji.

Sadržina vode kod određenih vodostaja u akumulaciji dobivena je iz linije volumena.

Radna voda hidroelektrane, sa vodom koja je ispuštena prema Kraljevcu, jednaka je dotoku vode u Cetinu (Gardunska mlinica) i oscilacijama u jezeru. Ako je dotok veći od utrošene vode u hidroelektrani i ispustu prema Kraljevcu nivo vode u akumulaciji raste i obrnuto. Razlike nam predstavljaju približne gubitke. Račun gubitaka proveden je za pojedine dane u 1962. i 1963. god. Podaci su registrirani tokom 24 sata, gdje je za svaki sat registrirana snaga u MW, protoka u Gardunskoj mlinici, ispušt prema Kraljevcu i kota jezera Prančevići. Rezultati su slijedeći:

18. IV	1962.	gubitak iz akumulacije	0,324	m <sup>3</sup> /s
5. V	1962.	" " "	0,26	"
26. V	1962.	" " "	2,02	"
8. IX	1962.	" " "	0,475	"
13. IX	1962.	" " "	1,66	"
22. IX	1962.	" " "	0,463	"
30. IX	1962.	dotok u akumulaciju	0,244	"
2. VI	1963.	gubitak iz akumulacije	1,09	"
15. VII	1963.	" " "	0,595	"
30. VII	1963.	" " "	0,74	"

Iz ovih podataka je vidljivo da se rezultati međusobno razlikuju što je i razumljivo, jer su mjerenja opterećena raznim subjektivnim i objektivnim greškama, a izvršena su u različito vrijeme. Međutim ipak se dobio red veličine tih gubitaka, koji se kreće od 0,3–1,5 m<sup>3</sup>/s.

Osim veličine gubitaka vrlo je važan i smjer gubitaka. Da se ustanovi u uzvodnom dijelu akumulacije kod Biska izvršeno je bojenje vode. (Bojenje je izveo Hidrometeorološki zavod – Zagreb). Voda je puštena iz akumulacije u otvor povremenog vrela kod Beksetinogovog mlina (Grabov mlin). U vodu je ubačeno 50 kg fluorescina. Bojenje je izvršeno 11. 9. 1962. god. u 11 sati, a rezultati su slijedeći. Boja se pojavila na izvoru Jadro, Žrnovici i na Studencima. Na izvoru Jadro boja se pojavila 22. 9. 1962. god. tj. nakon 11 dana i istjecala je do kraja motrenja. (8. 11. 1962). Kraj istjecanja boje nije ni uhvaćen. Upotrebljena boja je bila slabe kvalitete, te se nije otopila sva u vodi, zbog čega je istjecanje bilo dugotrajno, nejednolično i u manjim koncentracijama.

Na Žrnovici se boja pojavila 27. 9. 1962. god. Prema dobivenim rezultatima moglo bi se zaključiti da ona nema direktnu vezu sa Cetinom, već posrednu preko Jadra, i to samo za vrijeme viših vodostaja u periodu kiša. Na vrelima Studenci boja se pojavila 16 dana nakon ubacivanja.

Kvantitativne analize o istekloj boji daju slijedeće vrijednosti: Na izvoru Jadro isteklo je 95,8% ubačene boje, na Žrnovici 3,1% i na vrelima Studenci 0,7%. Iz ovoga je vidljivo da je glavna veza sa izvorom Jadro, dok je sa vrelima Studenci ta veza vrlo slaba, možda čak nikakva. Naime svi spomenuti izvori i rijeka Cetina pokazuju izvjesno osnovno obojenje u koncentracijama do  $3 \times 10^{-12}$ , koje potječe od ranijih bojenja



vode krških polja šireg sliva Cetine. Boja je uslijed slabe topivosti podvignuta dugotrajnom ispiranju.

Metoda bojenja nam ukazuje i na razgranatost sistema podzemne mreže. Ovdje je podzemni sistem vrlo razvijen, jer se boja dugo zadržava u njemu i boja dugo putuje od ponora do izvora. Kemijske analize tih izvora i Cetine dopunjuju rezultate bojenja i pokazuju veliku sličnost. Voda Jadra i Žrnovice predstavlja smjesu Cetine i grupe Studenci. Jadro je više sličan izvorskoj grupi Studenci, a Žrnovica više Cetini (analize izvršene u Centralnom higijenskom zavodu, Zagreb).

