

STJEPAN KOVAČEVIĆ

POREMEĆENJE DIJAGRAMA GEOELEKTRIČNOG  
SONDIRANJA ZBOG PRELAŽENJA STRUJNIH  
I POTENCIJALNIH ELEKTRODA PREKO NEKIH IZRAZITIH  
DUBOKIH I PLITKIH NEHOMOGENOSTI U HORIZONTALNOM  
PRAVCU

(Sa 19 slika u tekstu)

Problem ispoljavanja različitih tipova dubokih i plitkih nehomogenosti, kad ih prilikom izvođenja geoelektričnog sondiranja po Schlumberger-ovu rasporedu prelaze i strujne i potencijalne elektrode, tretiran je u dosadašnjoj literaturi iz geoelektrike posve fragmentarno. U ovom su radu detaljno obrađena poremećenja dijagrama geoelektričnog sondiranja zbog prelaženja i strujnih i potencijalnih elektroda preko vertikalnog kontakta, tanjeg i debljeg vertikalnog sloja te plitke ograničene površinske nehomogenosti. Uz pomoć stečenih saznanja objašnjeno je nekoliko odabranih poremećenih dijagrama s različitih terena. Dan je prijedlog za način mjerenja, koji bi omogućio pravilnije korigiranje poremećenih dijagrama.

U V O D

U literaturi iz geoelektrike bio je do sada od strane većeg broja autora obrađivan problem računanja teoretskih dijagrama geoelektričnog sondiranja preko dvaju električki raznorodnih materijala, koji se ne pojavljuju u obliku dvosloja, tj. da je granica među njima paralelna s površinom, nego u drugačijim međusobnim odnosima. Problem nagute granice dvaju raznorodnih materijala obrađivalo je posljednjih godina više autora a tretira se i u novijim udžbenicima geoelektrike ruskih autora.

Kunetz (1955) je obradio slučaj vertikalnog kontakta i vertikalnog sloja i to kad se oni protežu beskonačno u dubinu kao i kad ispod njih leži na nevelikoj dubini beskonačno otporna sredina. Geoelektrična sondiranja se izvode paralelno s pružanjem i poprečno na pružanje. Vedrinec (1960) je detaljnije obradio računanje teoretskih dijagrama sondiranja na različitim izduženim nehomogenostima, koje su ograničene horizontalnim i vertikalnim granicama. Tu su u prvom redu tretirani različiti načini dipolnog sondiranja a djelomično i simetrično sondiranje. U ovim i drugim radovima pretpostavlja se da se razmiču samo vanjske, strujne elektrode dok unutarnje, potencijalne stoje na istom mjestu blizu centra rasporeda.

Nekoliko autora obrađivalo je ali samo fragmentarno i slučaj, kad se i potencijalne elektrode razmiču i pri tome prelaze preko nehomogenosti u horizontalnom pravcu. *Jakosky* (1949) je opisao kvalitativno upliv plitke površinske ograničene nehomogenosti sniženog specifičnog otpora, kad preko nie prelaze elektrode *Wenner*-ova rasporeda prilikom izvođenja geoelektričnog profiliranja. *Schenk* (1943) navodi u tumačenju različitih poremećaja dijagrama sondiranja primjer poremećenja dijagrama zbog prelaza jedne potencijalne elektrode u stranu plitku nehomogenost. Dokazuje kako pripadni segmenti na dijagramu nisu paralelni nego teku k istoj asimptotskoj vrijednosti i zato se ne smiju povezati paralelnim pomicanjem. Slično i *Fritsch* (1960) spominje primjer gdje je centar sonde na ograničenoj nehomogenosti povišenog specifičnog otpora, a dobiveni pomaknuti segmenti teku istoj asimptotskoj vrijednosti i nisu paralelni. *De Gery* i *Kunetz* (1956) spominju slučaj gdje zahvaćanje površinske nehomogenosti kod razmicanja potencijalnih elektroda izaziva pomak jednog segmenta na dijagramu. Napominju da je pomak paralelan i da se dijagram korigira prostim spuštanjem tog segmenta na neporemećeni dio dijagrama. *Kreines* (1957) i *Pičugin* (1960) obrađivali su djelomično upliv prelaženja jedne strujne i jedne potencijalne elektrode preko vertikalnog kontakta i na osnovu toga izveli neke zaključke o određivanju položaja ovog kontakta.

