

JOŽICA SEDLAR

## GEOELEKTRIČNA ISPITIVANJA ZA NALAZ VODE U KRŠU NA OTOCIMA

Najveći je problem predjela krša voda, kojom oskudijevaju naselja od Istre preko Dalmacije, dijela Bosne i Crne Gore, a pogotovo otoci Jadrana. Stoga se počinje sa ispitivanjem za nalaz vode, i na jedno od tih ispitivanja ću se ovdje ukratko osvrnuti.

U godini 1952. Zavod za geofizička ispitivanja u Zagrebu izvršio je opsežna ispitivanja za nalaz vode na otoku Visu. Primjenjene su ove metode: geoelektrična, geomagnetska i elektromagnetska.

Ovdje iznosimo nekoliko problema, koji su bili postavljeni pred geoelektričnu ekipu i način njihova rješavanja. Uz navedenu literaturu poslužila sam se također tehničkim izvještajem prof. Baturića. (Arhiv »Geofizike« br. 8, Zagreb 1952.)

### Uvod

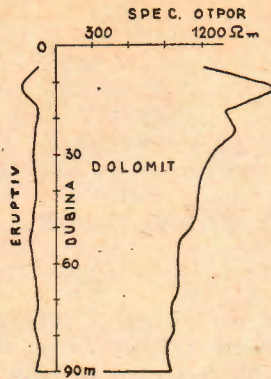
Uzev općenito, geoelektričnih metoda ima više vrsta već prema načinu ispitivanja i vrstama aparature, te stijenama koje dolaze u obzir za ispitivanje. Na otoku Visu primjenjena je metoda specifičnog otpora slična Wenner-Schlumbergerovoj. Dubina ispitivanja kretala se do 90 m, a na nekim mjestima i do 180 m. Električni kontakt zbog izrazito suhog terena uspostavljali smo prije kiša zalijevanjem elektroda morskom vodom.

Geoelektrično ispitivanje ograničilo se na uvalu Komiže i na polja u unutrašnjosti otoka, te na dolinu od Visa ispod Banderice prema sv. Mihovilu.

## REZULTATI ISPITIVANJA

### Uvala Komiže

U uvali Komiže određena je granica između vodonepropusnih trijaskih naslaga (lapori, sadra) i eruptiva, te vodopropusnih krednih naslaga (dolomit, vapnenac). Također smo u dolomitu, iznad Gusarice, te na sjeveroistočnim padinama uvale naišli na eruptiv u pojavi niskog specifičnog otpora i otkrili njegove izdanke.

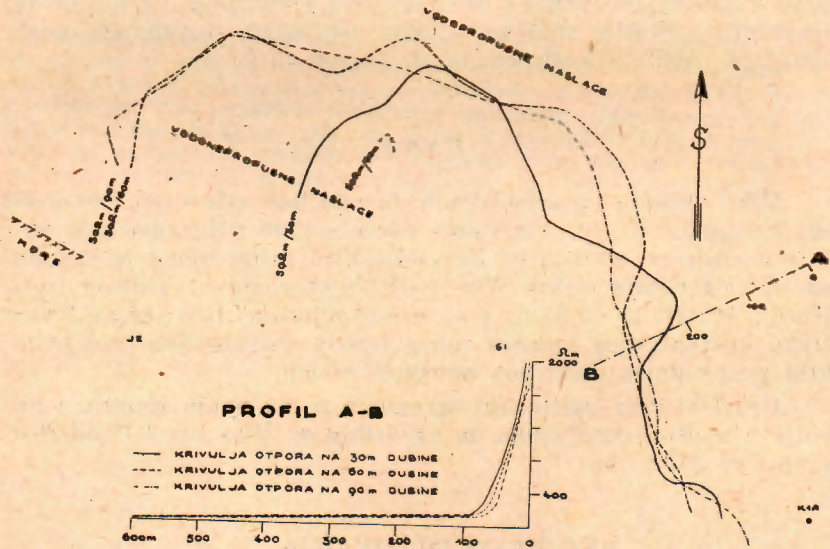


Sl. 1. Dijagram spec. otpora iznad Gusarice

U slici 1. vidi se karakterističan dijagram spec. otpora u blizini eruptiva iznad Gusarice. Relativno mali otpor u slici lijevo upućuje na eruptiv, a desno na dolomit. U okolnom dolomitu otpor je iznosio mnogostruko više — do  $7.000 \Omega m$ .