Prema tome u gornjem dijelu akumulacije voda se uglavnom gubi prema izvoru Jadra, dok će gubici u nizvodnom dijelu najvjerojatnije ići prema vrelima Studenci. Voda je u jednom i drugom slučaju izgubljena za hidroenergetsko iskorištenje, ali su ipak korisniji oni gubici, koji idu prema izvoru Jadra. Naime Jadro služi za opskrbu vodom čitavog splitskog područja, pa svako povećanje kapaciteta povoljno djeluje na izvor.

Da se smanje gubici vode iz akumulacionog bazena izvedeni su konsolidacioni radovi na bokovima bazena i na pregradnom mjestu. Ti radovi su ekonomski opravdani, jer kako je već prije spomenuto svaki  $m^3/s$ , koji se izgubi daje znatne gubitke u godišnjoj proizvodnji električne energije. Radovi se sastoje iz injekcionih zavjesa i ograđivanja vrela betonskim zidovima.

Na najuzvodnijem dijelu akumulacije, kod Beksetinova i Bilječkova mlina nalazimo povremena vrela, koja dolaze ispod usporne kote. Tri od ovih vrela su spiljskog karaktera, koncentriranih tokova. Ona su odijeljena od akumulacije betonskim zidovima. Zidovi su tako izvedeni da omogućuju prelijevanje velikih voda iz akumulacije u podzemlje i obrnuto iz podzemlja u akumulaciju (za visokih vodostaja).

Povremena vrela 3 i 4 kod Bilječkovog mlina nisu izolirana, te se kroz njih voda gubi iz akumulacije. Ova vrela su malog kapaciteta osobito br. 4, te i gubici koji mogu nastati nisu veliki. Ukoliko se pokaže da su podzemni kanali s vremenom prošireni, i gubici znatniji, trebati će presjeći podzemne kanale injekcionom zavjesom u dolini Osredak.

Povremena vrela kod Fratrovih Livada (br. 5 i 6) saniraju se bočnom injekcionom zavjesom. Ova vrela su sekundarna, izlaze iz siparišnog materijala, zbog čega te pukotine nisu vidljive. Sanacija nije bila moguća površinskim radovima blombiranjem i ograđivanjem. Vrela br. 6 su po kapacitetu veća i više koncentrirana, dok su vrela br. 5 manjeg kapaciteta i dosta raštrkana. Injekciona zavjesa je postavljena iza vrela čime su presječene podzemne komunikacije. Injekciona zavjesa na pregradnom mjestu proteže se generalno okomito na tok Cetine. Na lijevom boku zavjesa se veže na manje propusno brdo Grabovac, na desnoj strani je nešto produžena zbog lokalnih lomova.

#### ZAKLJUČAK

Pregrađivanjem Cetine na km 40 ostvaruje se akumulacija Prančevići. Usvajanjem visine uspora na koti 273 dobiva se u jezeru korisna zapremina oko  $3,0 \text{ h m}^3$  vode.

Cijela akumulacija se nalazi u krškom terenu. Šire područje akumulacionog bazena izgrađeno je od vapnenačko-dolomitnih stijena gornje krede i manjim dijelom od tercijskih naslaga.

Uže područje akumulacije je izgrađeno od vapnenaca gornje krede, koji se međusobno razlikuju po sastavu i strukturi. Dubina i intenzitet karstifikacije su različiti na pojedinim mjestima.

Na području bazena nema stalnih krških vrela, već samo kratkotrajna povremena vrela.

Vodostaji su u zaleđu za visokih vodnih stanja, viši od vodostaja u Cetini. Za niskih vodostaja pijezometarska linija pada od Cetine prema zaleđu.

Amplitude minimalnih i maksimalnih voda su različite na pojedinim bušotinama. Na nekim oscilacije iznose od 50–100 m, a na drugima su te oscilacije manje.

Na osnovu do sada izvršenih promatranja možemo pretpostaviti da se ovdje radi o suvislom nivou podzemnih voda kod srednjih i visokih voda.

