

ROMAN SARNAVKA

**OTVARANJE VODNIH HORIZONATA
NA BRIONSKIM OTOCIMA
DUBOKIM BUŠENJEM I ISPITIVANJE NJHOVOG
KAPACITETA KAŠIKOVANJEM**

GEOLOŠKI VJESNIK
GOD. II-IV (1948-1950)

ZAGREB 1952.

Među najzanimljivije i najvrijednije radove, koje izvodi Poduzeće za istražna bušenja u Zagrebu spada svakako istražno bušenje za vodu na brionskim otocima.

Otoci Brioni, na 44°55' sjeverne geografske širine i 13°45' istočne geografske dužine od Greenwich-a, čine skupinu od dva otoka, dvanaest otočića i tri grebena, od kojih najveći, na kome se izvode radovi, ima površinu od 6,9 km². Najveća duljina mu je 5,5 km, a širina 2,2 km.

Blago valoviti teren sa bujnom mediteranskom vegetacijom (srednja siječanjska temperatura +5,8° C) na sjeveru naše jadranske obale, tipičan predstavnik krša, koji pokriva gotovo ¼ površine jugoslavenskih zemalja, postao je poprište zanimljive znanstvene i privredne bitke.

U geografskom, morfološkom i geološkom pogledu, a najzad i klimatski, te dijelom privredno, brionski su otoci sastavni dio istarskog kopna od kojeg ih rastavlja Fažanski kanal dubok svega 10—15 m, a najveće širine 2 km,* sastavni su dio cijele one ogromne kamenite površine uz obalu Jadranskog mora pa do duboko u unutrašnjost naše domovine obuhvaćajući Slovensko Primorje, Istru, Gorski Kotar, Liku, južnu Bosnu i Hercegovinu i Crnu Goru opće poznatu pod imenom krša sa tipičnim značajkama oskudice na pitkoj i zdravoj vodi i u malim količinama, a da ne govorimo o većim količinama za industrijske i poljoprivredne svrhe.

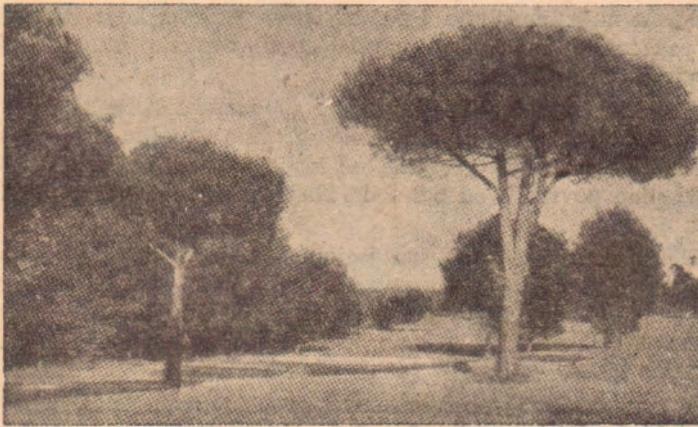
Jasno je, prema tome, od kolikog je značenja ovo prvo istražno bušenje na vodu u kršu i koliko će rezultati istraga tokom vremena otvoriti široki pogled u budućnost i dati smjernice za dalje pokušaje bušenja u našem maritimnom kršnom području, Istri, otocima, Primorju i Dalmaciji, za eksploataciju podzemnih voda za piće, s jedne strane, i za razvoj privrede u vodom siromašnim krajevima s druge strane.

* Strateški i urbanistički brionski otoci su sastavni dio Pule. Antonio de Wille, 1630., »Descriptio portus et urbis Pulae«.

Problem vode u Kršu odavno već zanima naše i inozemne stručnjake, geologe, hidrologe, inženjere i šumare, o čemu svjedoči i obilna literatura o hidrografiji — više i o hidrologiji krša — manje.

Ovdje se može upozoriti na jednu, na prvi pogled kontradikciju. Poznato je naime, a većina pisaca slaže se u tom pogledu, da pučanstvo, koje nastava krške predjele trpi veliku oskudicu na vodi, a i ona voda koju upotrebljava (uglavnom kišnica) nezdrava je i loše djeluje na zdravlje ljudi (na pr. slabi zube). S druge strane, nije nimalo nelogična tvrdnja da u kršu ima vode i to mnogo.

Krš prosijecaju od krajnjeg sjevera naše države pa do krajnjeg juga relativno veliki vodotoci sa obilnom količinom vode. Rijeke Soča, Vipava, Reka, Mirna, Raša, Rječina, Lika, Gacka, Zrmanja, Krka, Cetina, Neretva, Trebišnjica i Bojana, nose preko cijele



Pokriveni krš sa brionskih otoka

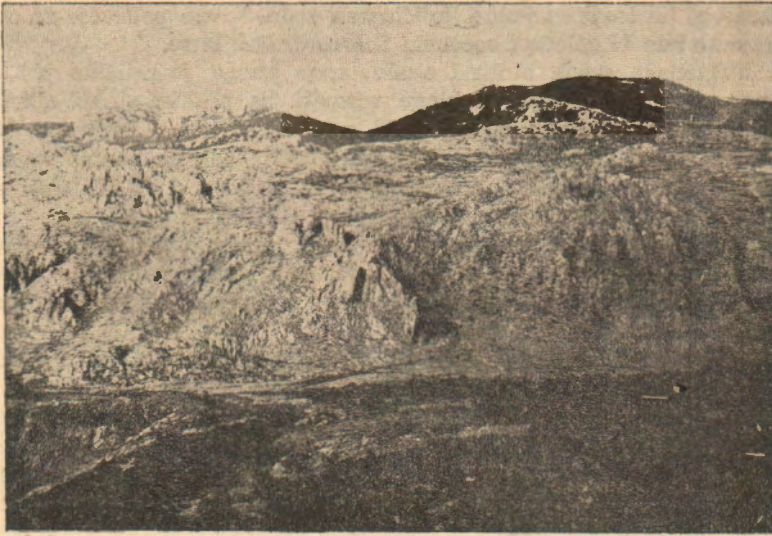
godine svoje vode u Jadransko more. (Donji tok Neretve i Bojane je čak plovao). Neke od njih su ponornice, neke opet imaju samo djelomično karakter ponornica ili ga uopće nemaju.

Također je i količina godišnjih oborina velika — na sjeveru centralni dijelovi Istre preko 1000 mm na jugu Herceg-Novi sa preko 5000 mm godišnje vodenog taloga. Oborina brzo prolazi kroz rastrosene gornje vapnenačke slojeve i odlazi, ponire u nepoznate dubine i teče dalje podzemno u nepoznatom pravcu, prema spomenutim rijekama ili u more ili puni i ispunjava kakve nepoznate rezervoare u nutrini zemlje.

Prema gornjem izlaganju može se rezimirati: Iako u kršu ima vode, ima i oskudice na vodi, i to velike. Radi toga se kao primarni problem postavlja pitanje, kako ćemo iskoristiti postojeće količine vode, kako ćemo tehnikom staviti ovu vodu u službu pučanstvu, koje je ovom oskudicom teško pogođeno.

Ovaj problem poostrava činjenica, da su gornji vodotoci dosta udaljeni jedan od drugog, a naselja su većim dijelom raštrkana po gorskim kosama bez dobrih prometnih puteva i sredstava. K tome dolazi također »čudljivost« ponora, koji se u proljeće izlijevaju i plave ono malo polja i obradive površine, dok u ljeti gutaju i nose vodu baš kada je najpotrebnija, čime se nanosi ogromna šteta slaboj i zaostaloj privredi ovih krajeva.

Stručnjaci, koji se bave ovim problemom, a napose geolozi, zainteresirani su ovim bušenjem, jer će ono dati uvida u slojeve krede na veću dubinu što također doprinosi rješavanju problema vode u kršnim predjelima.*



Primorski goli krš iznad prve terase Velebita nad Jablancem. Goli krš je Dundović Kosa, a u pozadini Alančić i Bužanovo

Foto: J. Poljak

Od kolike je važnosti ova činjenica vidjelo se već pri lokaciji prve bušotine.

Istražnom bušenju predhodila su iscrpna geološka istraživanja i geofizička snimanja.

S obzirom na to, da nije namjera ovog prikaza da dublje ulazi u geološku problematiku terena, to će u najkraćim crtama biti iznešena geološka, stratigrafska i tektonska građa užeg područja, koje se ispituje, i njegovog najbližeg susjedstva s kojim ono čini morfološku i stratigrafsku cjelinu.

Pravilno i dobro slojeviti vapnenci cenomana jedina su geološka građa otoka i šireg zaleđa na zapadnom dijelu istarskog kopna. U

* Pretežni dio našega krša čine kredni i jurski, a manje trijaski vapnenci.

vapnenoj seriji izmjenično dolaze vapnenci, čas u tanjim čas u debljim pločama, sada kompaktni sad brečasti, zatim gline, pa interkalacije dolomita i po neki uložak sa nerinejama i diceratidima. U većem broju kamenoloma na kopnu i otocima u otkrivenim slojevima dobro se mogu uočiti kompaktnost, rijetke dijaklaze i međuslojne pukotine, te ponegdje i mali rasjedi praćeni pukotinama, a ispunjeni redovno brečastim materijalom.