Ako se u praksi izvodi geoelektrično sondiranje po *Schlumberger*-ovu rasporedu elektroda potrebno je uz stalno simetrično razmicanje strujnih elektroda povremeno razmaknuti i potencijalne elektrode, da se omogući mjerenje krupnijih veličina razlike potencijala. Ovo je potrebno napose kod tzv. dubokog sondiranja, gdje se strujne elektrode razmaknu od centra 5 km a i više. Pri tome potencijalne elektrode mogu prolaziti kroz materijale drugačijeg specifičnog otpora nego što je u području oko centra rasporeda, zbog čega se na dijagramu sondiranja javljaju slabije ili jače izražena poremećenja. Bilo bi potrebno poznavati upliv različitih tipova nehomogenosti na površini ili plitko pod površinom na dijagrame sondiranja kako bi se oni mogli odgovarajuće korigirati. U nekim slučajevima plitko ležeće nehomogenosti na izvjesnoj udaljenosti od centra sonde mogu izazvati sličan oblik dijagrama sondiranja kao i neke promjene u građi podzemlja ispod centra sonde pa je u takovim slučajevima osobito važno uočiti, da je dijagram izazvan nehomogenostima izvan centra sonde a ne promjenama u dubini ispod centra sonde.

Korekciju dijagrama sondiranja poremećenog zbog upliva površinskih ili plitko ležećih nehomogenosti potrebno je izvršiti i zbog drugih razloga. S jedne strane neispravno korigiran dijagram može dati pogrešne debljine i pogrešne veličine specifičnih otpora slojeva u dubini, koja odgovara poremećenom dijelu dijagrama. Često je međutim upravo određivanje što točnijih veličina pravih specifičnih otpora u određenoj dubini podzemlja direktni predmet istraživanja. Tako na pr. sniženje specifičnog otpora u vapnencima kao i povećanje specifičnog otpora unutar glinovitih sedimenata upućuje na povoljne hidrološke pri-

like (karstificirana zona s vodom u pukotinama, pjeskovito-šljunkoviti vodonosni slojevi). Osim toga veličine specifičnog otpora osnova su za identifikaciju pojedinih geoelektričnih sredina u podzemlju. Zbog svega toga neispravno korišten poremećeni dijagram sondiranja može dovesti do pogrešnih zaključaka. Kako će se kasnije vidjeti, poremećenja dijagrama sondiranja zbog utjecaja nehomogenosti u horizontalnom pravcu mogu biti znatna.

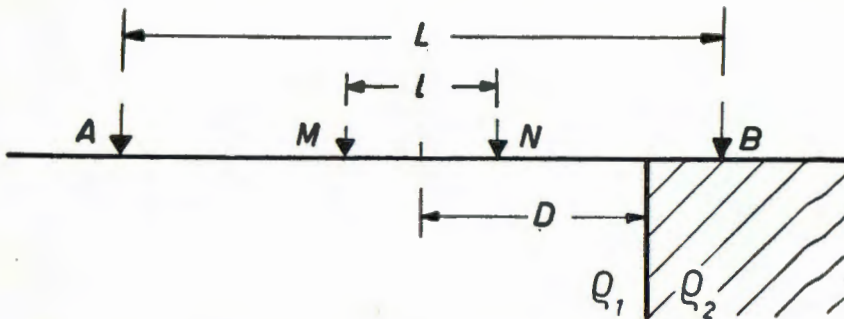
Iz naprijed spomenutih radova ne može se dobiti jasnija slika kakova poremećenja dijagrama sondiranja daju pojedini tipovi nehomogenosti, kad ih prelaze i potencijalne elektrode. Nije jasno da li se dobivaju paralelni ili neparalelni pomaci segmenata, odnosno u kojim slučajevima su oni paralelni a u kojima nisu. Dok to sve nije poznato ne mogu se poremećeni dijagrami sondiranja ispravno korigirati.

Zbog želje da se doprinese potpunijem rješenju ovog problema obrađeni su u ovom redu izraziti tipovi nehomogenosti u horizontalnom pravcu: vertikalni kontakt, vertikalni sloj te ograničena plitka nehomogenost. Dobiveni rezultati mogu se koristiti za objašnjenje upliva i nekih kompliciranijih tipova nehomogenosti. Ovime nije problem u potpunosti riješen pa treba dalje istraživati i druge oblike nehomogenosti.

## TEORETSKI OBRADENI TIPOVI NEHOMOGENOSTI

### 1. Vertikalni kontakt

Za slučaj izvođenja geoelektričnog sondiranja poprečno preko vertikalnog kontakta koji razdvaja dva električki različita materijala mogu se izvesti formule za prividni otpor  $\rho_p$  za različite položaje elektroda s obzirom na kontakt – uz pomoć metode »reflektiranih slika«. Za položaj elektroda prema sl. 1 na elektrodama M i N stvoren je potencijal pozitivnom strujom elektrode A i njenom »reflektiranom slikom« kao i negativnom strujom elektrode B. Kad se za različite položaje elektroda s



Sl. 1. Shema rasporeda elektroda kod mjerenja preko vertikalnog kontakta.