Kod malih voda postoje nepravilne promjene vodostaja u bušotinama koje nas upućuju na to, da se voda kod niskih vodostaja kreće više manje izdvojenim pukotinama.

Kod visokih vodnih stanja u zaleđu ne očekuju se gubici iz akumulacije. Kod niskih vodostaja postoji mogućnost gubljenja vode. Najopasnija mjesta za gubljenje vode su otvoreni krški kanali, kojima se hrane povremena vrela. Da bi se gubici smanjili izvedeni su konsolidacioni radovi na bokovima bazena i na pregradnom mjestu. Radovi se sastoje iz injekcionih zavjesa i ograđivanja vrela betonskim zidovima.

Izračunati približni gubici dobiveni na osnovu podataka o protoci Cetine, radnoj vodi HE Split i oscilacijama vode u jezeru kreću se od 0,3 do 1,5 m<sup>3</sup>/s.

Izvršena bojenja na najuzvodnijem dijelu akumulacije pokazuju da se najveći dio vode gubi u smjeru izvora Jadra.

Primljeno 13. 10. 1964.

Zavod za opću i primijenjenu geologiju  
Tehnološki fakultet u Zagrebu  
Pierottijeva 6

#### LITERATURA

- Baučić, I. (1957): Speleološka istraživanja na Cetini na području Lika i Putišića. Arhiv Inst. za geol. istraž. – Zagreb.
- Crnolatac, I. (1953): Geologija šireg područja Cetine, na potezu Trilj–Čikota, istočnog Mosora, D. Doca, Gate, Zakučca i Mosorskog obalnog prigorja. Arhiv Inst. za geol. istraž. – Zagreb.
- Crnolatac, I. (1955): Tumač geološkoj karti šireg područja rijeke Cetine od Biska do Čikota mlince. Arhiv Inst. za geol. istraž. – Zagreb.
- Gjurašin, K. (1942): Prilog hidrografiji primorskog krša. Tehn. vjesnik 4–6, Zagreb.
- Gjurašin, K. (1943): Prilog hidrografiji krša. Tehn. vjesnik 1–2, Zagreb.
- Hećak, M. (1957): Geološka osnova nekih hidroloških pojava u dinarskom kršu. – II kongres geologa FNRJ, Sarajevo.
- Hoppe, W. (1962): Methods and Experiences for Determining the Transmissibility of Coherent Rocks. – Hidrológiai Közlöny, 42 évfolyam, 1 szám, Budapest.

- Ivanović, A. (1960): Nova nalazišta keramosferina u Dalmaciji i njihovo stratigrafsko značenje. – Geol. vjesnik, 12, Zagreb.
- Jaskó, S. (1959): Relationship between the Geological Structure and the Extension of Karstic Waters in the Trans-Danubian Central Range. – Hidrológiai Közlöny. 39 évfolyam, 4 szám, Budapest.
- Kerner, F. (1914): Geol. Spezialkarte. Blatt Sinj–Spalato (1 : 75.000). – Geol. R. A., Lief. 13, Wien.
- Knežević, B. (1962): Hidraulički problemi Karsta. – Saopštenja Inst. za vodoprivredu »Jaroslav Černi«, Beograd.
- Magdalenić, A. (1958): Bazen Prančevići. Geološke i hidrogeološke prilike. – Arhiv Inst. za geol. istraž., Zagreb.
- Malez, M. (1954): Speleološka istraživanja u dolini Cetine. – Arhiv Inst. za geol. istraž., Zagreb.
- Milanović, B. (1959): Izvještaj o geoelektričnim ispitivanjima na terenu Prančevići (HE Split). – Arhiv »Elektroprojekt«, Zagreb.
- Milojević, N. (1959): Geologija i hidrogeologija terena južno od Valjeva. – Beograd.
- Pavlin, B. & Mladineo, L. (1957): Istražni radovi za akumulacije u kršu. – Građevinar 2, 3, Zagreb.
- Petrik, M. & Dešković, I. (1963): Ekspertiza o bojenju ponora Grabovog mlina u akumulaciji Prančevići (kemijski dio). – Arh. fond. HE Split.
- Poljak, J. (1953): Geološko mišljenje o mogućnosti akumulacije u dolini Cetine, na potezu Trilj–Čikotina Lada, doline Gata, o tunelskim trasama i o smještaju strojarnice. – Arhiv Inst. za geol. istraž., Zagreb.
- Poljak, J. (1955): Geološki i hidrogeološki radovi na području HE Split. – Arhiv Inst. za geol. istraž., Zagreb.
- Reštarović, S. (1956): Hidroenergetsko rješenje Cetine. – Građevinar 1, Zagreb.
- Reštarović, S. (1957): Hidroelektrana Split na Cetini. – Građevinar 6, Zagreb.
- Reštarović, S. (1958): Hidroelektrana Split na Cetini. – Elektroprivreda 12, Beograd.
- Reštarović, S. & Zlatović, B. (1961): HE Split. Konsolidacija bazena Prančevići. Glavni projekt. Arh. Elektroprojekt, Zagreb.
- Zlatović, B. (1961): HE Split. Akumulacija Prančevići. Opažanje pijezometara i kontrola profila. – Arh. Elektroprojekt, Zagreb.