Analogijom se može pretpostaviti, da se i u dubljim slojevima vapnenih naslaga mogu očekivati i lećasti i kontinuirani dolomitični i dolomitni umetci. Također mogu se očekivati laporoviti, kompaktni jedri vapnenci, koji u odnosu na cjelinu vapnene raspucane serije mogu predstavljati nepropustan sloj na kome se stvara cjeloviti vodonosni horizont sa većim količinama vode. Slivno područje za ove horizonte bilo bi zaleđe i eocenski fliš centralne Istre.

Tektonska građa otoka i obalne zone kopna je prilično jednostavna. Vapneni slojevi su blago valoviti sa plitkim sinklinalama. Pad slojeva u prosjeku iznosi cca 2°, a veoma rijetko dostiže 10°. Na otocima slojevi izrazito padaju u smjeru WSW dok na kopnu imamo u užem obalnom pojasu upravo suprotan smjer t. j. ENE, koji se idući dalje u kopno sve izrazitije mijenja u ESE.

U tektonskom pogledu ova su područja upravo suprotna sa kršem na ostalom velikom dijelu naše države; čak i same centralne Istre, gdje je tektonska struktura komplicirana i vapnena serija jako razlomljena.

Najvećim dijelom pokriveni su vapnenci debelim slojem crvenice (terra rossa), koji mjestimično zalazi veoma duboko u pukotine i kanale ispucanih vapnenaca. Debljina ovog pokriva u prosjeku se kreće od 5—6 m. Ovaj pokrov crvenice, koji omogućava i osebujno mediteransko raslinstvo, predstavlja tipičnu odliku zapadno istarskog krša i otočja, po čemu je i cijelo područje dobilo ime Crvena Istra.

U hidrografsko-hidrološkom pogledu zapadna Istra daje također posebnu sliku.

Nema mnogo izgleda, da na otocima ima vlastite podzemne vode cjednice ispod ili u samom humusnom pokrovu. Izvora na otocima nema, a njihovo povremeno izbijanje također nije vjerojatno, zbog relativno male količine godišnjih taloga.

Ipak je interesantno spomenuti da je na otocima u davnoj prošlosti postojalo veliko rimsko naselje, koje je imalo svoj bunar, koji je i danas sačuvan. Bunar je postavljen visoko na obronku bliske uzvisine, a dubina mu seže do razine mora. Danas u bunaru nema ni traga vodi.

S druge strane na malenom otočiću Sv. Jerolim na kartama iz 1934 g. unešen je bunar. Nije mi poznata izdašnost toga bunara, niti dali je danas u upotrebi.

Sasvim je drugi slučaj u obalnom području, koje je u hidrografsko-hidrološkom pogledu dobro istraženo. Važni privredni i vojni centar u prošlosti, grad Pulu, trebalo je snabdjeti vodom. Pulski bunari (pozzi) kopani u stijeni raštrkani su u širokom području sa relativnom malom udaljenosti jednog od

drugoga. Dubina im varira prema nadmorskoj visini terena, a u prosjeku se kreće oko 30 m, uglavnom dopiru do morske razine. Bez osobite pravilnosti, neki su dospjeli odmah do slatke vode, dok su drugi u početku bez vode, postali pozitivni tek nakon kopanja postranih rovova i miniranjem na dnu, što je opće poznata činjenica kod mjesnih bunardžija.

Ova je činjenica dala povoda mnogim geolozima da pretpostave jedan plitki horizont vode raštrkan na bezbroj jačih ili manjih mlazeva i kanala, koji završavaju na zapadno-istarskoj obali u moru. Ovome je išao u prilog i veći broj plićih podmorskih izvora na zapadnoj istarskoj obali. Primjera radi navodim jedan bunar nasuprot otočnoj skupini u mjestu Peroj nazvan Vela Voda (Acqua Grande), koji je dnevnim opažanjem tokom dva najsušna mjeseca u godini crpljenjem davao 480 m³ vode na dan.

Rado se pretpostavlja da ovim bunarima daje vodu rijeka Fojba, koja ponire kod Pazina i šalje svoje vode prema moru na jug i jugozapad.

Hidrogeološki odnosi u dubljim zonama nisu se mogli predpostaviti, nego ih je trebalo istražiti dubokim bušenjem. Rezultati dubokog bušenja dali bi onda smjernice za hidrološko i hidrotehničko rješavanje problema snabdjevanja vodom otoka i kopnenog zaleđa. Interesantno je, da su geolozi pretpostavili prve jače moguće količine vode tek na dubini između 600—800 m vjerojatno na kontaktu vapnene serije i dolomita u podini, što je uvjetovalo i problematiku tehnike bušenja.

U toku bušenja prve bušotine, kada se na cca 55 m već naišlo na prvi realni vodonosni horizont sposoban za eksploataciju, otpočela su i geoelektrična ispitivanja na području u neposrednoj blizini bušotine sa ciljem što boljeg upoznavanja režima dubokih podzemnih voda, kao i radi određivanja lokacije novih bušotina sa eventualno izdašnjim količinama vode.*

Snimanja su pokazala pozitivne rezultate samo kod rada sa metodom otpora. Maksimalni razmak elektroda uzet je 300 m što je obzirom na Venerov raspored interpretirano kao dubina od 240 m.

Na diagramu prividnog specifičnog otpora uočljive su, prema autorima, 4 oblasti, u kojima je prividni specifični otpor manji i to pri razmaku elektroda od 30, 90, 195 i 245 m što odgovara dubinama od 20, 60, 130 i 160 m.

Ovo smanjivanje prividnog specifičnog otpora po dubini pripisano je utjecaju vodonosnih horizonata manjeg specifičnog otpora nego što ga ima vapnenc.

Međutim na temelju geološkog poznavanja terena kao i rezultata daljih geofizičkih snimanja, geofizičar-rukovodilac interpretira kao interesantne slojeve samo one na 60 i 160 m.

Zanemarivanje prvog horizonta temelji se na tome što neke od sonda nisu potvrdile gornji rezultat, dok se na drugim mjestima pripisuje uticaju mora.

Ovi rezultati potvrđeni su sa nekoliko sondiranja, dok je kartiranje sa razmakom elektroda 90 i 240 m dalo rezultate, koji pokazuju na postojanje šireg pojasa sa relativno manjim specifičnim otporom.

* Kako je ovih dana predan u štampu temeljiti prikaz geofizičkih ispitivanja, koja su vršena na otocima i susjednom kopnu, pisac se u sporazumu sa rukovodiocem geofizičkih ispitivanja na terenu, ograničio samo na letimičan prikaz rezultata bez upotrebe odgovarajućih diagrama i profila i to samo u cilju upotpunjavanja ovog prikaza sa rezultatima radova, koji su predhodili bušenju, a doprinijeli organizaciji i tehničkim mjerama na bušenju.

Na cca 100 m daleko od prve bušotine vršena su snimanja u jednoj točki sa razvijanjem elektroda po profilima raznih azimuta. Za razmak elektroda $a = 90$ m potvrđeni su predhodni rezultati.

Ispitivanja, koja su vršena na istarskoj obali nemaju praktički značaj za ctoke, pošto nisu zašla u veću dubinu i ograničila su se na praćenje ranije spomenutog plitkog nivoa, koji završava u moru.

Koliko je piscu poznato, kasnije je ista ekipa neovisno ispitivala isto područje na obalnom pojasu došavši do pozitivnih rezultata i prateći ove horizonte dublje u kopno.

Povezanost dubokih podzemnih voda na otocima sa onima na kopnu pisac smatra logičnim, kako je to naprijed već rečeno kod tumačenja geoloških odnosa.

Usporedimo li geološko mišljenje s rezultatima geofizičkih mjerenja dolazimo do slijedećeg razmatranja: Dopušta se da interkalacije dolomita, vapnenaca, lapora u krednim vapnencima, koji čine glavnu geološku građu brionskih otoka, mogu predstavljati nepropusne slojeve, nad kojima se stvara vodonosni horizont. Geofizičkim metodama određene dubine vodnih horizonata vjerojatno će odgovarati ovim interkaliranim slojevima.

Ako na temelju ovih istraživanja i mjerenja, i na temelju donesenih zaključaka i razmatranja hoćemo zaključiti o izgledima, koji se mogu očekivati bušenjem u pogledu nalaska dovoljnih količina vode, možemo reći ovo:

Na dubinama od 60 i 160 m očekuje se pojava slatke vode. (Horizonat na 60 m već je utvrđen bušenjem za vrijeme ovih istraživanja). Količine vode i kvalitet, te karakter njezin treba definirati nakon bušenja.

Nema razloga pretpostavci, da se i u većoj dubini ne nalaze i druge vodonosne zone. Koja je od tih zona najpovoljnija mogu pokazati samo ispitivanja izdašnosti pozitivnih bušotina, koje će slijediti.

BUŠENJE

Na temelju geološke pretpostavke, da se veće stalne količine vode očekuju na dubini od 600—800 m, te obzirom na tvrdoću supstance kroz koju se buši (jedri tvrdi vapnenci) određeno je, da se bušenja izvode sa garniturom Massarrenti R VII, čiji je kapacitet 700 m. Snaga motora iznosi 80 KS, pumpa ima kapacitet 500 lit/min. Visina tornja od Rotary stola je 18 m, nosivost tornja 50 tona. Broj okretaja Rotary stola je 50 na 1 min. Brzina izvlačenja je 0,25—1,1 m/sec. Opterećenje pri bušenju: četvrtasta šipka 500 kg, bušaće šipke API 3,5", težina 15,27 kg/m.

Kao isplaka upotrebljena je morska voda bez ikakvih primjesa. Za bušenje su upotrebljena kolutičasta svrdla (Rollbits, Rollmeissel) promjera 310 mm, 220, i 143 mm.