Slika 2 prikazuje crte minimalnog otpora u dubini do 30, 60 i 90 m. Minimalni otpor pokazuje se ovdje sa oko  $50 \Omega m$ . Ove crte možemo smatrati granicom vodopropusnih i vodonepropusnih naslaga. Iz njihova protezanja vidi se, da su srazmjerno blizu jedna drugoj, te da zadržavaju istu konturu sa mjestimičnim podudaranjem. Iz toga se izvodi zaključak, da su kontaktne plohe strme.

Profil A—B pokazuje pad otpora od sjeveroistoka prema jugozapadu tako, da se može povući granica između vodopropusnih i vodonepropusnih naslaga.



Sl. 2. Crte istog minimalnog spec. otpora u uvali Komiže na raznim dubinama sa profilom

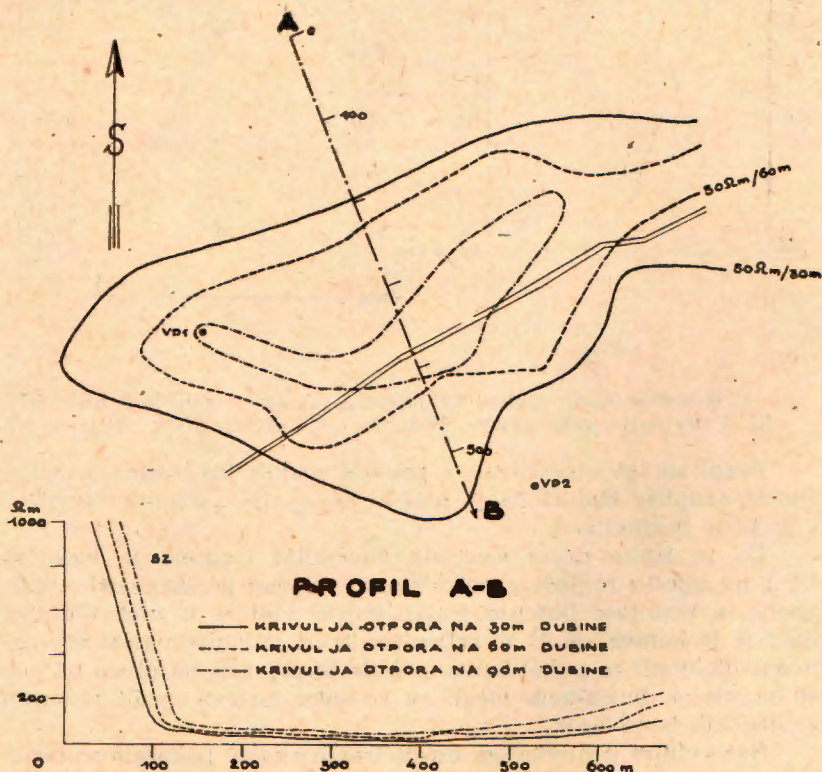
Locirana je bušotina u dolomitu (K 1 A) u kojem se pretpostavljao pukotinski bazen ispunjen vodom, iza vodonepropusne brane koju čine naslage trijasa i eruptiva. Prvo je bušenje do 70 m radi nedovoljne dubine bušotine pokazalo negativne rezultate. Unatoč

tome se je, baš na bazi ovog zaključka, tražilo da se bušotina ponovo produbi. Njezinim produbljenjem do 75,5 m naišlo se na vodu, koja do sada zadržava nivo do 63,6 m.

