

ISTRAŽIVANJE VODE U OBALNOM KRŠU METODOM DVOJNOG GRADIJENTNOG KARTIRANJA

Krešimir JELIĆ, Franjo ŠUMANOVAC i Mladen LUKAČEVIĆ

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU-41000 Zagreb

Ključne riječi: Istraživanje vode, Obalni krš, Gradijentno kartiranje

Dvojnim gradijentnim kartiranjem prividne električne otpornosti provedeno je istraživanje vode na nekoliko lokaliteta krškog obalnog pojasa Jadranskog primorja. Ovom metodom, kojom se prati odnos otpornosti po dubini uz konstantna električna strujna polja različitih dubinskih zahvata, dobivene su anomalije prividne otpornosti koje se mogu povezati s dubokim okrnjenim rasjednim zonama koje služe kao komunikacija vode iz obalnog zaleda s priobalnim izvorima i vruljama. Prednost je ove metode, u odnosu na uobičajene geoelektrične metode istraživanja vode u krškim terenima, što se električna polja drže konstantnim uz lateralno praćenje prividne otpornosti na nekom dubinskom intervalu, s čime se umanjuje utjecaj površinskih nehomogenosti te električno vodljivih infrastrukturnih objekata u urbanim sredinama na pravilnu interpretaciju izmjerenih anomalija. Posebnu poteškoću geoelektričnim istraživanjima na morskoj obali predstavlja more kao velika masa niske otpornosti koja »maskira« istraživane anomalije u dubini, a koje se ovom metodom ipak mogu prepoznati.

U radu je naveden primjer uspješnog istraživanja na obalnom području iznad Opatije gdje se godinama pokušava zahvatiti voda koja izvire na mnogim priobalnim izvorima i vruljama.

Key-words: Water exploration, Coastal karst, Gradient mapping

Water exploration at several localities of the Adriatic karst sea-shore band was carried out by the dual gradient mapping of apparent electrical resistivity. By this method controlling the resistivity relation with depth by constant electric stream fields of different depth actions, the anomalies were obtained with apparent resistivity which can be related to deep karst fault zones, used as communication of water from coast background with off-shore springs and submarine springs. The advantage of this method in comparison with the usual geoelectric exploration methods of water in karst is, that electric fields are kept constant by lateral control of the apparent resistivity at some depth interval, which decreases the impact of surface inhomogeneities and electrically visible infrastructural constructions in urban environment on the correct interpretation of measured anomalies. The sea water as a big mass with low resistivity represents a disadvantage for geoelectrical exploration on the sea shore, which masks the explored anomalies at depth. Although, this anomalies can be recognised by this method.

The report discusses the case of a successful exploration on the coastal area upwards of Opatija, where efforts have been made for many years to trap water flowing out of many off-shore and submarine springs.

Uvod

Standardnim geoelektričnim metodama, sondiranjem i profiliranjem, uspješno se istražuje voda u dobro uslojenom podzemlju, dok u krškim terenima, posebno u obalnom kršu ova istraživanja ne daju zadovoljavajuće rezultate. Poznato je da se voda u krškim područjima pojavljuje u pukotinskim sustavima rasjednih zona, kavernama i špiljama, čije su hidrogeološke zakonitosti vrlo složene i gotovo nepredvidive. Pojednostavljeno, problem istraživanja vode u kršu svodi se na traženje podzemnih tokova i komunikacija koje su najčešće vrlo malih dimenzija u odnosu na istražni prostor, a što smanjuje uspješnost istražnih metoda. Osim ovoga dodatne poteškoće istraživanju uzrokuju okrnjenja površine karbonatnih stijena s izrazito promjenjivom otpornosti koja može maskirati anomalije od dubljih uzročnika koji su predmet istraživanja. Krški tereni su najčešće prekriveni škrapama, uvalama i vrtačama ispunjenim crljenicom niske otpornosti u odnosu na matične karbonatne stijene s visokom otpornosti pa pomicanjem strujnih i potencijalnih elektroda preko takvih terena dobivamo nagle skokove na izmjerenim krivuljama sondiranja i profiliranja a što otežava ili čak onemogućava pravilnu interpretaciju. Ove su poteškoće manje kada se istraživanje provodi meto-

dom gradijentnog kartiranja, budući da su kod ove metode strujne elektrode postavljene na nekoj većoj udaljenosti a po terenu se pomiču samo potencijalne elektrode uz konstantno električno polje. Usporedbu istraživanja ležišta grafita raznim elektrodnim rasporedima i prednosti gradijentnog rasporeda u krškim terenima dali su Brass i dr. (1981).

Da bi smanjili utjecaj pomicanja i potencijalnih elektroda po površini krških terena izveli smo dva gradijentna kartiranja s različitim dubinskim zahvatima za svaku mjernu točku potencijalnih elektroda uz računanje relativne promjene otpornosti po dubini. Na ovaj način dobili smo bolje rezultate a metodu smo nazvali dvojno gradijentno kartiranje.

Metoda je uspješno primijenjena na nekoliko krških terena, a posebno se uspješno može primijeniti u istraživanju vode u obalnom pojasu.