Prilikom bušenja upotrebljavane su dvije četvrtaste šipke čim je to dubina bušotine dozvolila. Rad se odvijao neprekidno u tri smjene.

Isplačni materijal, obzirom na tip svrdla, potpuno razdrobljen u brašnasti prašak spreman je u kutiju samo kod prve bušotine, dok je kasnije materijal kontroliran samo povremeno po nadzornim organima i geolozima, koji su obilazili radove. Ovo se je moglo opravdati iz dva razloga: prvi, da je supstanca kroz koju se buši isključivo vapnenac, drugi, da bi eventualne raznolikosti u materijalu teško bilo definirati obzirom nato što je materijal svrdlom brašnasto zdrobljen.

Prosječno napredovanje u bušenju preko 50 m dubine iznosilo je cca 15 m na 24 sata.

Veće kavernozone šupljine ili pukotine kod kojih bi bušači pribor osjetno propadao nisu primjećene osim na bušotini B—4 na 40 m dubine, kako će se kasnije vidjeti.

Zacjvljenja i zatvorene zone cementacijom vidljive su iz prikazanih profila.

Naročitih smetnji prilikom bušenja nije bilo, niti zaglava osim na četvrtoj bušotini u već spomenutoj kaverni.

Vodni horizonti, odnosno priliv vode, konstatiran je porastom vode u isplačnom bazenu i razrijeđenjem isplake. (Napomenuli smo već da je isplaka isključivo morska voda). Tokom bušenja opažani su češće veliki gubici, uglavnom u površinskoj zoni do 50 m.

Gornjim podacima obilježna je već i metoda rada, naime bušiti sa što većim efektom (misli se na brzinu napredovanja) do prve pojave vode. Nakon kemijske analize provesti pokusna crpljenja, a zatim kod eventualnog pozitivnog rezultata prići zacjvljenju i cementiranju odgovarajućih zona. Cementacijom ukloniti eventualne prodore mora ili dodir sa morskom vodom. Konačno, prema prilikama, obustaviti bušenje ili nastaviti sa manjim promjerom.

Kod opisa pojedinih profila i kasnije zadržati će se nazivi za bušotine B-1, B-2, B-3 i B-4 gdje arapske brojke označuju redosljed kojim je bušenje izvođeno.

B-1. — Ova je bušotina izvedena u dva dijela. Prvo bušenje do 77 m sa vodom na 57 m obustavljeno je nakon cementiranja dna sa dubinom 68,5 m. Tek nakon otvaranja drugog jačeg horizonta na slijedećoj B-2 bušotini, prišlo se je produbljenju.

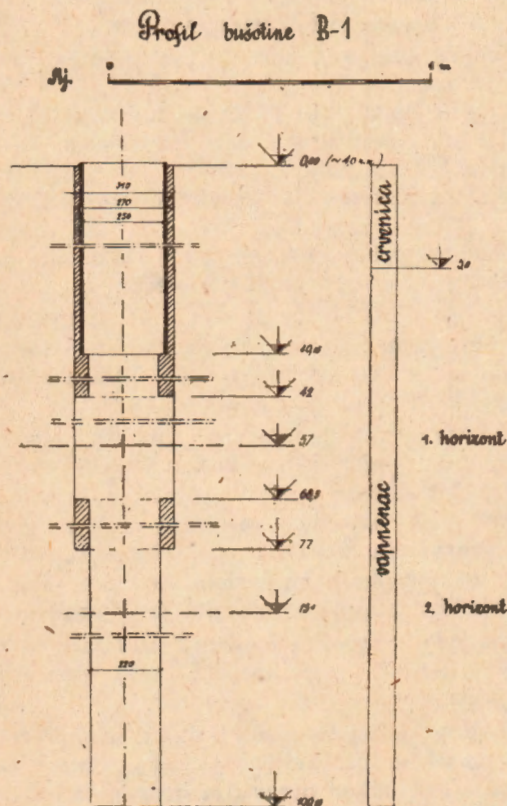
Priliv vode opažen je na 151 m, ali kako su količine bile slabe, nastavljeno je sa bušenjem opažajući eventualni prirast količine vode, što se i dogodilo. Bušotina je završena sa 190,15 m.

Isplačni materijal odgovara geološkim pretpostavkama. Nakon 5 m debelog sloja crvenice (terra rossa) nastupila je serija vapnenaca. U brašnastom uzorku moguće je osjetiti samo diferencijaciju u boji i veličini zrna (u malim granicama) što se tokom bušenja očitovalo kao tvrđa ili mekša zona.

Bušenje je započelo sa profilom 310 mm, kojim je dosegnuta voda na 57 m. Pritok slatke vode osjećao se do 68 m dok je daljim bušenjem do 77 m pritok nešto oslabio. Statički nivo vode ocijenjen je sa 4 m od razine terena. Voda je bistra i po teku slatka. Radi ori-

jentacionih podataka o izdašnosti započelo se je kašikovanjem. Priređena je kašika (Bucket, Bailer, Schöpflöffel) kapaciteta 65 lit, koja se čeličnim užetom spušta u bušotinu, puni vodom, izvlači iz bušotine i prazni. Trajanje ovog procesa iznosilo je cca 2 minute.

Za tri sata je na ovaj način izvučeno 100 kašika ili 6.500 lit. vode. Nivo vode stao je na 30 m. Okus vode stalno je bio isti.



Računom je onda izdašnost utvrđena na ovaj način. Nakon izvlačenja daljih 650 lit vode mjereno je nivo i izmjereno sa 30 m, odmah zatim izvučeno je još 1.300 lit. vode. Izmjereni dinamički nivo bio je opet na 30 m. Izvlačenje zadnjih 20 kašika trajalo je 33 minute. Odatle slijedi dotok $1.300 : 33 = 39,4$ lit/min ili 0,7 lit/sek što okruglo iznosi 55 m^3 na dan. Iza toga opažano je i dizanje vode u bušotini pa se mjerenjem i računom opet došlo do brojke 0,7 lit/sek.

Ovi rezultati smatrani su kao zadovoljavajući, pa je nastavljeno sa kašikovanjem.

Jedan sat kasnije, međutim, čuo se je jak šum u bušotini, pa je ustanovljeno, da se na 13 m dubine otvorila jedna pukotina iz koje je sa sjeveroistočne strane u jakom mlazu navirala morska voda

tamno crvene boje i brzo punila bušotinu. U toku noći voda je zadržala slani okus a statički nivo iznosio je 4,0' m.

Da bi se što prije prišlo izoliranju bušotine od morske vode zacijevljeno je i cementirano 40 m kolone unutaršnjeg promjera 256 mm.* Cementni most izveden je na 42,5 m. Po stvrdnjavanju cementa most je probijen profilom 220 mm. Nakon ovog prišlo se je još cementiranju dna do dubine 68,5 m. Ovo je učinjeno zbog pretpostavke, da se stanovita količina vode gubi kroz vjerojatno jako rastrošene slojeve ili pukotine, jer je tokom bušenja na toj dubini opaženo smanjenje pritoka vode.

Probna kašikovanja, kao što će se dalje vidjeti iz tabelarnog prikaza, pokazala su znatno smanjenje izdašnosti nakon izvršene cementaže.

Kako je u to vrijeme geofizičkim mjerenjima označena lokacija nove bušotine i pretpostavljen drugi horizont na 160 m to je rad na B-1 obustavljen, s tim, da se nastavi ako ispitivanja na horizontu od 160 m na B-2 budu dala pozitivne rezultate.

Nakon uspjeha bušenja na B-2 otvaranjem horizonta vode mnogo jačeg kapaciteta prišlo se nastavku bušenja na B-1 do drugog horizonta odnosno do 160 m.

Bušenjem sa profilom 220 mm kroz vapnenu seriju bez osobitih karakteristika i bez promjene režima bušenja otvoren je horizont vode na 151 m. Kako pokusnim kašikovanjem količine vode nisu bile zadovoljavajuće, to je bušenje nastavljeno postepeno uz stalno kašikovanje u intervalima prekida.

Tom prilikom je opaženo, da se količina vode povećava. Bušenje je obustavljeno na 190,15 m, kada se više nije moglo utvrditi povećanje kapaciteta.

B-2. — Kako je već ranije spomenuto ova je bušotina locirana na temelju geofizičkih ispitivanja. Njezina udaljenost od B-1 iznosi točno 120 m pod azimutom 0°. Nadmorska visina je cca 1,0—1,5 m manja nego od B-1.*

Debljina humusnog sloja (terra rossa) cca 6 m, u nastavku vapnena serija istih karakteristika kao na B-1.

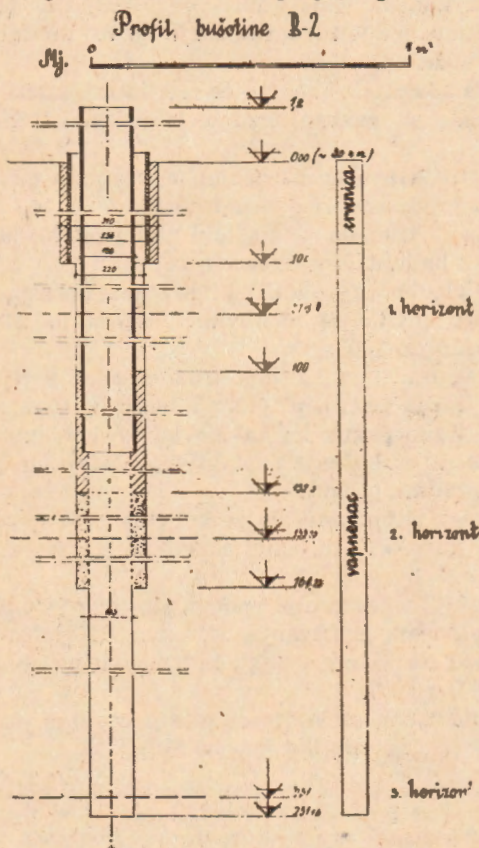
Zanimljivo je, da je na 160 m izvađen komadić materijala cca 5 mm promjera, koji je po geologu ocjenjen kao lapor. Međutim nije se niti bušenjem na jezgru kasnije moglo uhvatiti ništa laporovitog ili sličnog materijala.