### Velo polje

U unutrašnjosti otoka na koti od prosječno 120 m nalazi se Velo polje, pružanja sjeveroistok-jugozapad, prekriveno diluvijalnim nanosom na kojemu raste vinova loza. Od prilike na sredini polja otkriven je na površini dolomit (vapnenac). Prvobitna pretpostavka za ovo polje bila je, da se ispod tankog pokrova diluvijalnog nanosa nalazi dolomit.

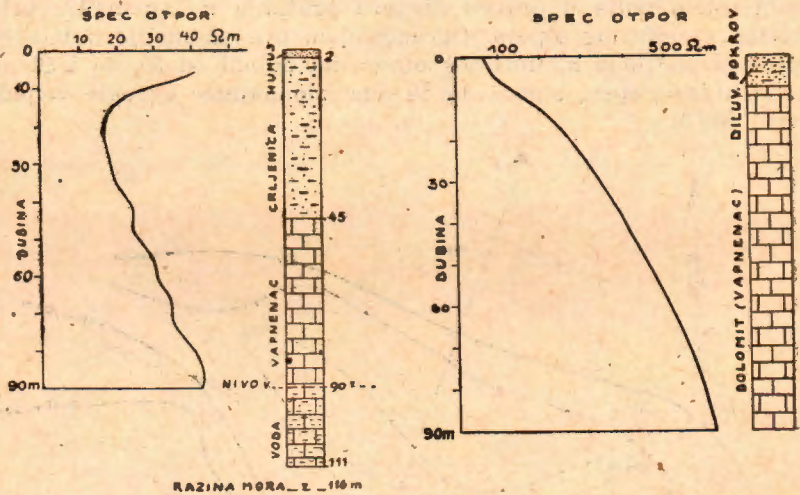
Informativnim geoelektričnim profilima naišlo se na sjevernom dijelu polja u pravcu njegova pružanja na anomaliju vrlo niskog specifičnog otpora. Ograničenjem ove anomalije dobila se kontura područja minimalnog otpora na dubini od 30, 60 i 90 m. crtama istog spec. otpora do 50  $\Omega$ m kao najniže okrugle vrijednosti (sl. 3).



Sl. 3 — Dio područja geoelektrične anomalije na Velom polju u blizini bušotine VPI.

Iz profila A—B vide se odnosi otpora u pravcu sjever-jug. Od sjevera gdje je dolomit, otpor pada prema polju gdje je crljenica. Ovdje zauzima minimalne vrijednosti i ponovo raste prema južnom pobočju polja.

Rezultati geomagnetskih ispitivanja na tom području dali su analognu sliku pozitivne magnetske anomalije. Sada je nastalo pitanje, koji materijal je uzročnik tih anomalija, a da se ujedno zadovolji prvobitna pretpostavka o tankom pokrovu diluvijalnog nanosa ispod kojega dolazi dolomit bez vode. Potonje tumačenje nije se moglo u nijednom slučaju uskladiti sa dijagramom spec. otpora (sl. 4) koji je pokazivao izrazito niski otpor do dubine od 90 m sa malim porastom, dok bi se za pretpostavljeni slučaj (tanki pokrov diluvija) krivulja otpora izrazila kao što pokazuje slika 5.



Sl. 4. Krivulja spec. otpora na bušotini V<sub>1</sub> sa rezultatima bušenja  
Sl. 5. Krivulja spec. otpora kada bi dolomit bio blizu površine

Rezultate geoelektričnih i geomagnetskih ispitivanja zadovoljio bi eruptiv, budući da je njegov spec. otpor srazmjerno nizak i uz to je magnetičan.