Princip mjerenja

U gradijentnom kartiranju strujne elektrode A i B smještene su na velikoj udaljenosti i tokom mjerenja se ne pomiču. Ovim elektrodama proizvodi se homogeno električno polje, ili bolje rečeno kvazi-homogeno, u sredini profila AB. Gradijent potencijala mjeri se pomoću potencijalnih elektroda M i N, koje se pomiču po profilima paralelnim sa spojnicom

strujnih elektroda, i to unutar srednje trećine njihovog međusobnog razmaka. Prividna otpornost se računa po formuli:

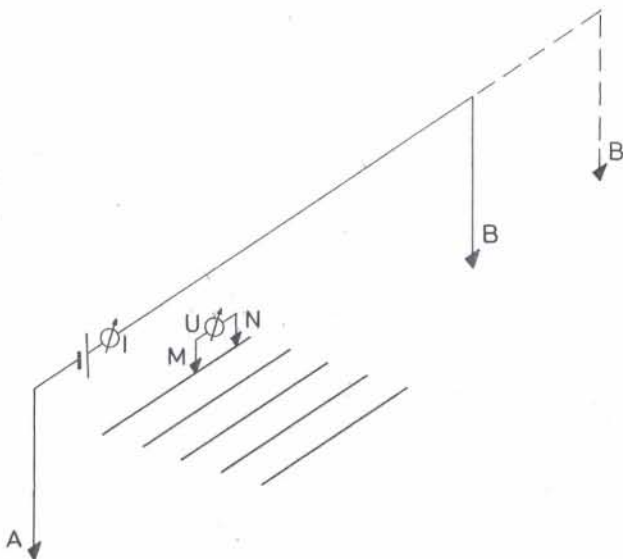
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

gdje su I jakost struje, ΔV gradijent potencijala mjeren na elektrodama MN, dok je K konstanta i ovisi o geometrijskom rasporedu elektroda i izražava se kao

$$K = 2\pi / \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} + \frac{1}{r_{BN}} - \frac{1}{r_{AN}} \right),$$

Rocroi i Koulikov (1985) su i za istraživanje nafte primijenili metodu gradijentnog kartiranja, a da bi povećali dubinu prodiranja i poboljšali moć razlučivanja kao strujne elektrode koriste zaštitne kolone u bušotinama.

Za istraživanje vode u obalnom kršu koristili smo metodu dvojnog gradijentnog kartiranja uz uvođenje treće strujne elektrode B' (slika 1). Ovdje se mjere dva gradijenta potencijala na istoj točki, tako da se formira električno polje prvo preko elektroda A i B, a zatim preko elektroda A i B'. Budući da je razmak AB' veći u tom slučaju imamo i veći dubinski zahvat.



Slika 1. Mjerenje metodom dvojnog gradijentnog kartiranja
Figure 1. Measurement by the method of dual gradient mapping

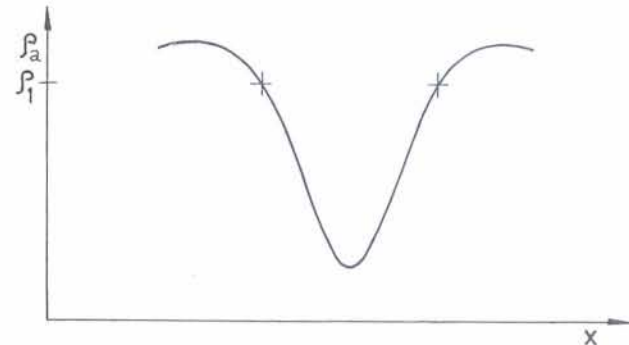
Računanjem odnosa prividnih otpornosti za dva različita dubinska zahvata, dobivamo sniženje ili povećanje otpornosti s dubinom, na temelju čega zaključujemo o mogućnosti postojanja vodenih tokova ili raspućalih zona s vodom u podzemlju.

Sličnu metodu, s dvojnim dubinskim zahvatom i korištenjem kvocijenta prividnih otpornosti, koristili su Borkov i Konsina (1970), ali za druge rasporede elektroda i za istraživanje sirovina za građevinske materijale.

Teoretske osnove

Kod gradijentnog kartiranja vodljivo tijelo (tijelo niže otpornosti u odnosu na okolinu) uzrokuje anomaliju s jednim izrazitim minimumom i dva mala

maksimuma, što je prikazano na slici 2. S pretpostavkom da je poluprostor homogen njegova je otpornost ρ_1 . Na točkama na velikoj udaljenosti od vodljivog tijela (uzroka anomalije) otpornost ρ_1 jednaka je prividnoj otpornosti ρ_a .



Slika 2. Prividna otpornost gradijentnog kartiranja u homogenom električnom polju preko vodljivog tijela (Schulz, 1985).

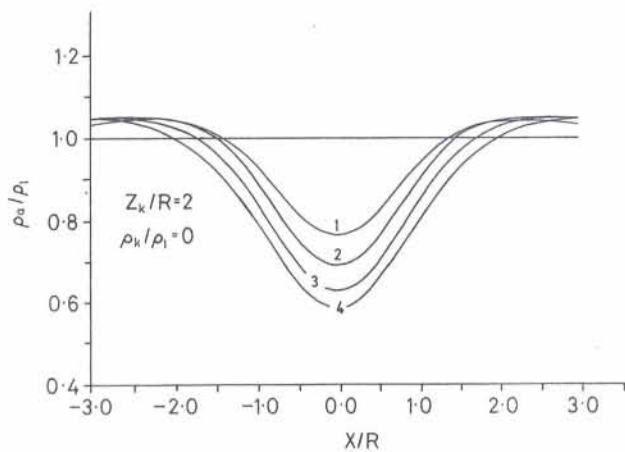
Figure 2. Apparent resistivity curve for a gradient measurement in a homogeneous electrical field over a conducting body (Schulz, 1985).