Bušenje je započelo sa profilom 310 mm do 11 m. Na dubini od 5—10 m opaženo je odmah na početku jače procjeđivanje slane vode kroz sistem pukotina na kontaktu između humusnog pokrova i početka vapnene serije. Bušenje je nastavljeno od 11 m sa profilom

* Prije cementacije pokušano je, da se sa Schlumberger aparatom ustanovi pravac pružanja morske vode odnosno pukotine kroz koju pritječe more, te da se odredi njezino kretanje po dubini. Rezultati mjerenja nisu pokazali pozitivni rezultat iz nepoznatih razloga.

* Pisac na žalost nije do štampanja uspio dobiti točno izmjerene nadmorske visine bušotina. Može se međutim radi orijentacije uzeti: B-1 : 4 m, B-2 : 3 m, B-3 : 15 m i B-4 : 5 m.

220 mm pa je horizont vode otvoren prema očekivanju na 51 m. Priliv je opažen sve do 66 m. Pokusno kašikovanje dalo je slične rezultate kao na B-1. Važno je napomenuti, da je vapnena serija na prvih 50 m jako rastrošena što se zaključuje po ogromnim gubitcima vode (isplake) tokom bušenja. Rastrošenost vapnenih slojeva dokazana je i sporim dizanjem vode u bušotini prilikom kašikovanja na prvom korizontu. što je kašikovanje duže trajalo, dizanje vode je bilo sporije, a to je uzrokovalo smanjenje kapaciteta. Ovo se može



tumačiti ne faktičkim smanjenjem kapaciteta bušotine uslijed eventualnog ispražnjivanja podzemnog rezervoara, nego sve jačim ispiranjem pukotina duž bušotine, koje su tokom bušenja bile zaglađene i popunjene isplačnim materijalom.

Kako je namjera ove bušotine bila otvaranje drugog predpostavljene horizonta, to je bušenje nastavljeno istim promjerom. Priliv vode nestao je oko 70 m, a gubici na isplaci ponovno su se počeli povećavati, no ne u tolikoj mjeri kao u početku.

Drugi očekivani horizont otvoren je na 155,25 m, a priliv je utvrđen do 164,25 m. Pokusna kašikovanja dala su neočekivano dobre

rezultate (više od 80 m³ na dan). Voda je u gornjim slojevima bila slankasta od utjecaja mora, koje je, kako je ranije već spomenuto nadolazilo u bušotinu na prvih 10 m, dok je voda izvučena s dna bušotine bila veoma ugodnog okusa. U cilju eliminiranja upliva morske vode, prvo je cementirana uvodna kolona do 11 m, a zatim se prišlo zacjevljenju i cementiranju eksploatacione kolone nutarnjeg promjera 168,3 mm do 150 m dubine. Izveden je cementni čep na toj dubini i kroz kolonu cementirana je zona od 100—150 m. Cementni čep postavljen je na isplačnom materijalu od 152,30—164,25 m. Nakon probijanja čepa konstatirano je na žalost, da je cementacija izvedena pređuboko i neprecizno pa je vodonosni horizont ostao, također zacementiran.

Prije odluke o torpediranju dna bušotine, kojim bi se eventualno ponovno otvorio horizont vode, odlučeno je da se nastavi sa bušenjem do eventualnog slijedećeg horizonta. Time se ovoj bušotini dao isključivo istražni karakter sa zadaćom provjeravanja rezultata dobivenih geofizičkim putem pošto se smatralo, da ponovno otvaranje horizonta na 160 m torpediranjem, a eventualno i prvog horizonta napucavanjem kolone, neće predstavljati veću tehničku poteškoću.

Bušenje je nastavljeno sa profilom 143 mm. Za nepunih 5 dana otvoren je i treći realni horizont vode na 251 m kojim je bušenje obustavljeno.

Ovaj horizont ima pozitivan tlak, pa se voda sama prelijeva iz bušotine kao pozitivna arteška voda na visini od cca 2 m iznad površine terena.

Izdašnost, međutim ovog horizonta manja je za cca 50% od onoga na 160 m.

Ovdje se može napomenuti, da ova konstatacija podleže kontroli. Naime, zbog relativno uskog profila bunara i zbog velike dubine (dinamički nivo kašikovanjem snižen je na 80 m), manipulacija kašikovanja bila je znatno otežčana tako, da će se realna slika mogućeg kapaciteta utvrditi tek montiranjem prikladne dubinske pumpe i dugotrajnim pumpanjem.

B-3. — Na temelju iskustva bušenjem B-1 i B-2, te geofizičkih rezultata uslijedila je lokacija nove bušotine cca 1000 m jugoistočno od B-1. Obzirom na istovjetnost geološke građe terena, kao i slične površinske uvjete, ova je udaljenost dobro došla radi daljnjeg osvjetljavanja režima podzemnih voda. Nova lokacija je relativno daleko izvan područja geofizičkih ispitivanja i na većoj nadmorskoj visini (cca 15 m).

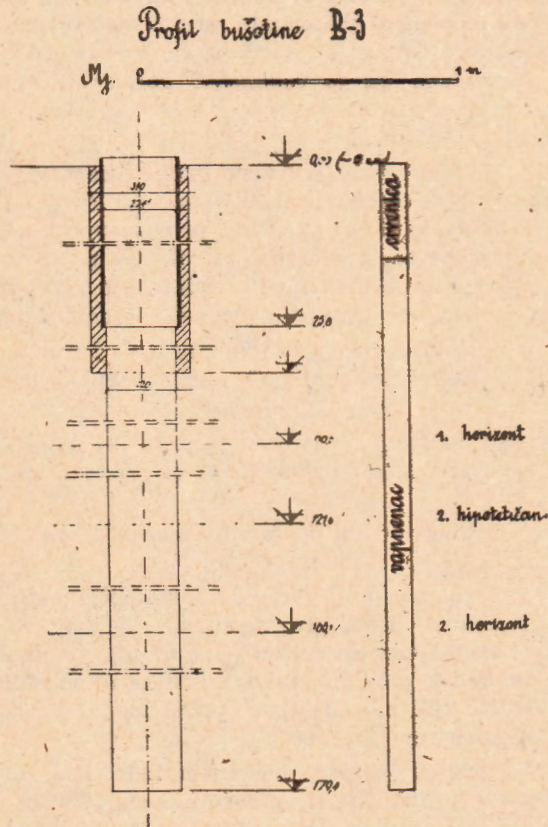
Kako je prije pretpostavljeno, da horizonti padaju sa zapada prema istoku predmnijeva se, da će na B-3 pojava horizonta uslijediti na većoj dubini, kojoj treba dodati i razliku u nadmorskoj visini.

U tehničkoj osnovi postavljen je zadatak, da se utjecaji mora eliminiraju prije otvaranja prvog očekivanog horizonta na taj način, što bi se nakon bušenja do cca 40 m prišlo odmah spuštanju i cemen-

tiranju kolona, pa tek tada nastavilo sa bušenjem i ispitivanjem otvorenih horizonata.

Kao i dosada režim i metoda bušenja su isti. Započeto je sa \varnothing 310 mm do 26,26 m. Izveden je cementni most, spuštenu kolona nutarnjeg \varnothing 224,5 mm do dubine 25,83 m i cementirana.*

Probijanje cementnog čepa izvedeno je dlijetom \varnothing 220 mm od 22,43 m kojim je nastavljeno bušenje. Prvi horizont vode otvoren



je na cca 66,5 m što odgovara razlici u nadmorskoj visini prema prethodnim bušotinama. Kako je probno kašikovanje dalo veoma slab rezultat (7 m³/dan) to je bušenje nastavljeno odmah dalje ne osvrćući se više na ovaj horizont do otvaranja drugog horizonta vode na 121,6 m dubine.

^{at} Kašikovanje na ovoj dubini također nije dalo nikakav pozitivan rezultat. Voda je iscrpljena do dna bušotine. Količina vode i kod crpljenja i kod dizanja

* Zbog slabe obavještajne službe bušenje sa \varnothing 310 mm prekinuto je prije predviđene dubine i izvršena je cementacija kolone. Obzirom na nadmorsku visinu i dubinu mora u bližoj udaljenosti otoka osigurana zona nalazi se iznad morskog dna, pa je time i dalje postajala opasnost od eventualnih upliva mora.

(cca 25 m³/dan) odgovara rezultatima prvog horizonta na ranijim bušotinama nakon zacjevljivanja i cementacije, pa ćemo rado pretpostaviti, da je smjenski bušač pogrešno ocijenio pojavu vode i da se radi samo o akumulaciji vode prvog otvorenog horizonta na 66,5 m.