## A. MAGDALENIĆ

### HYDROGEOLOGICAL INTERPRETATION OF THE PRANČEVIĆI BASIN ON THE CETINA RIVER

The Prančevići accumulation basin has been realized by damming the Cetina river at the 40th km. of its course. The highest top level amounts to 23 m. The length of the reservoir is about 4.5 km., its useful volume being 3.0 h m<sup>3</sup>. The entire basin is situated in the karst terrain consisting of Upper Cretaceous limestones. Because of complex hydrogeological conditions extensive geological investigations have been carried out. About 130 exploratory wells, ranging in depth from 10–250 m., have been drilled. Water permeability has been measured in the wells and observations of water level have been made over a period of 4–5 years.

Average water permeability amounts to 1–15 l/ min/ m' at a 10 atm. pressure. It generally decreases with the depth.

Observations of underground water levels have given evidence of a connectedness regarding variations of underground water levels at medium and high waters, i. e., it can be assumed that here the karst water represents a single interconnected system. At low waters irregular changes of water levels have been found to exist in individual closely spaced wells.

During the periods of high waters water levels in the flanks of the accumulation basin exceed that of the Cetina river, so the piezometric line is oriented toward the Cetina. At low waters the piezometric line slopes from the Cetina toward the flanks, which makes the seepage of water possible.

Amplitudes of minimum and maximum amounts of water in individual wells are different. In some of them oscillations are within the range of 50-100 m., the fluctuations in others being considerably lower.