U krškim područjima generalno imamo sličnu situaciju kao u prethodnom teoretskom primjeru. Naime, u karbonatnim stijenama visoke otpornosti voda dolazi u pukotinskim sustavima i kavernama, te stvara nepravilna tijela znatno snižene otpornosti (vodljiva tijela). Istu pojavu imamo ako su pukotinski sustavi i rasjedne zone ispunjene glinovitim materijalom.

Prema istraživanjima Schulz-a (1985) oblik tijela nema veliki utjecaj na izgled anomalije kod gradijentnog kartiranja otpornosti. Na slici 3 su prikazane teoretske krivulje za tijela u kvazihomogenom električnom polju, koja imaju istu dubinu centra i pružaju se okomito na elektrodi raspored. Osim toga ekvivalencija je sve izraženija s povećanjem dubine, što znači da različita tijela proizvode iste anomalije. Zato na većoj dubini značajniju ulogu ima veličina tijela, dok njegov oblik nema veliki utjecaj na izgled anomalije. Budući da je krivulja za izduženi paralelopiped vrlo slična krivulji za beskonačno izduženi valjak, izdužena trodimenzionalna tijela možemo tretirati kao i dvodimenzionalna.

Poznato je da površinski vodljivi sloj može ponekad sasvim prikriti djelovanje vodljivog tijela u sredini povećane otpornosti. U krškim terenima taj površinski vodljivi materijal (zemlja crljenica) je vrlo neravnomjerno raspoređen, jer dolazi u škrapama i vrtačama što dodatno otežava mjerenje i interpretaciju. Naime površinske nehomogenosti uzrokuju i nagle skokove vrijednosti (lomove izmjerenih krivulja) prilikom prelaska potencijalnih elektroda preko takvih mjesta. Mjerenja se često izvode u blizini mora, koje kao velika masa visoke vodljivosti prikriva djelovanje istraživanih objekata u dubini. Osim toga često se nailazi na infrastrukturne objekte koji proizvode dodatne smetnje kod mjerenja. Osobito velike probleme mogu stvoriti uzemljeni dalekovi.

Sve to može djelovati tako da je izmjerene podatke teško pouzdano interpretirati i donositi zaključke o građi pojedinog terena. Zbog toga je uvedeno mje-



Slika 3. Gradijentno kartiranje preko različitih vodljivih tijela (Schulz, 1985):

- 1 – kugla radijus $r = 1.00 R$
 - 2 – paralelepiped širina $b = 1.61 R$ dužina $l = 3.22 R$
 - 3 – paralelepiped širina $b = 1.61 R$ dužina $l = 12.90 R$
 - 4 – valjak radijus $r = 0.91 R$ dužina $l = \infty$
- Z_k – dubina centra tijela
 R – radijus kugle

Figure 3. Gradient measurement over different conducting bodies (Schulz, 1985):

- 1 – sphere – radius $r = 1.00 R$
 - 2 – parallelepiped width $b = 1.61 R$ length $l = 3.22 R$
 - 3 – parallelepiped width $b = 1.61 R$ length $l = 12.90 R$
 - 4 – cylinder radius $r = 0.91 R$ length $l = \infty$
- Z_k – depth of the center of the bodies
 R – radius of the sphere

renje gradijenata potencijala s dva dubinska zahvata na istoj točki i računanje odnosa otpornosti po dubini. Pretpostavka je da na istoj točki mjerenja djelovanje površinskih nehomogenosti i utjecaji sa strane, uz konstantna električna polja, imaju približno isti iznos bez obzira na dubinski zahvat. Dakle računanjem odnosa prividnih otpornosti ta djelovanja se u znatnoj mjeri odstranjuju, te se jače ističe djelovanje tijela u većim dubinama. Voda snižava otpornost svim stijenama u kojima se nalazi, a osobito visokootpornim karbonatnim stijenama, pa sniženje otpornosti po dubini može direktno ukazivati na podzemne vodene tokove i raspucane zone ispunjene vodom.

Izolnije sniženja prividnih otpornosti po dubini na krškim terenima koje smo istraživali (Koromačno, Opatija, Klana) jasno su ukazale na anomalije na kojima je bušenjem i drugim hidrogeološkim istraživanjima dokazano prisustvo vodonosnih zona i kaverni s vodom ili glinovitim materijalima. U ovom radu iznesen je primjer istraživanja vode na području Opatije.

Istraživanje vode na području Opatije

Geoelektrična istraživanja na području Opatije obavljena su u okviru hidrogeoloških istraživanja. Cilj istraživanja su bile zone sniženja prividnih otpornosti po dubini u karbonatnim stijenama zaleđa Opatije, koje bi mogle biti kolektori vode koja se pojavljuje na priobalnim izvorima i vruljama. Tokom sušnih perioda ovi izvori se zaslanjaju te su istraživanja usmjerena na obronke planine Učke, kako bi se odredile najpovoljnije lokacije istražnih bušotina

u svrhu zahvaćanja vode prije nego što dođe do miješanja slane i slatke vode neposredno uz morsku obalu.

Istražno područje je pokriveno Jelar naslagama (vapnenačke breče, gline i konglomerati) i donjokrednim uslojenim bituminoznim vapnencima i brečolikim vapnencima. Pretpostavljeno je da breče predstavljaju nepropusnu vodnu barijeru, te su istraživanja usmjerena na vapnence i kontakte vapnenaca i breča.