Bušenje je nastavljeno do dubine 165,08 m. Ovog puta rezultati kašikovanja dali su već povoljnije rezultate (55 m³/dan). Treba napomenuti da je prilikom bušenja konstatiran stalno mali gubitak isplake. U zonama vodenih horizonata kod dosadašnjih bušotina to nije primjećeno.

Ovi su gubitci praćeni sve do kraja bušenja do 179,39 m.

U geološkom pogledu situacija odgovara ranijem bušenju. Odgovarajuća debljina humusnog sloja pokriva vapnenu seriju koja zdrobljena u isplaci varira u malim granicama po boji i krupnoći zrna.

Od 165,30—167 smjenski bušač zabilježio je u dnevniku bušenja: jako tvrdi sloj. Od 167—170 m prvi put je primjećen materijal, koji niti po boji niti po obliku zrna, nije odgovarao materijalu, koji je donosila isplaka na dosadašnjim bušenjima. Boje je ružičaste, dok bi se veličina zrna mogla označiti kao krupnozrni pijesak. Geološki se međutim nije moglo utvrditi sloj pješčenjaka ili kakve druge tvorevine pa je vjerojatno da se radi o kakvoj većoj pukotini, koja je ispunjena kristaliničnim vapnencem ili kakovim dolomitnim materijalom. Ovakav materijal razdrobljen dlijetom u zrna pričinjava se kao pijesak. Od 170 m dalje do kraja nastupila je opet bjelkasta vapnena serija bez osobitih karakteristika.

Bušenje ispod dubine od 165,08 došlo je kao posljedica stalnih gubitaka isplake (sve do kraja bušenja) i na temelju računske konstrukcije o dubini vodonosnog sloja prema već bušenim bušotinama uz uvjete kako je prije napomenuto.

Prilikom bušenja B-3 nije primjećeno bilo kakvo prodiranje morske vode niti miješanje sa horizontima slatke vode.

B-4. — Lokacija ove bušotine nije se temeljila na posebnim geološkim ili drugim pretpostavkama. Iskustvo na dosadašnjem bušenju i pravilnost otvaranja vodonosnih horizonata na odgovarajućim dubinama sve jače opravdavaju mišljenje, da se u dubinama brionskih otoka nalazi nekoliko vodonosnih horizonata u pravom smislu riječi i da pojava duboke podzemne vode nije slučajna pojava vezana na pukotine i kanale ili eventualne duboke podzemne tokove.

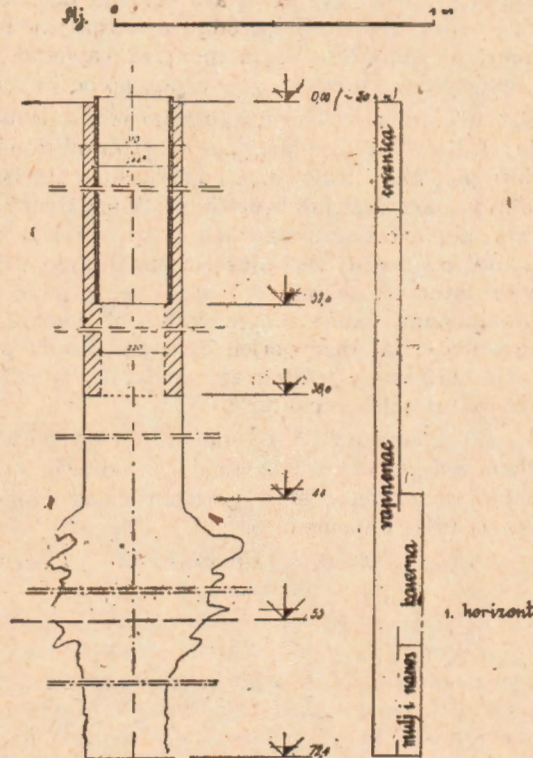
Lokacija je postavljena na cca 400 m NNE od B-3. Udaljenost od B-1 iznosi cca 900 m. Sa profilom 310 bušeno je do 36,94 m dubine, a nakon toga je nastavljeno sa bušenjem sa profilom 220 mm. Humusni sloj iznosio je cca 5 m nakon toga započela je običajna vapnena serija. Na dubini od 44 m, naglo je propalo dlijeto do 48 m, a u nastavku lako je prolazilo do dubine od cca 68 m. Voda je otvorena na oko 55 m. Očigledno je, da se bušenjem naišlo na ovcu kavernu, čije je dno zasuto rastrošenim materijalom, koji je nastao djelovanjem vode, koja prolazi kavernom i ispunjava njezin donji dio. U nastavku bušenja naglo je nastao zastoј u napredovanju i u dubini 72,42 m

potpuno je bilo onemogućeno dalje bušenje uslijed zarušavanja i zasipavanja bušačeg pribora i dlijeta.

Jasno je, da je napredovanjem bušenja u dubinu propadao i materijal nošen vodom sa dna kaverne i time onemogućavao dalje napredovanje.

Statički nivo vode iznosio je oko 2 m. U ovoj situaciji nije preostalo ništa drugo nego da se počne sa kašikovanjem ovog prvog

Profil bušotine B-4



horizonta. Dinamički nivo vode nije uspjelo sniziti ispod 25 m dok su količine vode bile veoma povoljne, odnosno najveće od svih prema dosadašnjem bušenju na ovom horizontu (cca $80 \text{ m}^3/\text{dan}$). Obzirom na veoma nizak dinamički nivo moglo bi se očekivati, da je izdašnost mnogo veća. Kako se u neposrednoj blizini ove bušotine nalazi oveća bara postojala je mogućnost da, obzirom na malu dubinu, postoji direktna veza između bare i horizonta, te se crpljenje i izbacivanje vode vrši u zatvorenoj kružnici. Nakon trećeg dana opaženo je, da voda postaje slana. Na bari je postavljen vodomjer na kome se detaljno opažalo snižavanje vodostaja tokom crpljenja iz bunara.

Tokom bušenja nije uopć opažen neki priliv slane ili druge vode u gornjim slojevima bušotine.

Obzirom na stalnu cirkulaciju vode: bazen, bušotina, bazen, ovo je za vrijeme samoga rada teško i opažati. Eventualne veze sa morskom vodom vide se najbolje nakon prvog kašikovanja, kada se znatno smanji vodostaj u bunaru, te se vidi i čuje cijedenje niz stijenke rupe.

Treba osim toga napomenuti, da je na ovoj bušotini za isplaku upotrebljena slatka voda, jer je rupa dosta daleko od mora.

Kašikovanjem uz isti efekt nije uspjelo sniziti razinu vode u bari, te je time veza bila isključena, što je potvrdila i analiza uzoraka vode iz bušotine i bare.

Uzorak vode iz bušotine pokazivao je već veliku slanost. Trebalo je ustanoviti kakva je veza vode u kaverni sa morskom vodom, odnosno dali mješanje nastaje u gornjim poroznim djelovima rupe ili je zona mješanja sama kaverna.

Proširenje bušotine na profil 310 mm radi zacjevljenja i cementiranja cijevi do dna sa naknadnim napucavanjem u zoni pojave vode nije uspjelo, radi zaglavlivanja metalnih dijelova pribora u rastrošenom talogu na dnu kaverne. Na temelju geološke ocjene

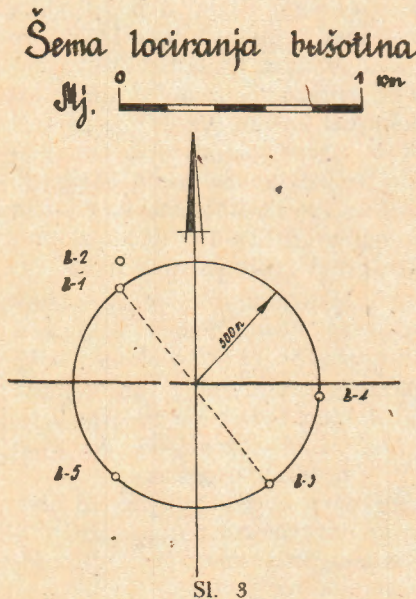
predpostavilo se miješanje vode u gornjim slojevima, te su zacjevljenje i cementacija izvršeni do dubine 38,59 (donji rub cementnog mosta). Treba još napomenuti da je kašikovanjem, koje se obavljalo neprekidno do cementacije količina vode postigla brojku od 150 m³/dan.

Kašikovanje nakon cementacije dalo je slanu vodu. Statički nivo vode iznosio je oko 1,5 m, a dinamčki 20. Dubinska crpka, koja je montirana na ovu bušotinu, pokazala je kapacitet čak od 430 m³/dan.

Pošto je ovim ustanovljena veza vodonosnog sloja sa morskom vodom u zoni kaverne, a ne postoji tehnička mogućnost, da se ovaj horizont eliminira, bušenje je obustavljeno, a locirana je novu bušotina B-5.

Da bi se dobila jasnija slika o međusobnom položaju pojedinih bušotina, pa prema tome i o području na kome se ispituje režim podzemnih voda poslužit će nam geometrijska skica na sl. 3.

Zamislimo da je na polovini udaljenosti B-1 do B-3 centar kružnice sa polumjerom od 500 m. Opišemo li kružnicu vidimo da sve bušotine leže na obodu kružnice pa i novo locirana B-5 sa manjim odstupanjem kod B-2.



Prema B-1 položaj B-5 je točno 800 m na jug. Iz dosada navedenog nisu lokaciju uvjetovali geološki motivi nego uglavnom tehnički (transport, blizina vode za ispiranje i sl.). Isplaka će kao i do sada, uz iznimku, na B-4 biti morska voda. Nadmorska visina odgovara približno onoj na B-3.