Da se ispita pravi uzročnik anomalija locirana je bušotina VP 1 na mjestu najjače geoelektrične i ujedno geomagnetske indikacije, a rezultate bušenja jezgrovanjem vidi se u slici 4 desno: do 2 m je humus, do 45 m crljenica, ispod crljenice nalazi se vapnenac (dolomit) sa pukotinama, a voda se pojavila na nivou od oko 90 m. Ovom bušotinom mogli su se sada tarirati ostali rezultati geofizičkih ispitivanja.

Naknadnim ispitivanjem magnetskom vāgom pokazala se crljenica magnetičnom.

Naglo povećanje otpora u dijagramu na dubini od 45 m nije uslijedilo zbog toga što je vapnenac vrlo raspucan te ispunjen vo-

dom i crljenicom, koji su dobro vodivi tako da se rezultirajući otpor nije naglo povećao. Jače povećanje otpora nastupilo bi onda, kada bi vapnenac bio kompaktan, t. j. kada bi prelaz crljenica — vapnenac bio oštar.

Rezultati bušenja u bušotini VP 2 pokazuju analogne rezultate kao VP 1 samo što se dolomit i nivo vode nalaze bliže površini.

### Vis

Slično rješenje problema za nalaz vode pokazali su rezultati ispitivanja dolomita južno od Banderice, gdje je sjeverozapadno od Sv. Nikole, dakle srazmjerno daleko od mora predložena jedna bušotina, koja je bušena do 60 metara, a na 43. metru je došla voda.

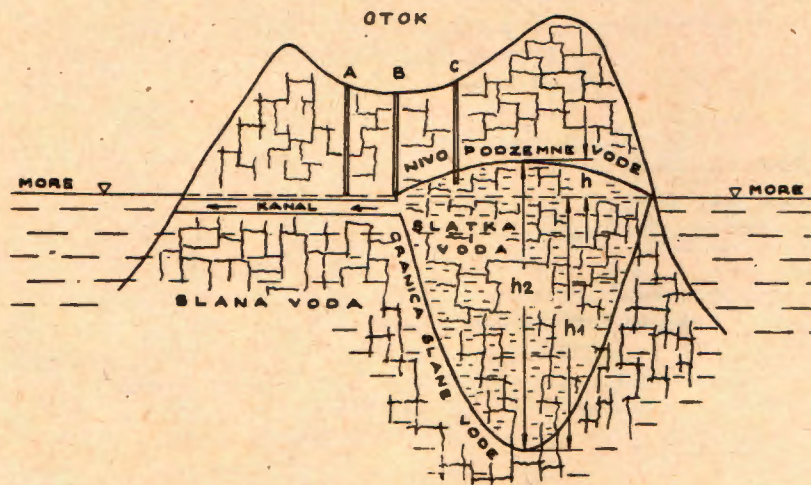
### O VODENIM HORIZONTIMA U KRŠU

Porast nivoa podzemne (slatke) vode po Wintgensu (1) prema unutrašnjosti pješčanog otoka može se objasniti na vrlo jednostavan način. Akumulirana podzemna voda ne može zbog sprog otjecanja odmah izjednačiti svoj nivo sa nivoom mora. Stoga njezin nivo raste, a ujedno se uspostavlja hidrostatska ravnoteža sa slanom vodom, koja preko sistema pukotina komunicira sa okolnim morem. Hidrostatska ravnoteža u svakoj točki postoji kada je zadovoljen uvjet (sl. 6).

$$h_1 \gamma_1 = h_2 \gamma_2$$

te iz toga

$$h_2 = h_1 \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad h = h_2 - h_1$$