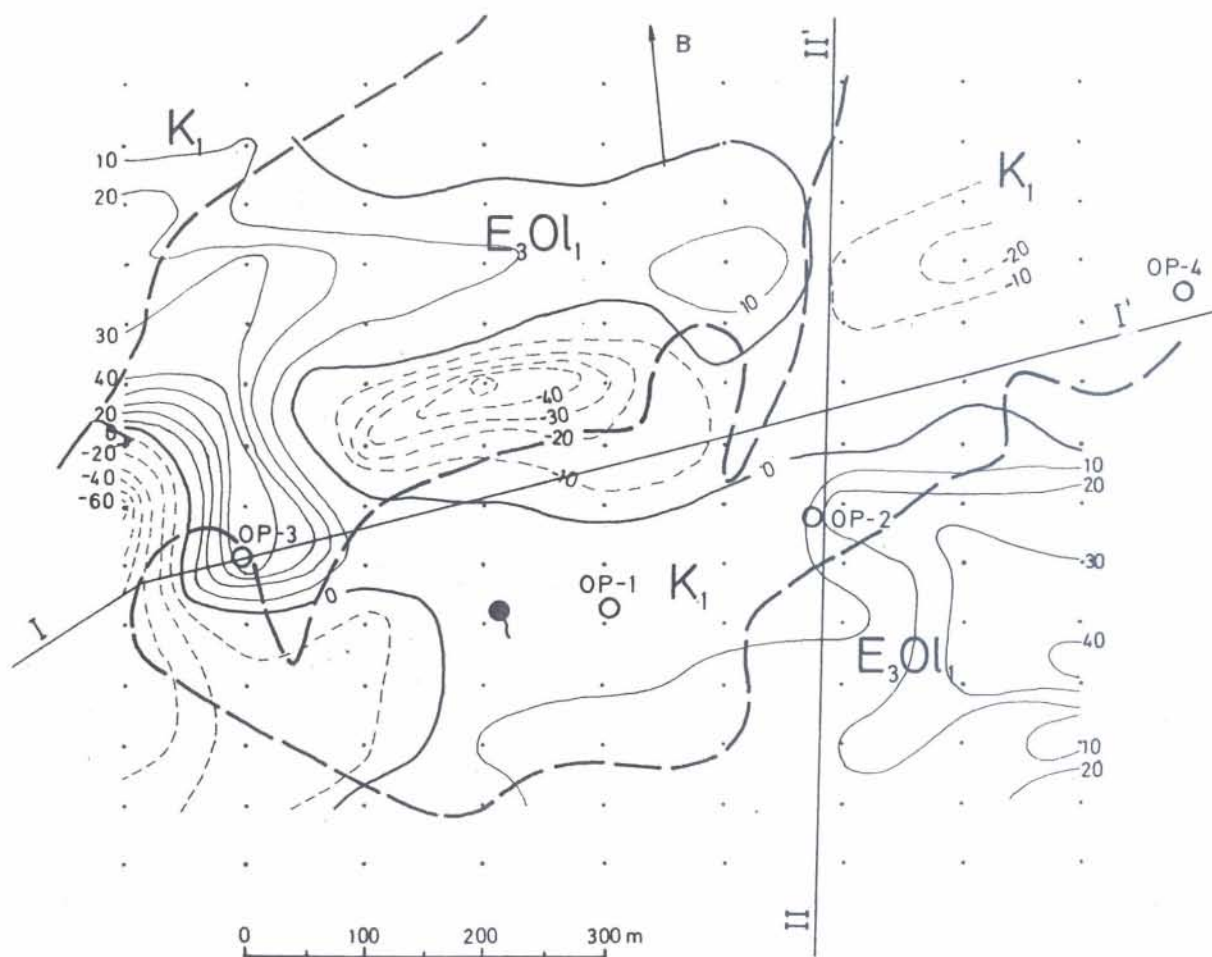
Konfiguracija terena je vrlo nepovoljna za istraživanje s obzirom da su obronci strmi, što dovodi do udaljavanja od istraživanog objekta. Dodatne poteškoće kod mjerenja i interpretacije proizvela su tri dalekovoda s uzemljenjima, koji prelaze preko istražnog prostora, te blizina Opatije i mora kao bočnog vodiča niske električne otpornosti. Zbog toga je odlučeno da se provede istraživanje dvojnim gradijentnim kartiranjem, te geoelektričnim sondiranjem kao pomoćnom metodom.

Dvojno gradijentno kartiranje napravljeno je pomoću tri strujne elektrode s udaljenošću AB od 1800m i AB' od 2200m. Zajednička strujna elektroda A smještena je u jedan priobalni izvor. Gradijenti potencijala su mjereni na profilima paralelnim sa spojnicom AB. Udaljenost potencijalnih elektroda (M i N) iznosila je 100m, a točke mjerenja su udaljene 50m. Na svakoj točki mjerenje je obavljeno uz višestruka ponavljanja, pa i unatoč tomu na nekim točkama mjerenja nisu uspjela zbog velikih i promjenjivih prirodnih potencijala. Za svaku točku mjerenja izračunata je prividna otpornost za plići (ρ_1) i dublji (ρ_2) zahvat, te je izračunata promjena prividne otpornosti po dubini u postocima prema odnosu $\rho_1/\rho_2 \cdot 100$.

Smanjenje prividne otpornosti po dubini uzeto je kao pozitivna anomalija, a povećanje kao negativna (slika 4). Crtkanim izolnijama predstavljene su negativne vrijednosti – povišenje prividnih otpornosti s dubinom – što bi se moglo interpretirati i kao vodnu barijeru. Zone sniženja otpornosti prikazane punim linijama mogu se interpretirati kao zone veće raspucalosti ili većih mogućnosti komunikacije vode.