Predviđeno je, da se ovom bušotinom žađe još dublje kako bi se ispitala mogućnost otvaranja još kojeg horizonta vode kao i radi dobijanja općenite geološke slike dubljih slojeva.

ISPITIVANJE KAPACITETA

Ova su ispitivanja vršena približno u toku rada na raznim dubinama, pri svakoj procjenjenoj pojavi vode metodom kašikovanja. Ma koliko da su rezultati, dobiveni ovim načinom, nepouzđani i nestvarni, može se na temelju njih stvoriti prilično realna slika o izdašnosti i karakteru vode odnosno horizonta, koji se crpi.

U principu kašikovanje se sastoji od ovih elemenata: kašika određenog kapaciteta spušta se pomoću čeličnog užeta u bušotinu sa vodom. Dubina spuštanja ovisi o snižavanju vodostaja, a kašika se spušta uvijek toliko da cijela bude pod vodom. Kada se kašika napuni vodom izvlači se iz bušotine, te se ispražnjuje izvan njezinog dohvata. Zatim se proces ponavlja spuštajući kašiku sve dublje prateći snižavanje vode. Proces se odvija kontinuirano sa strojem tako, da se uz dobru organizaciju može postići velika brzina. Sama kašika je 9 m duga cijev profila 118 mm kapaciteta 108 lit, koja ima na donjem kraju ventil. Radi sigurnosti računato je uvijek sa 100 lit kapaciteta (nedovoljno brtvljenje na ventilu, prosipanje prilikom rada i sl.).

Maksimalno postignuta brzina u kašikovanju bila je 55 kašika na 1 sat što je međutim rijetko postignuto. Razumljivo je, da je kod dužeg kašikovanja, na pr. kroz 24 sata, ovaj broj znatno manji i ovisi o dinamičkom nivou. Na temelju opažanja zaključeno je, da se može po prosjeku računati, bez obzira na dubinu i trajanje kašikovanja, sa 30 kašika na sat što iznosi preko 70 m³ u 24 sata, a što je dovoljno za lokalne potrebe, kako će se vidjeti iz priloženih tablica.

Na ovaj način mogao se dovoljno točno odrediti dinamički nivo svakog otvorenog horizonta i mogao se dovoljno točno prosuditi kapacitet pojedinih horizonata u bušotinama, te prema tome i veza između pojedinih bušotina na jednom horizontu.

Po pravilu kašikovalo se uvijek odmah nakon otvaranja svakog horizonta, a zatim nakon manjeg produbljenja rupē.

Prvi horizont, između 50 i 60 m kašikovao je redovito u nezacijevljenoj rupi, drugi i treći u nezacijevljenoj i zacijevljenoj.

Izuzetak B-1 gdje je kašikovano u oba slučaja. Na B-1 također je prvi horizont ispitan crpljenjem. Upotrebljena je dubinska crpka tipa Peerless sa snagom motora 14 KW, 2800 okretaja u minuti, kapaciteta 420 lit/min na dubini od 57 m.

U tablici 1. imamo pregledni prikaz kašikovanja na B-1 kod dubine od 77 m nakon zacjevljenja bušotine.*

Tablica 1
Ispitivanje kapaciteta B-1 kašikovanjem. Dubina bušotine 77,0 m.

Datum	Kašikovano od — do sati	t min	q' lit.	Stat. nivo m	Dinam. nivo m	Kubatura bušotine lit.	Pritok q' — v lit.	q lit/m	Q m ³ dan
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1951									
23. II.	15 — 16	60	2700	12	(38)	1340	1360	23	325
24. II.	7 — 9	120	4100	12	70	3610	490	4	6
	10 — 11	60	1000	62	70	600	400	7	95
	11 — 19	120	2800	47	70	1740	1060	9	125
25. II.	8 — 10	120	4800	8 ⁵	70	3790	1010	8	12
	15 — 17	120	3000	(9)	70	3770	—	—	—
26. II.	8 — 9 ³⁰	90	4500	6	70	3920	580	6	9
	13 ³⁰ — 15	90	2300	44	70	1960	340	4	55
27. II.	8 — 10	120	4500	7	70	3870	630	5	75
	13 ³⁰ — 15	90	2300	44	70	1960	340	4	55
	18 — 19 ³⁰	90	2200	48	70	1660	540	6	9
28. II.	7 ³⁰ — 9	90	4400	8	70	3820	580	6	9
	11 ⁴⁵ — 12 ³⁵	50	2000	51	70	1430	570	11	16
1. III.	7 ³⁰ — 10	90	4500	6 ⁵	70	3900	600	7	95
	16 — 17 ²⁰	80	2900	33	70	2570	330	4	6
3. III.	8 — 10	120	4400	8	70	3820	580	5	7
	17 ³⁰ — 19	90	4000	19	70	3250	750	8	12
4. III.	7 ¹⁵ — 10	165	5000	8	70	3820	1180	7	10
	16 — 17	60	3200	26	70	2890	310	5	75
5. III.	7 ⁴⁵ — 10	135	4400	7	70	3870	530	4	55
	16 — 17	60	4000	27	70	2840	1160	19	28
desetodnevni srednji prиток									11

Lako je uočljivo, da rezultati mjerenja tokom 10 dana pokazuju priličnu izjednačenost. Maksimum postignut prvog dana vjerojatno je posljedica pogreške u ocjenjivanju dinamičkog nivoa. Vidi se

* Rezultati kašikovanja u zacjevljenoj rupi prikazani su prije. Plan zacjevljenja prikazan je na profilu 1. Najzgodnije je pratiti tablicu kašikovanja uz odgovarajući profil, na kome su označeni i horizonti vode.

nadalje, da je kašikovanje trajalo prosječno od 1—2 sata za koje vrijeme je potpuno iscrpljena voda, tako da se o dinamičkom nivou za ove količine vode ne može ni govoriti, drugim riječima kapacitet bušotine je još manji.

Ovdje se naglašuje kapacitet bušotine, a ne horizonta za koji je utvrđena veća vrijednost prvim kašikovanjem prije zacjevljenja.

S druge strane tada dobivena vrijednost ne može se također smatrati kao mjerodavna niti se pak može procjeniti, jer se ne zna u kojoj mjeri je povećanje posljedica dolaska morske vode.

Kod računanja prosječnog pritoka uzeta je, u obzir i količina vode, koja se nalazi u bušotini, tako da se od izkašikovane količine vode ona odbila i tako dobivena količina onda podijelila sa vremenom. Na taj način došla je u račun samo ona količina vode, koja je pritekla u bušotinu za vrijeme trajanja kašikovanja.

U koloni 6. dinamički nivo, unesena je prosječna vrijednost 70 m pošto se preko te dubine nije mogla isprazniti voda zbog velike duljine kašike.

Na kraju izračunat je srednji 10-dnevni prtok, koji se može smatrati kao realan za date uvjete i može poslužiti kao baza za dalja razmatranja.

Isti rezultat dobiva se opažanjem dizanja vodostaja između dva kašikovanja.

Tablica 2
Dizanje vodostaja na B—1 na dan 28. II. 51.

Vrijeme dizanja sati	t min	Početni nivo m	Zadnji nivo m	Stup vode m	q' lit.	q lit/m	Q m ³ dan
1	2	3	4	5	6	7	8
1235 — 1335	60	70	60	10	755	126	18
1335 — 16	145	60	48	12	905	62	9
16 — 17	60	48	41	7	457	76	11
17 — 18	60	41	32	9	465	77	11
18 — 19	60	32	27	5	258	43	6
1235 — 19	385	70	27	43	2840	74	11

U tablici 2. prikazano je takvo opažanje nakon šestog dana kašikovanja. Vidi se da je prtok u prvom satu gotovo dva puta veći nego kasnije. Prosječna pak vrijednost za 6,5 sati opažanja daje isti rezultat, koji se dobio kašikovanjem. Kako je dizanje vode u bušotini realnija slika pritoka time je potvrđena i relativna točnost rezultata dobivenih kašikovanjem tako, da se u daljnjem prosuđivanju kapa-

citeta možemo uvijek dovoljno točno osloniti na rezultate dobivene ovom metodom ispitivanja. Uzrok međutim nejednakog dizanja vode nije potpuno razjašnjen što predstavlja predmet posebnog proučavanja.

Nakon cementacije dna bušotine, iz razloga koji su već naprijed navedeni, ponovno je izvršeno kašikovanje. Rezultati su pokazali još slabiju izdašnost i time je oborena pretpostavka o gubitku dijela vode u dubljim slojevima, a ponovnim cementiranjem spriječen je još više prtok iz postojećeg horizonta.

Za jedan sat izkašikovano je do dna bušotine (68,5 m) cca 3,5 m³ vode, dok je opažanjem dizanja vode dobiven prtok od 6,5 m³/dan. Za vrijeme od 260 minuta dignuo se vodostaj za 15 m.

Nešto precizniji rezultati dobiveni su nakon montiranja dubinske crpke. Međutim, detaljno mjerenje dizanja vodostaja nije se moglo ni tu postići, jer se prekidom crpljenja trenutno izjednači nivo vode u cijevima crpke i u bušotini, a to znači, pošto je kubatura cijevi crpke 0,47 m³, naglo dizanje stupa vode u bunaru na cca $470 : 75,5 = 6,0$ m.