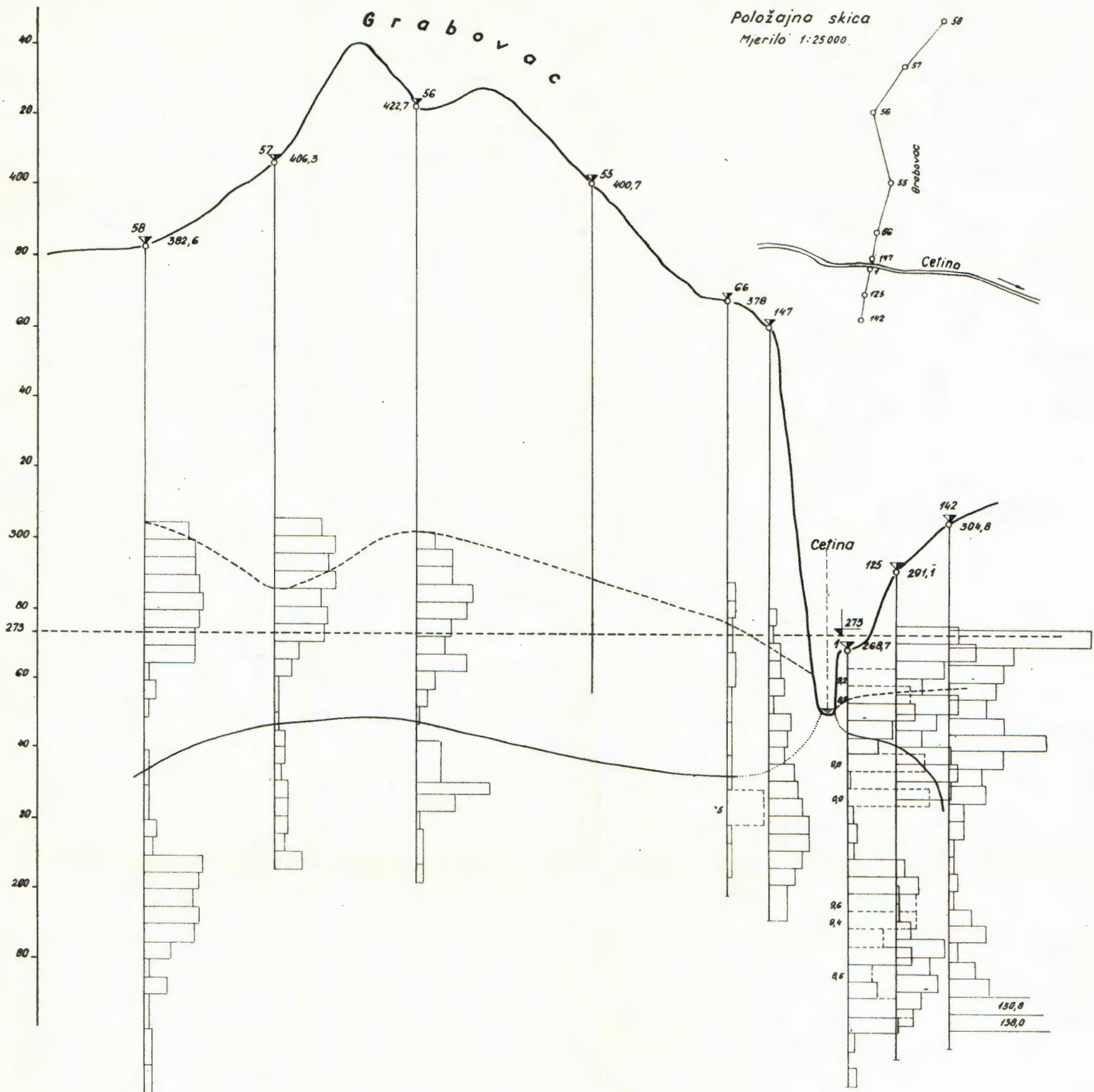
The most dangerous zones of the seepage of water from the reservoir are represented by the open karst channels feeding water to intermittent springs. In order to lessen the escaping of water, consolidation works have been carried out in the flanks of the basin, as well as at the dam site itself. The works have consisted of grout curtains and the surrounding of wells by concrete walls.

The amount of water loss has been obtained by means of the simple water balance equation based on the assumption that the amount of lost water equals the difference between the inlet discharge and the quantity of working water, taking into account the volume of retarded water in the basin itself. These computations have given orientation values ranging from 0.3-1.5 m<sup>3</sup>/sec. The direction of the seepage has been determined on the basis of water colouring.

*Received 13th October 1964*

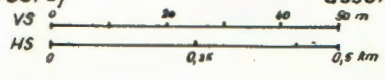
*Institute for General and Applied Geology  
Technological Faculty - Zagreb  
Pierottijeva 6*

PROFIL I.