Generalno pružanje izolnijama je u pravcu sjever–jug i dobro se korelira s površinskim geološkim kartiranjem. Barijera se pruža duž kontakta krednih vapnenaca i breča (Jelar naslage), s time da je presječena s dva pravca istok–zapad, od kojih se osobito ističe onaj u južnom dijelu, gdje su i najveći iznosi sniženja prividnih otpornosti. Osim toga u tom području većina točaka se nije mogla izmjeriti zbog izuzetno visokih i promjenjivih prirodnih potencijala, što također može ukazati na podzemne vodene tokove. Prema tome, područja pozitivnih anomalija su perspektivne zone, te su prema njima i locirane istražne bušotine.

Na karti prividne otpornosti gradijentnog profiliranja (slika 5) uočavaju se dvije glavne zone; zona niskih prividnih otpornosti u istočnom dijelu i zona visokih u zapadnom dijelu istraživanog područja, te manja zona visokih prividnih otpornosti u krajnjem južnom dijelu. Dakle osnovna je razlika u odnosu na kartu promjena prividnih otpornosti (slika 4) u položaju zone visoke otpornosti, koja se može inter-



LEGENDA:
LEGEND



K_1

KREDNI VAPNENCI
CRETACEOUS LIMESTONES

E_3O_{11}

JELAR NASLAGE
JELAR LAYERS

I-I'

PROFIL
PROFILE



POVREMENI IZVOR
PERIODICAL SPRING



ISTRAŽNA BUŠOTINA
EXPLORATION BOREHOLE

~ 20 RELATIVNA PROMJENA
PRIVIDNE OTPORNOSTI
RELATIVE CHANGE OF
APPARENT RESISTIVITY



STALNI IZVOR
PERMANENT SPRING

A, B

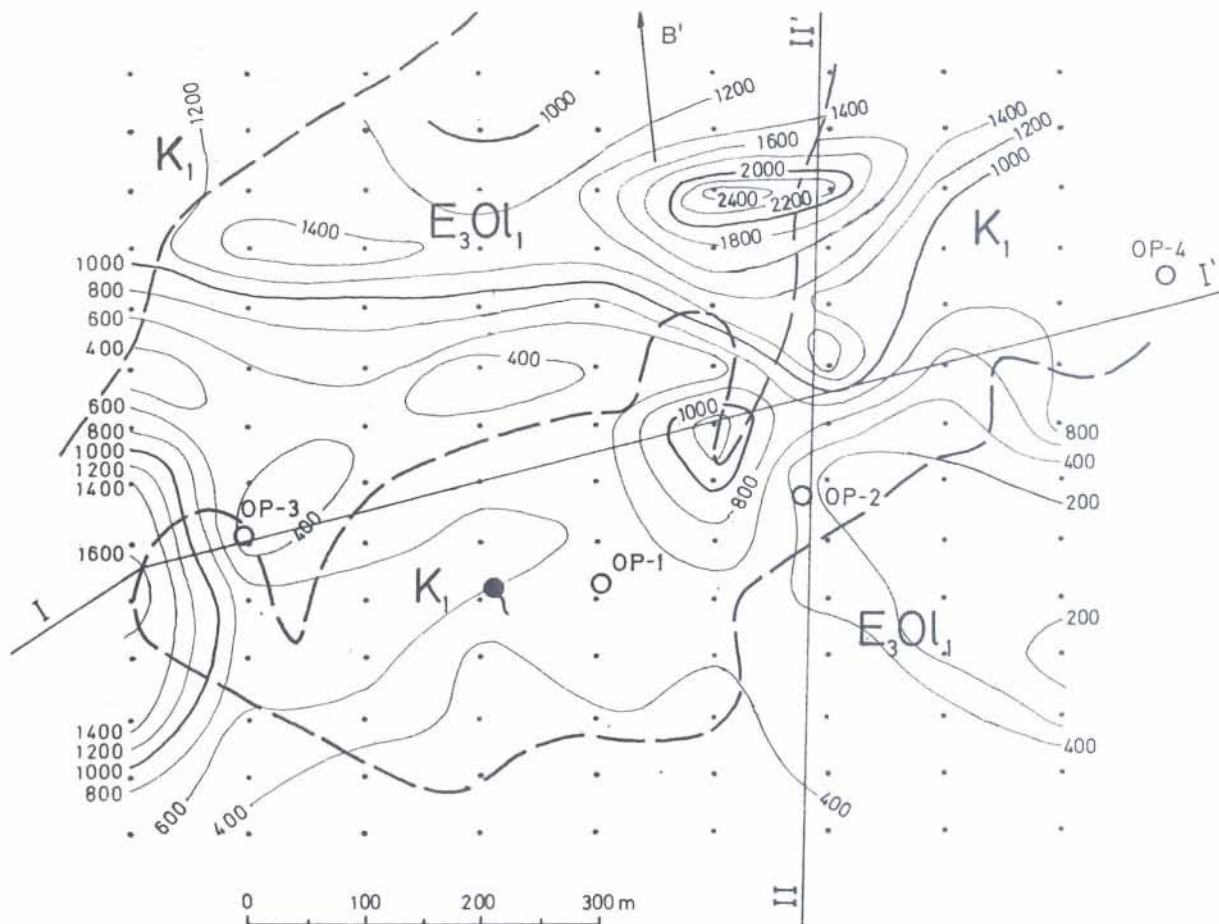
STRUJNE ELEKTRODE
CURRENT ELECTRODES

OPATIJA



Slika 4. Karta relativnih promjena prividnih otpornosti s dubinom (dvojno gradijentno kartiranje).