Obzirom na jaki kapacitet crpke iscrpljena je voda do dna crpke za 5—6 minuta. Dizanje vode opažano je u razmacima od 15 min. Izuzev početni prirast, vodostaj se dizao prilično pravilno i to cca 1 m/15 min, što znači okruglo 5 lit/min ili 0,08 lit/sek ili 7200 lit/dan.

Ova ravnomjernost u porastu vodostaja izražena je jače za prva 4 sata opažanja, dok je kasnije dizanje sve sporije.

Postizavanje statičkog nivoa traje znatno preko 24 sata. Prije početka crpljenja iznosio je statički nivo 2,2 m. Crpljenje je vršeno tokom 3 dana na razne načine (u početku sa dugim razmacima između dva crpljenja, a kasnije sa sve kraćim razmacima za vrijeme kojih se

Tablica 3

Ispitivanje kapaciteta B—1 kašikovanjem za dubine od 151—190 m.

Datum	Dubina m	t min	q' lit.	Stat. nivo m	Dinam. nivo m	Kubatura bušotine lit.	Pritok q'—v lit.	q lit/m	Q m ³ dan
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1951									
17. VII.	151	240	11500	2	151	6950	4550	19	28
18/19. VII.	163	900	38000	2	162	7350	30650	30	43
22/23. VII.	173	1230	51200	2	160	7300	43900	36	52
24/25. VII.	183	1380	74200	6	160	7100	67100	49	70
27/28. VII.	183	1440	63200	3	140	6500	56700	39	57
29. VII.	183	420	21600	6	150	6700	14900	35	51
30. VII.	190	180	10800	6	150	6700	4100	23	34
31. VII.	190	1440	60000	6	120	5500	54500	38	55

opažalo dizanje) no nije se moglo ustanoviti da bi kapacitet bušotine bio veći od 10 m^3 na dan niti automatskim crpljenjem.

U tablici 3. prikazani su rezultati kašikovanja prilikom produbljivanja B-1. Kako je naprijed već spomenuto ovo produbljivanje je uslijedilo nakon otvaranja drugog horizonta na 150 m i trećeg na 250 m na B-2. Udara u oči veoma dubok dinamički nivo čemu se može eventualno pripisati i slabiji prtok (duža manipulacija kašikom). Slabi rezultati u odnosu na B-2 uvjetovali su i stalno produbljivanje bušotine sve do 190 m. Ovdje ne treba zaboraviti i utjecaj slobodnog prvog horizonta tako da vrijednosti dnevnog pritoka treba gledati umanjene za cca 10 m^3 na dan.

Osjetljiv pad dnevnog pritoka nakon 183 m teško je realno objasniti. Dali se dio vode gubi zbog eventualnog probijanja nepropusnog sloja ili je gubitak samo posljedica usporenog i nevještog manipuliranja kašikom ostaje za sada otvoreno pitanje. Jasno je, međutim da se minimum postignut predzadnjeg dana opažanja ima pripisati slučaju, odnosno nepredviđenom zastoju u radu kašikom.

Pri bušenju B-2 prvi priliv vode opažen je na 51 m. Bušenje je obustavljeno na 62,5 m. Pokusnim kašikovanjem iscrpljena je voda do dna za 1 sat. Opažanjem dizanja vode izračunat je prtok od cca 10 m^3 na dan.

Ponovno je kašikovano u dubini od 66 m sa boljim uspjehom. Kapacitet je proračunat na 20 m^3 na dan. Rezultati kašikovanja na ovom horizontu važni su samo radi usporedbe sa kapacitetom B-1.

Tablica 4

Ispitivanje kapaciteta B—2 kašikovanjem. Dubina bušotine 164,25 m.

Datum	Kašikovano od — do sati	t min	q' lit.	Stat. nivo m	Dinam. nivo m	Kubatura bušotine lit.	Pritok q'—v lit.	q lit/m	Q m ³ dan
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1951									
31. V.	10 — 12 ³⁵	155	6300	10	50	1500	4800	31	43
1. VI.	16 — 19	180	9000	(10)	42	1220	7780	43	62
2. VI.	7 ³⁰ — 13	330	12300	(10)	35	950	11350	34	50
7. VI.	15 ¹⁵ —	—	—	1	—	—	—	—	—
8. VI.	— 15 ¹⁵	1440	77800	—	48	1900	75900	52 ⁵	75
13. VI.	7 ³⁰ — 8 ³⁰	60	5500	2	30	1170	4330	72	104
14. VI.	8 ¹⁰ — 10 ¹⁰	120	7700	2	31	1200	6500	54	84

U tablici 4. prikazani su rezultati za dubinu 164 m. Drugi horizont vode otvoren je na 155 m. Priliv se opažao sve do dubine 164,25 m, kada se je prišlo kašikovanju.

Značajan je plitak dinamički nivo i razmjerno veliki dnevni prиток. Za 24 sata neprekidnog kašikovanja postignuto je $75 \text{ m}^3/\text{dan}$ dok je maksimum postignut dan kasnije. To je ujedno i najveći postignuti broj kašika u jednom satu. Ma da je rezultat postignut kašikovanjem za svega jedan sat, obzirom na povoljni dinamički nivo, može poslužiti za procjenjivanje konačnog rezultata.

I ovdje razumljivo treba uzeti u obzir utjecaj prvog horizonta.

Između kašikovanja opaženo je dizanje vode kroz jedan sat nakon prestanka kašikovanja, pa se izračunati dnevni prиток kreće od $30\text{--}50 \text{ m}^3/\text{dan}$. Dalje opažanje ne bi dalo realnu sliku, pošto se veliki dio vode gubi kroz stijenke bušotine, koja nije zacjevljena čemu treba i pripisati cca 50% manje vrijednosti prитока od rezultata izračunatih kašikovanjem.

Tablica 5

Ispitivanje kapaciteta B—2 kašikovanjem Dubina bušotine 251,16 m.

Datum	t min	q' lit.	Stat. nivo m	Dinam. nivo m	Kubatura bušotine lit.	Pritok q'—v lit.	q lit/m	Q $\frac{\text{m}^3}{\text{dan}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1951								
14. VII.	120	4500	—	50	1100	3400	28	40
—	720	24200	—	50	1100	23100	32	46
15. VII.	630	20000	—	50	1100	18900	30	43
17. VII.	900	16000	—	85	1900	14100	16	22
18. VII.	960	23900	—	88	2000	21900	22	31
19. VII.	960	25900	—	70	1600	24300	25	36
20. VII.	960	16500	—	75	1700	14800	15	21
21. VII.	960	32100	—	80	1800	30300	32	46
22. VII.	960	23500	—	65	1500	22000	23	33

Zacjevljenjem i cementiranjem izolirana su obadva prva horizonta, pa je u nastavku bušenja na 251 m otvoren treći pozitivni arteški horizont. Piezometarski nivo nije mjeren, ali se može procjeniti na cca 1,5 m iznad razine tla ili cca 4,5 m nad morem.

U tablici 5. prikazani su rezultati kašikovanja ovog horizonta. Dobiveni rezultati prilično su nepouzdana jer je tehnika manipulacije znatno otežana uskim profilom zacjevljenja i relativno dubokim dinamičkim nivoom. Realni rezultati dobit će se tek crpljenjem sa prikladnom dubinskom crpkom. Može se međutim već unaprijed reći, da kapacitet neće biti manji od maksimalnog kod kašikovanja t. j.

Tablica 6

Ispitivanje kapaciteta B—3 kašikovanjem za dubine od 65,5 do 179,89 m.

Datum	Dubina m	Kašikovano od — do sati	t min	q' lit.	Stat. nivo m	Dinam. nivo m	Kubatura bušotine lit.	Pritok q' — v lit.	q lit/m	Q m ³ dan
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11
1951										
18. X.	65,5	9 ³⁰ — 10 ³⁰	60	2300	6	56	1930	370	6	9
22. X.	121,6	8 ⁴⁵ — 11 ⁴⁵	180	7200	8	112	3970	3230	18	26
22. X.	121,6	15 — 17 ³⁰	150	5000	32	112	3040	1960	13	19
26. X.	165,1	14 ³⁰ —	—	—	6	—	—	—	—	—
27. X.	165,1	— 14 ³⁰	1440	53700	—	80	2850	50850	35	51
29. X.	165,1	8 —	—	—	10	—	—	—	—	—
30. X.	165,1	— 8	1440	62300	—	75	2490	59810	42	60
1. XI.	179,4	7 — 13	360	20500	4,5	80	2900	17600	49	70
2. XI.	179,4	7 — 13	360	20200	7	85	2990	17210	48	69
3. XI.	179,4	9 — 15	360	20200	8	85	2950	17250	48	69
4. XI.	179,4	9 ³⁰ — 15 ³⁰	360	18500	8,5	85	2930	15570	43	62
5. XI.	179,4	8 ³⁰ — 13 ³⁰	300	10500	8,5	78	2660	7840	26	37
7. XI.	179,4	8 — 20	720	33000	8	80	2760	30240	42	60
8. XI.	179,4	15 —	—	—	8,7	—	—	—	—	—
9. XI.	179,4	— 7	960	38600	—	82	2800	35800	37	54

48 m³/dan, a veoma je vjerojatno, da će biti mnogo veći uz, logično, još dublje spuštanje dinamičkog nivoa.

Normalni kapacitet prelijevanjem nije mjereno.

U tablici 6. pregledno su prikazani rezultati kašikovanja na raznim dubinama B-3. Uz prijašnje napomene kod tumačenja profila i toka bušenja, vidi se, da i po dubini i po kapacitetu horizonti odgo-varaju do sada utvrđenima.