Sl. 6. Granica slane vode sa i bez horizontalne veze slatke vode sa morem

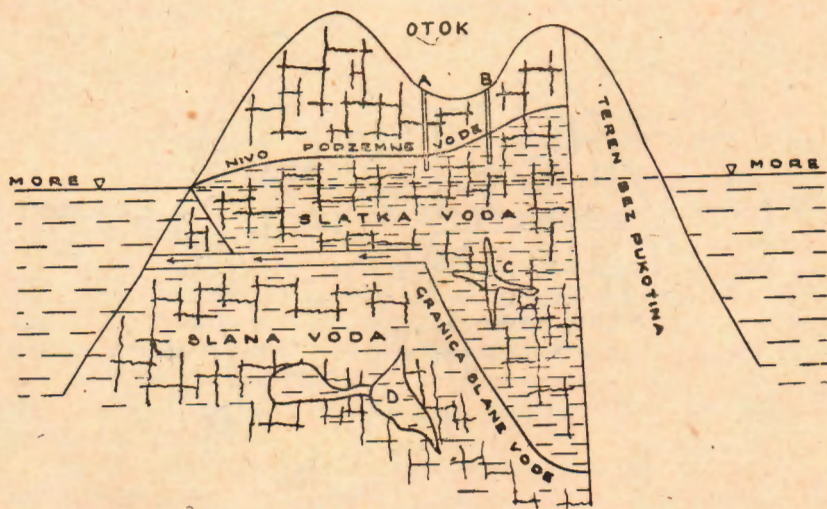
gdje  $\gamma_1$  označuje spec. težinu morske vode,  $\gamma_2$  specifičnu težinu slatke vode, a  $h$  je povišenje nivoa slatke vode iznad razine mora.

Slatka voda zbog nadpritiska potiskuje slanu vodu iz sistema podzemnih pukotina prema dolje tako da između njih nastaje granična ploha paraboličnog oblika. Ovo povišenje nivoa slatke vode potvrdio je prilikom ispitivanja u Nizozemskoj K. KEILHACK (2) i to na pješčanom otoku Norderney.

Gore navedeni princip nivoa podzemne vode ne može se direktno prihvatiti i u kršu nego sa stanovitim ograničenjima (1) Jednadžbe su teoretske i predstavljaju maksimalnu razliku nivoa. U praktičnim slučajevima u kršu treba ih uzimati sa ograničenjem zbog nepravilnih (širih) pukotina. Predpostavimo na pr., da se u unutrašnjosti otoka nalazi niz uskih vertikalnih i horizontalnih pukotina, povezanih većom pukotinom (kanalom) sa morem u blizini razine mora. Pojam horizontalne i vertikalne pukotine ne treba shvatiti doslovno, već one mogu biti i kose, a da ne mijenjaju mnogo izvedene zaključke, ako su gusto poredane. Tu će se stvoriti lokalno područje podzemne vode sa sniženim nivoom na početku kanala. Zbog oticanja slatke vode, ispod veće će pukotine biti slana, odnosno brakična voda.

Desna strana slike 6 prikazuje slučaj kada ne postoji veća horizontalna pukotinska veza u blizini mora. Ako sada bušimo u točki A i B naići ćemo na slanu vodu a u točki C na podzemnu vodu.

Ovdje je prikazan samo jedan slučaj horizontalne veze sa morem, a takvih i sličnih mogućih slučajeva ima više što zavisi o



Sl. 7. Razlika nivoa vode u bušotinama upozoruje na veću pukotinsku vezu sa morem i blizinu brane

posljedicama djelovanja tektonskih i kemijskih sila u kršu. Reljef ploha nivoa vode u podzemlju izražen slojnicama (hidroizohipse) izgledao bi od prilike kao reljef brežuljkastog terena. Stoga kod bušenja postoji velika opasnost da se pogodi na ona mjesta gdje je slojnica podzemne vode u blizini razine mora. Tako dolinom od Visa južno od Banderice ima bunara sa slanom i brakičnom vodom dosta daleko od mora. Ista se pojava primjećuje i u unutrašnjosti drugih nekih otoka na Jadranu.

Sada promotrimo slučaj kada horizontalni kanal leži dublje ispod razine mora, odnosno kada je njegov izlaz u more duboko ispod razine mora.