Figure 4. Map of the relative changing of apparent resistivity with the depth (dual gradient mapping).



LEGENDA :
LEGEND

K_1 KREDNI VAPNENCI
CRETACEOUS LIMESTONES

E_3O_{11} JELAR NASLAGE
JELAR LAYERS

● POVREMENI IZVOR
PERIODICAL SPRING

○ ISTRAŽNA BUŠOTINA
EXPLORATION BOREHOLE

— 400 Ωm

I-I' PROFIL
PROFILE

◆ STALNI IZVOR
PERMANENT SPRING

A,B' STRUJNE ELEKTRODE
CURRENT ELECTRODES

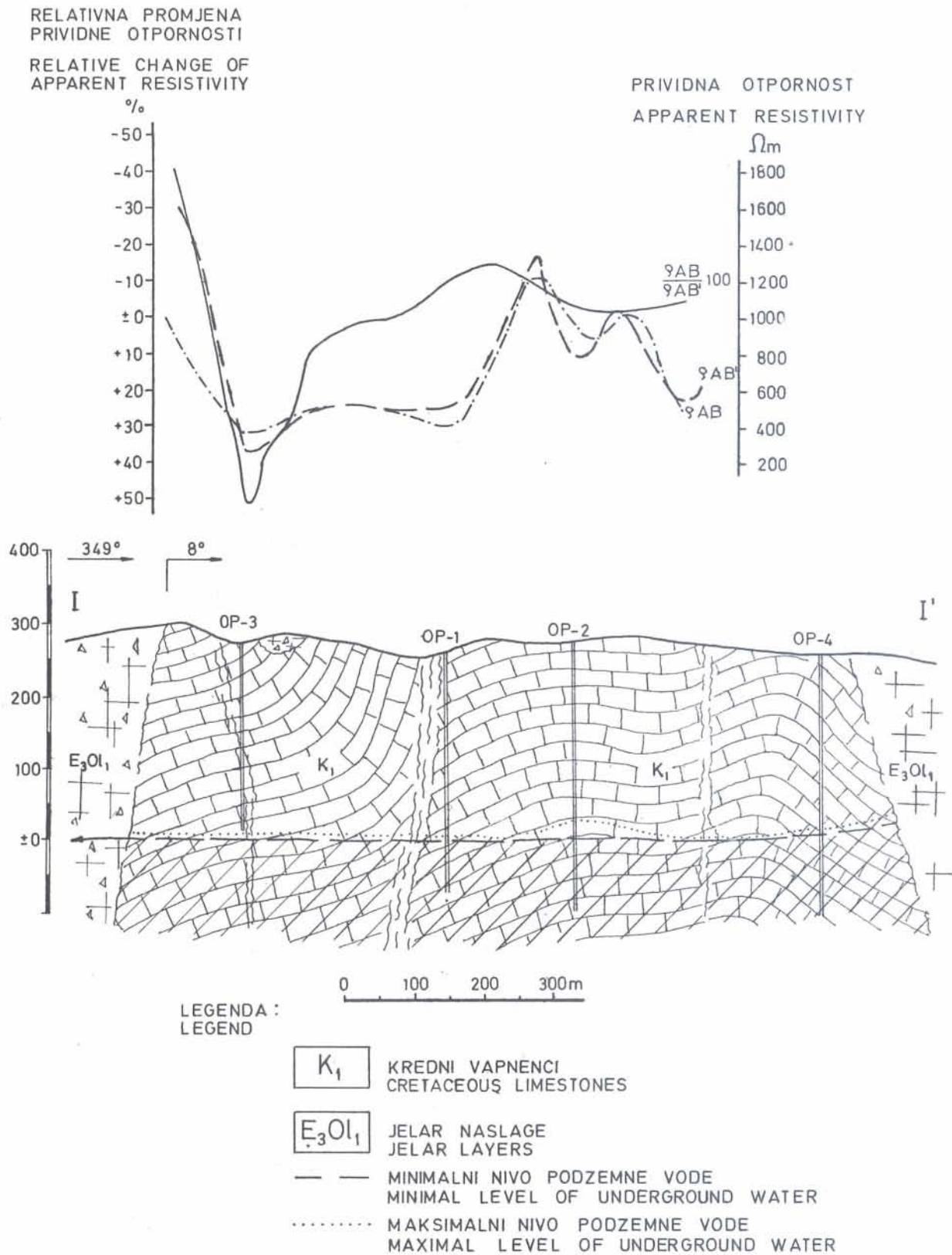
• TOČKA MJERENJA
MEASUREMENT POINT

OPATIJA

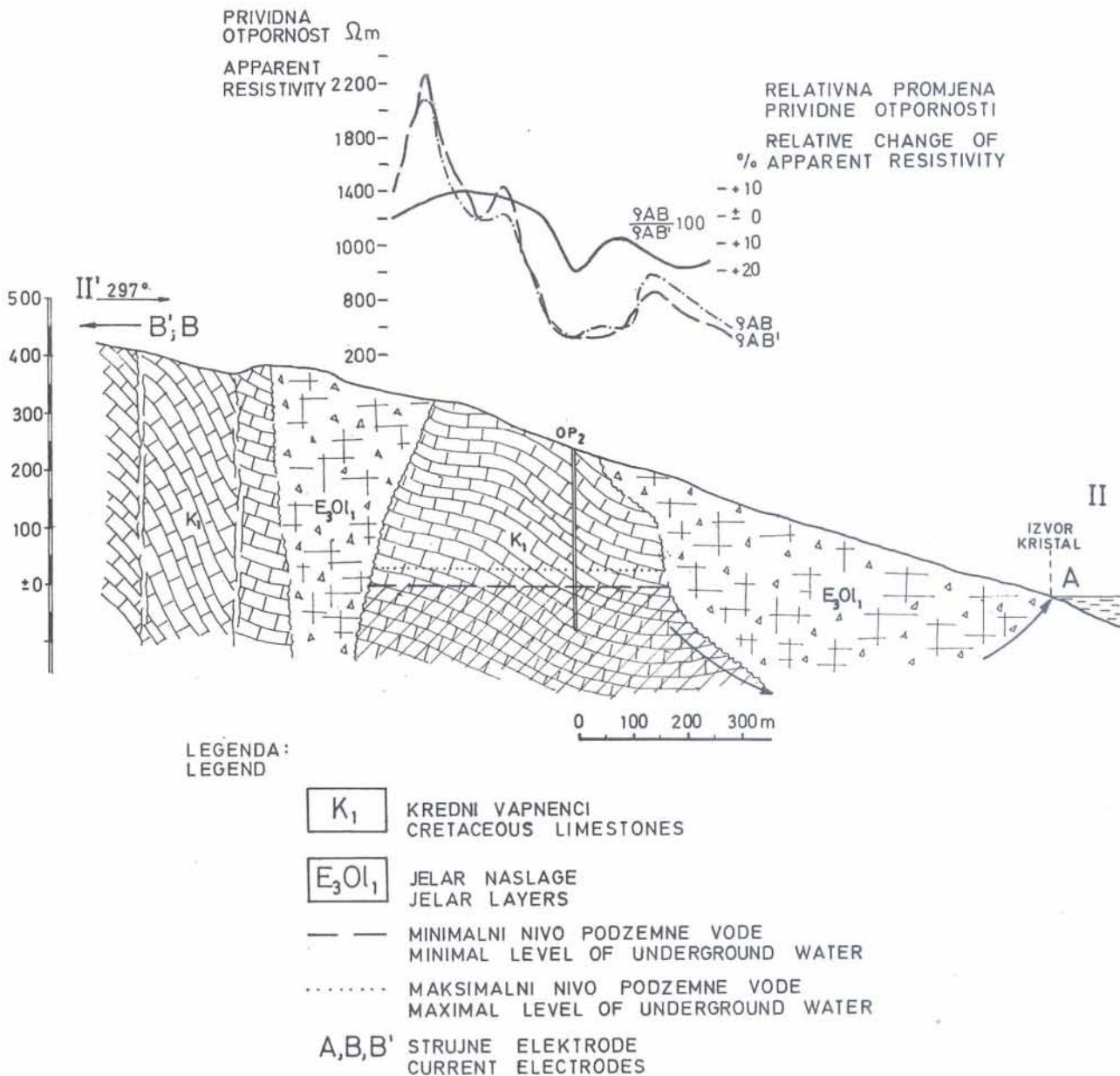


Slika 5. Karta prividnih otpornosti (razmak strujnih elektroda $AB' = 2200$ m).

Figure 5. Apparent resistivity map (distance between the current electrodes $AB' = 2200$ m).



Slika 6. Hidrogeološki profil I-I' s krivuljama prividne otpornosti i relativne promjene prividne otpornosti.
Figure 6. Hydrogeological profile I-I' with apparent resistivity curves and relative change of apparent resistivity curve.



Slika 7. Hidrogeološki profil II-II' s krivuljama prividne otpornosti i relativne promjene prividne otpornosti.

Figure 7. Hydrogeological profile II-II' with apparent resistivity curves and relative changing of apparent resistivity curve.

pretirati kao vodna barijera ili izolatorska stijena. Zona visokih prividnih otpornosti teže se može korelirati s površinskim geološkim podacima i pada u područje relativnog sniženja otpornosti s dubinom. Međutim, obje karte ukazuju na perspektivno područje na krednim vapnencima, te su preporučene tri istražne bušotine u tom području označene s OP-1, OP-2 i OP-3.