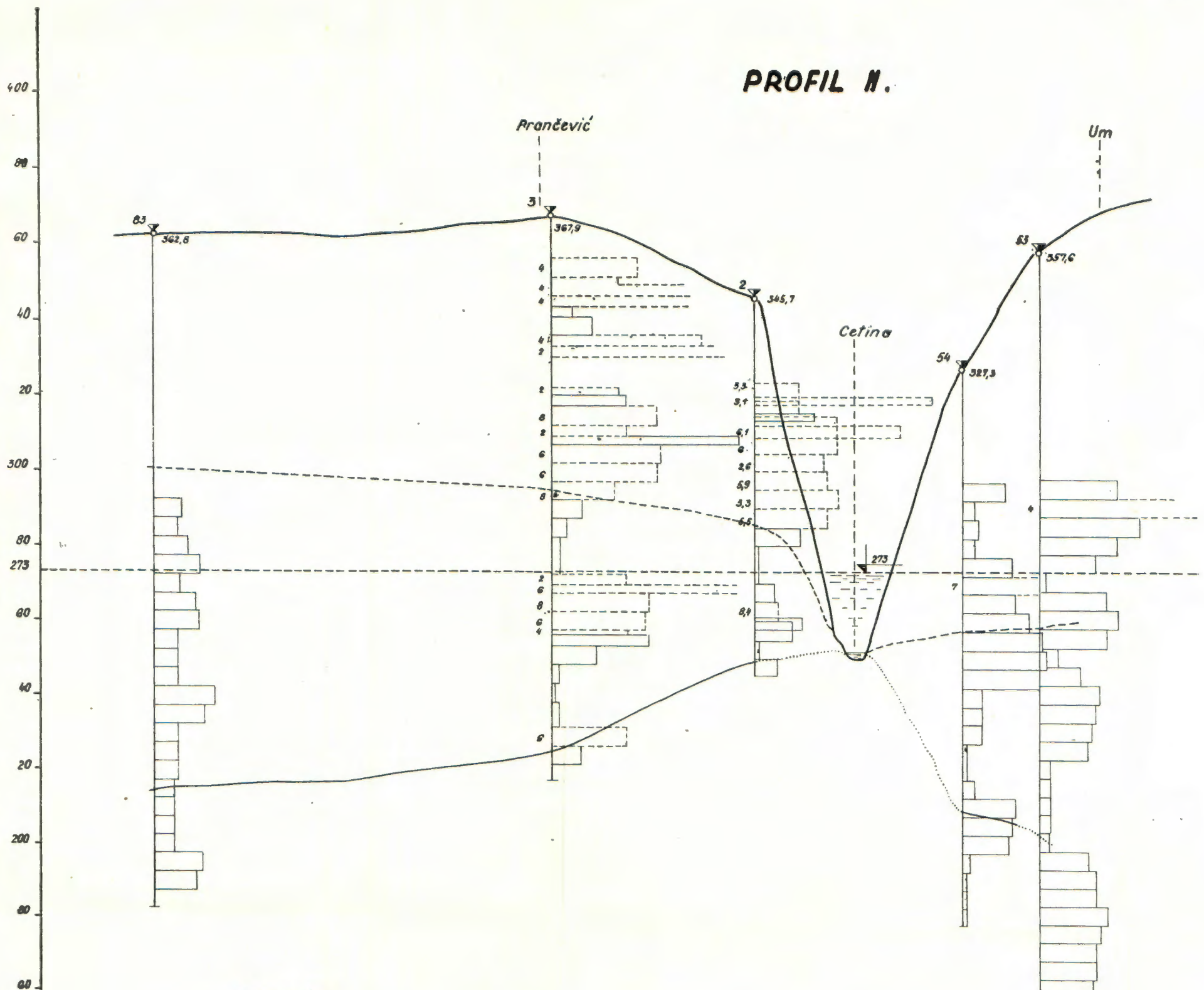


Legenda:  
Legend

- geološka bušotina s brojem i kotom — geological well designated by number and elevation
- nivo podzemnog vodostaja 15. IX 1958 — elevation of underground water level Sept. 15, 1958
- nivo podzemnog vodostaja 15. IV 1958 — elevation of underground water level Apr. 15, 1958
- usporna kota — elevation of the water level
- VDP 1mm = 1 l/min/m' - 10 atm — water permeability 1mm = 1 l/min/m' - 10 atm
- VDP l/min/m' - postignuti pritisak < 10 atm — water permeability l/min/m' - water pressure reached at < 10 atm
- ..... pretpostavljeni vodostaj — assumed water level



# PROFIL N.



**Legenda:**  
**Legend**

- geološka bušotina s brojem i kotom — geological well designated by number and elevation
- nivo podzemnog vodostaja 15. IX 1958. — elevation of underground water level Sept. 15, 1958.
- nivo podzemnog vodostaja 15. IV 1958. — elevation of underground water level Apr. 15, 1958.
- 273 — usporna kota — elevation of the water level
- VDP 1mm - 1l / min / m' - 10 atm — water permeability 1mm - 1l / min / m' - 10 atm
- VDP l / min / m' - postignuti pritisak < 10 atm — water permeability l / min / m' water pressure reached at < 10 atm
- ..... pretpostavljeni vodostaj — assumed water level