Iz slike 7 vidi se gornji nivo podzemne vode kao i granica slane vode. Predpostavimo li, da je desni dio terena bez pukotina, to će se nivo slatke vode na granici visoko uzdignuti, što će izazvati sniženje granice slane vode. Nivo vode u bušotini A biti će niži od nivoa vode u bušotini B.

Treba napomenuti da pukotine ne moraju biti jednolično uske već mogu imati uže i šire presjeke. Nepravilnost veličine presjeka izazivala bi mjestimična sniženja nivoa, a tamo gdje uopće nema pukotina uslijedio bi mjestimičan prekid nivoa slatke vode kao i granice slane vode.

Eventualne pukotine C i D (sl. 7) većeg presjeka koje se nalaze u području slatke vode ili samo u području slane vode, a okružene su sa uskim vertikalnim i horizontalnim pukotinama, ne mijenjaju bitno nivo podzemne vode kao ni granicu slane vode. Isto vrijedi i za protivan slučaj, t. j., kada se u području bilo samo slatke vode ili samo slane vode nalaze dijelovi terena bez pukotina. Povišenje nivoa slatke vode može se izazvati na pr. i pomoću umjetno podignute brane t. j. obzidavanjem priobalnih i podmorskih izvora prilikom njihova kaptiranja (3).

## ZAKLJUČAK

Općeniti zaključci, koji se za sada mogu izvesti u vezi ispitivanja za nalaz vode u kršu na otocima i u sličnim geološkim okolnostima kao što su na otoku Visu su slijedeći:

Voda se akumulira u pukotinskim bazenima i usporenom brzinom otiče u more. Nivo podzemne vode raste od obale prema unutrašnjosti otoka. Radi nalaza vode treba bušiti na najnižoj koti na onim mjestima, gdje je raspucanost vapnenca (dolomita) najveća, a dovoljno je udaljena od mora. Tada postoji najveća vjerojatnost da će se sa najmanjom dubinom bušotine pogoditi i naići na vodu. Postoji li vodonepropusna brana prema moru, bušiti se može i na manjoj udaljenosti od mora — neposredno iza brane.

L I T E R A T U R A

1. WINTGENS P.: Beitrag zu der Hydrologie von Nordholland, Diss. Freiberg 1911.
2. KEILACH K.: Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde III. Auf. Berlin 1935, Str. 135.
3. KUSCER I.: Kraški izviri ob morski obali. Diss., Ljubljana 1950. str. 137.

*Jožica Sedlar*

GEOELEKTRISCHE FORSCHUNGEN ZUR WASSERAUFFINDUNG  
IM KARSTE AUF DER INSEL VIS

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit werden die geoelektrischen Arbeiten zur Wasserauffindung auf der Insel Vis beschrieben. Es werden die Resultate der geoelektrischen und geomagnetischen Forschungen der Terra rossa verglichen. Dargelegt wird, dass sich in Komiža das Wasser im zersprungenen Dolomite mit einer aus triadischen Schichten gebildeten Wehr gegen das Meerwasser befindet, was auch eine Bohrung bestätigte. Unter Velo polje befindet sich ein Spaltbassin im Kalkstein (Dolomit) mit erhöhtem Grundwasserniveau. Es wird eine Grundregel abgeleitet, nach welcher das Grundwasserniveau gegen das Inselinnere sich hebt. Und wirklich fand man das Wasser beim Bohren auf der niedrigsten Kote der Insel, wo die Zerklüftung des Kalksteins (Dolomits) die grösste ist. Es wird auf die Fälle hingewiesen, bei welchen man statt des Süßwassers Meerwasser oder Brackwasser finden wird. Die spaltfreien Geländeteile sind zugleich eine Wasseruntergrundwehr, neben welcher das Grundwasserniveau erhöht ist, eine horizontale Spaltverbindung führt aber zu einer Erniedrigung des Grundwasserniveaus für das Trinkwasser.