Prema podacima s kojima raspolažemo (Biondić i Dukarić, 1988) izbušene su četiri istražne bušotine s time da se OP-4 nalazi neposredno izvan geofizički istraivanog terena u sjevernom dijelu. Istražno bušenje je potvrdilo rezultate dvojnog gradijentnog kartiranja, što je prikazano na geološkim profilima (slike 6 i 7). Iznad hidrogeoloških profila ucrtane su krivulje izmjerenih prividnih otpornosti, dobivenih puštanjem struje preko strujnih elektroda AB i AB', te krivulje relativnih promjena prividnih otpornosti. Vidljivo je da do sniženja prividnih otpor-

nosti s dubinom dolazi u zonama s vodom, koje se nalaze u krednim vapnencima. Bušotine OP-1, OP-2 i OP-4 izbušene su do planirane dubine i dale su pozitivne rezultate dok je na bušotini OP-3 došlo do propadanja alata uslijed nailaska na kavernu te nije završena.

Ispitivanja bojenjem pokazala su da između bušotina postoji komunikacija, kao i između triju bušotina i priobalnih izvora u Opatiji. Jedino nije utvrđena veza između istražne bušotine OP-1 i priobalnih izvora. Najveće prividne brzine podzemnog toka utvrđene su između bušotine OP-3 i priobalnih izvora a, podsjetimo se, ta bušotina je locirana u području najviših vrijednosti sniženja otpornosti i ujedno na pravcu vjerojatnog proboja vodne barijere.