Karakterističan je dubok dinamički nivo, a ujednačenost rezultata u sredini tablice govori u prilog relativnoj pouzdanosti rezultata dnevnog pritoka.

Rezultati kašikovanja na B-4 nisu unešeni tabelarno jer i mjerenja nisu bila redovita. Slika o kapacitetu prvog horizonta, koja međutim ne mora biti realna, dobila se već ranije kod tumačenja profila.

ANALIZA VODE

Kemijski je voda istražena samo na salinitet i tvrdoću radi brže usporedbe novo otvorenog horizonta sa već otvorenim horizontima, a osobito zbog procjenjivanja eventualnog mješanja sa morskom vodom.

Tako imamo, za prvi horizont na B-1 tvrdoću 16,52 u njemačkim stupnjevima i salinitet 225 mg Cl' na lit. vode. Temperatura nije mjerena. Voda je bez boje ugodnog i osvježujućeg okusa.

Na B-2 za drugi horizont imamo tvrdoću 14,56°, a salinitet 140,1 mg/lit Cl'. Voda je nešto toplija, ali veoma ugodnog okusa.

Ovdje treba napomenuti da je uzorak vode uzet iz nezacjevljene bušotine sa dna, dok je u isto vrijeme uzet uzorak i sa vrha i pokazao tvrdoću 53,76°, a salinitet 1673mg/lit Cl', što upućuje na more, koje se procjeđivalo u prvih 10 metara bušotine kako je već ranije objašnjeno.

Treći — arteški horizont na B-2 ima tvrdoću 11,48°, a salinitet 119,27 mg/lit Cl'. Voda je ugodna i svježija bez boje.

Na B-3 analiziran je drugi horizont sa ovim rezultatom: Tvrdoća 14,56°, salinitet 278,2 mg/lit Cl'. Veći salinitet u odnosu sa B-2 upućuje na uticaj mora obzirom na preplitko zacjevljenje o čemu je već bilo riječi.

U početku kašikovanja na B-4 uzorak vode sa 25 m dubine pokazao je tvrdoću 17,08°, a salinitet 1509,5 mg/lit Cl'.

I iz ovako manjkavog broja analiza uočljivo je, da se dubinom opada i tvrdoća i salinitet vode.

ZAKLJUČAK:

Ako se sumiraju svi elementi, koji su poslužili u proučavanju režima dubokih podzemnih voda na arealu, koji je predmet istraživanja, možemo, unatoč relativno malog broja bušotina, nesavršenosti metoda ispitivanja kapaciteta, unatoč manjkavih analiza uzoraka vode, doći do jedinstvenog zaključka, uzev pri tome u obzir i rezultate geofizičkih snimanja terena na otocima i na kopnu kao i geološku građu terena.

Raspored i međusobna udaljenost bušotina na cca 1 km² površine, velika pravilnost u otvaranju horizonata podzemne vode po dubini, ujednačeni kapacitet pojedinih horizonata na svim bušotinama, kvalitet vode kao tehnički elementi predmeta ispitivanja, dozvoljavaju tvrdnju, da se u dubinama brionskih otoka kao užeg područja ispitivanja, a prema tome i u dubinama kredne ploče južne i zapadne Istre, koja kako smo već u početku naglasili čini cjelinu u morfološkom i stratigrafskom smislu sa otocima, postoje tri cjelovita kontinuirana vodna horizonta (Groundwater level, Karstwasser-niveau) i to, uzevši okrugle vrijednosti na 50, 150 i 250 m ispod morske površine.

Ova tvrdnja je u skladu sa rezultatima geoelektričnih mjerenja i ispitivanja, kako na otocima (u području na kome je vršeno i bušenje); tako i na susjednom istarskom kopnu. Drugim riječima bušenjem uz ostale tehničke elemente ispitivanja potvrđena je realnost geofizičke interpretacijeograma prividnog specifičnog otpora, kojom metodom su geoelektrična mjerenja vršena, a gdje su minimumi na diagramu tumačeni kao vjerojatno prisustvo vode.

U pogledu geološke građe terena već je napred rečeno, da u vapnenoj seriji naslaga cenomana ima neprekinutih dolomitičnih i dolomitnih umetaka, kao i laporovitih vapnenaca, koji svojom kompaktnošću i jedrinom mogu činiti vodonepropusni sloj, a koji je najvažniji element za stvaranje horizonta podzemne vode.

Ako se postavi ova tvrdnja u svijetlo dosadašnjih i sadašnjih teorija i postavki o krškoj vodi (Karstwasser) između KATZEROVE teorije krškog korita (Karstgerinne) koju je usvojila većina hidrogeologa, kao KEILHACK, KNEBEL i dr. i između GRUNDOVE hipoteze o nivou (horizontu) podzemne vode u kršu (Karstwasserniveau), koju više ili manje usvajaju PENCK, ČVLJIĆ, KREBS, ŁOZIŃSKI i dr., a koja također nije posve originalna (PILAR, MARTEL) vidi se, da ova tvrdnja u neku ruku ide u prilog Grundovoj hipotezi.

Time se ne želi reći, da je ovom tvrdnjom usvojena GRUNDOVA hipoteza u potpunosti.

Sa svoje strane smatram, da se rezultati ispitivanja sa gornjim zaključkom najviše približuju ŁOZIŃSKIJEVOJ pretpostavci, t. j. pretpostavci o postojanju samostalnih režima podzemne vode u svakom većem krškom području uslijed toga, što u vapnenoj seriji postoje zone jako raspucane i propusne za vodu kao i zone manje raspucanosti, koje su nepropusne.

Uopćavanje tvrdnje o postojanju cijelovitog neprekinutog horizonta podzemne vode za čitav naš krš nije na mjestu, nego se u najboljem slučaju može ograničiti na zapadnu i jugozapadnu Istru sa njezinim otočjem. Slivno područje ovih horizonata vjerojatno je zaleđe i fliš centralne Istre.

U kojoj mjeri se postojanje dubokih podzemnih horizonata može pripisati i ostalim dijelovima naše obale predmet je drugih istraživanja.

LITERATURA

1. GRUND Dr. A.: Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges. Geograf. Abhandlungen IX/3 dr. Penck, 1910 Berlin.
2. GRUND Dr. A.: Die Karsthydrographie, Studien aus West Bosnien Geograf. Abd. VII/3 1903 Leipzig.
3. KATZER Dr. F.: Karst und Karsthydrographie, Sarajevo 1909.
4. KEILHACK D. K.: Lehrbuch der Grundwasser und Quellenkunde, III. Aufl. 1935. Berlin.
5. LOZINSKI: Die Karsterscheinungen in Galizisch Podolien. Jahrb. d. geolog. Reichsanst 1907.
6. MARTEL A.: Les Abîmes. Paris 1894.
7. STACHE G.: Die Liburnische Stufe. Abh. der k. k. geolog. Reichsanst B. XIII. Wien 1889.
8. PIAZ Prof. G.: Carta geologica delle tre Venezie 1934.
9. PRINZ D.: Handbuch der Hydrologie. Berlin 1923.
10. CVIJIC: Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. Grenoble 1918.

TAPPING THE WATER HORIZONS ON THE ISLANDS
OF BRIONI AND EXAMINATION OF THEIR DISCHARGING

by Roman Sarnavka jr.

It is pointed out in the introduction that there are some contradictions referring to the underground water-reserves in the Karst of Yougoslavia.

Generally it is known that the Adriatic Karst on the one side is waterless and desolate as a whole and on the other hand it is intertangled by numerous rivers and underground courses. Also a large quantity of rainfall sinks into the limestone rocks and percolates into greater depths quickly. There it fills some unknown underground reservoirs or reaches the sea coast. So the main problem of water supply would be how to exploit the existing underground waters by technical methods.

In order to explore the underground waters in the greater depths of the Karst it is started with the drilling of deep boreholes on the Brioni islands on the North of Adriatic.

After a shorter geological introduction and display about geoelectric surveyings which preceded the drillings, the methods of drilling and the characteristics of four performed bore-holes are described in details.

Further are given tabular results of withdrawing by the bucket which served to calculate the productivity.

The water analyses are only referred to its total hardness and the content of the chlorine.

Summing up all the elements which have taken part in this exploration of underground waters it is drawn the conclusion as follows.

The arrangement and the distance from one bore-hole to the other on the surface of about 1 sqkm, the great regularity of tapping of the underground water horizons regarding to the depth, almost regularized capacity of each horizon of all the bore-holes and the quality of water — all those technical elements of the object of the exploration allow the assertion that in the depths of the Brioni islands and accordingly with that, also under the limestone layer in southern and western Istra are three integral and continuous water-horizons at 50, 150 and 250 m below the sea surface.

This assertion is in accordance with geoelectrical tests and can be explained geological by the existence of marlaceous and dolomitics intercalations in the cenomann limestone series that makes the main geological substance of the islands and the adjacent shore.

Among the existing theories of the underground water in the Karst between KATZER and his adherents on the one hand and GRUND with his followers on the other hand, the results of this above described borings speak well for the latter representative.

At the end it is stressed that the conclusion is most adequate to the ŁOZIŃSKY-s suppositions about the existence of independent conditions of underground water in each larger Karstcountry, for in the limestones there are zones with many fissures and cracks through which water pours down and there are also impervious zones.

Finally it is pointed out that these conclusions can be applied only on the area of southern and western Istra, but not up to now on the other Yougoslave Karst.