Na temelju naknadno izvedenih hidrogeoloških istraživanja, možemo zaključiti o uspješnoj primjeni dvojnog gradijentnog kartiranja u istraživanju vode, s obzirom da su krški tereni izuzetno složeni, te ova

metoda ima prednost pred ostalim geoelektričnim metodama.

Zaključak

Metoda dvojnog gradijenta kartiranja je poboljšana metoda klasičnog gradijenta kartiranja, prilagođena istraživanju u krškim terenima. Korištenjem treće strujne elektrode ili dvaju parova strujnih elektroda imamo dva različita dubinska zahvata, te se na svakoj točki na profilu vrši mjerenje dvaju gradijenata potencijala. Računanjem relativnih odnosa prividnih otpornosti po dubini, izraženih kao povećanje ili sniženje prividnih otpornosti u postocima, znatnim dijelom se odstranjuju utjecaji uzrokovani površinskim nehomogenostima, te razni utjecaji sa strane, a jače se ističu promjene prividnih otpornosti u dubini, koje potječu od istraživanih tijela.

Ova metoda je pokazala dobre rezultate u istraživanju vode u krškim priobalnim terenima na kojima vladaju nepovoljni uvjeti istraživanja, zbog izraženih površinskih nehomogenosti (vodljiva zemlja crljenica u škrapama i vrtačama, nepovoljnog djelovanja infrastrukturnih objekata i mora kao velike mase visoke vodljivosti i dr.). Prema dosadašnjem iskustvu ova metoda ima prednost pred ostalim geoelektričnim metodama istraživanja na krškim terenima.

Na području Opatije, primjenom metode dvojnog gradijenta kartiranja, uspješno su određene lokacije istražnih bušotina i perspektivne zone. Kasnijim hidrogeološkim istraživanjima potvrđeno je da anomalije sniženja prividnih otpornosti s dubinom ukazuju na raspucane zone ispunjene vodom, a možda čak i na podzemne tokove, dok anomalije povećanja prividne otpornosti s dubinom vjerojatno potječu od vodne barijere i zona u kojima se ne može očekivati voda.

Primljeno: 26. XI. 1990.

Prihvaćeno: 25. VI. 1991.

LITERATURA:

- Biondić B., Dukarić F. (1988): Hidrogeološka istraživanja priobalnog izvorišta Kristal u Opatiji, 1-30, Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb
- Borkov V. S., Konsina J. P. (1970): Poiski i razvedka mestorođenija strojiteljnih materijalov, »Nedra«, Leningrad.
- Brass G., Flath H., Schulz R. (1981): Resistivity profiling with different electrode arrays over a Graphite deposit, *Geophysical Prospecting*, 29, 589-600
- Rocroi J. P., Koulikov A. V. (1985): The use of vertical line sources in electrical prospecting for hydrocarbon, *Geophysical Prospecting*, 33, 138-152
- Schulz R. (1985): Interpretation and depth of investigation of gradient measurements in direct current geoelectrics, *Geophysical Prospecting*, 33, 1240-1253.

Water Exploration in Coastal Karst by the Method of Double Gradient Mapping

K. Jelić, F. Šumanovac, and M. Lukačević

Karst fields are mostly covered with crevices, bays, and depressions filled with terra rossa of low resistivity in relation to carbonate mother rocks of high resistivity, so by the measurements of current and potential electrodes along such fields we obtain rapid discrepancies on the measured curves of sounding and profiling, which makes proper interpretation difficult or even impossible. Such difficulties are less if the exploration is carried out by the method of gradient mapping, since the current electrodes in this method are installed on some larger distance, and they generate constant electric field and along the field only potential electrodes are moved. In order to decrease the impact of moving also potential electrodes along the surface of karst fields, as well as various other impacts, we performed two gradient mappings with different depth operations for each measuring point, computing the relative changes of resistivity on certain depths. In this way, we obtained better results and have called this method »DOUBLE GRADIENT MAPPING«.

The method has been successfully applied to several karst fields. Particularly successfully it can be applied to water exploration in coastal zone. In this work the case of water exploration in the Opatija region, the Republic Croatia, is discussed, where the examination objective were the zones of apparent resistivity decrease with depth in carbonate rocks of the Opatija background, which could be collectors of water occurring in coastal springs.

Double gradient mapping in the Opatija region has been carried out by three current electrodes (A, B, and B'), from the

distance AB of 1800 m, and AB' of 2200 m. The common current electrode A was located in one coastal spring. The distance between potential electrodes amounted 100, and between measuring points 50 m. On each point, measuring was completed by multiple repetitions. For each measuring point, apparent resistivity was computed for a lower and for a deeper treatment, and also the change of apparent resistivity with depth expressed in percentages.

On the map of relative changes of apparent resistivity with depth, the zones of decrease of apparent resistivity with depth are expressed, which can be interpreted as zones of bigger fissuring or greater possibilities of water communication, in other words, this is a perspective area. Therefore, three exploratory wells were suggested in these zones. The exploratory drilling has proved the results of double gradient mapping, and the explorations' tests by coloration have demonstrated that there is some communication among the wells and the coastal springs. The greatest apparent velocities of underground flow have been established between the well located on the point of maximal decrease of apparent resistivity with depth, and the coastal springs.

Based on the results of exploration in several karst fields, we can conclude, that the method of double gradient mapping in water exploration has found its successful application considering the fact, that the karst fields are extremely complex, and therefore this method is extremely advantageous compared with other geoelectrical methods.