Fig. 1. Scheme of electrode disposition for measurement across the vertical contact

obzirom na kontakt obračunaju pojedinačni potencijali elektroda M i N a potom i prividni otpori  $\rho_p$ , dobiju se slijedeće formule (u formulama i slikama je zapravo izražen odnos  $\rho_p / \rho_1$ ):

$$\frac{L}{2} < D$$

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = 1 + K \frac{2D}{l} \left( \frac{L-l}{L+l} \cdot \frac{1}{\frac{16D^2}{(L+l)^2} - 1} - \frac{L+l}{L-l} \frac{1}{\frac{16D^2}{(L-l)^2} - 1} \right) \quad (1)$$

$$\frac{L}{2} > D, \frac{l}{2} < D$$

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = 1 + \frac{K}{4} \left( 2 + \frac{\frac{L}{l} - 1}{\frac{L+l}{4D} + 1} - \frac{\frac{L}{l} + 1}{\frac{L-l}{4D} + 1} \right) \quad (2)$$

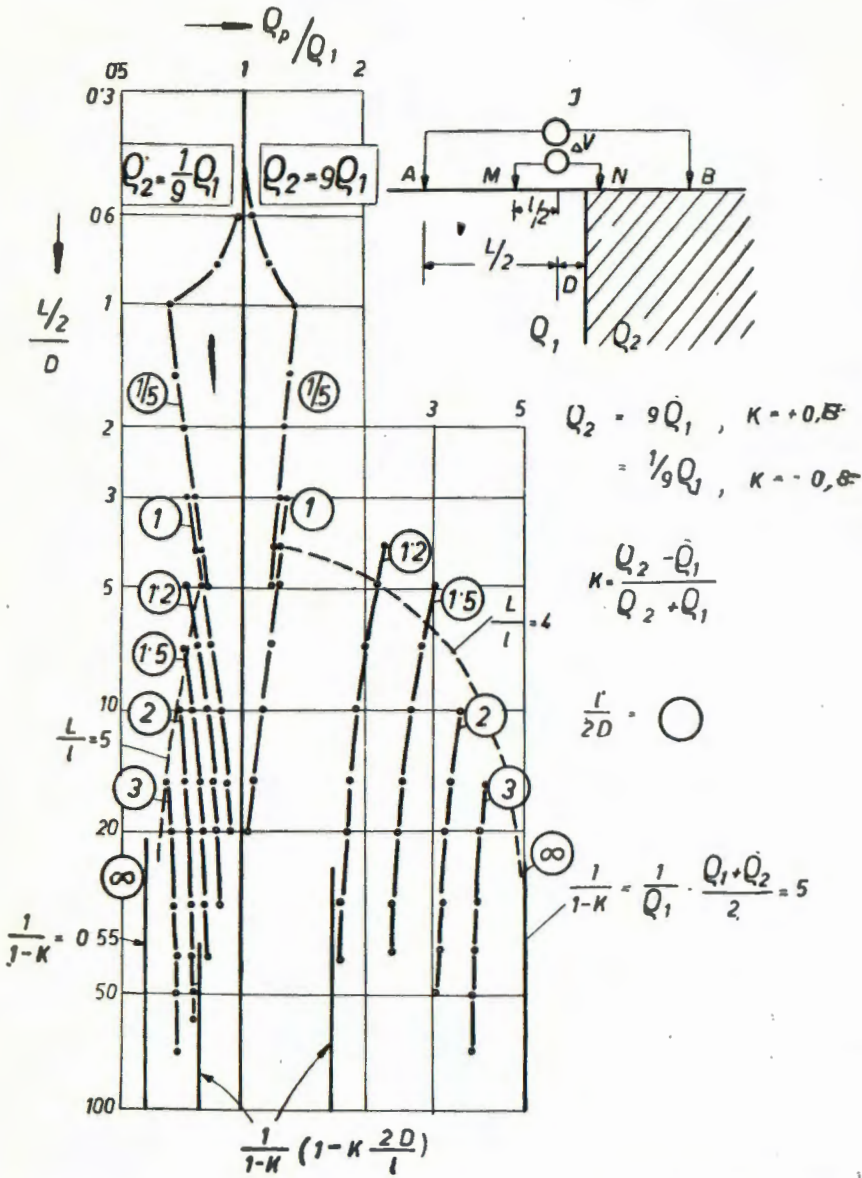
$$\frac{L}{2} > D, \frac{l}{2} > D$$

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = \frac{1}{1-K} \left[ 1 + \frac{K^2}{2} \left( \frac{L}{l} - 1 \right) - K \frac{L-l}{L+l} \frac{\frac{2D}{l} + \frac{K}{2} \left( \frac{L}{l} + 1 \right)}{1 - \frac{16D^2}{(L+l)^2}} \right] \quad (3)$$

Postupak računanja preuzeo je autor prema Heiland-u (1951), koji je izveo analogne formule za Wenner-ov raspored elektroda. Slične formule uz druge oznake koriste i Kreines (1957) i Pičugin (1960). Dobivene formule pokazuju da je prividni otpor ovisan isključivo u odnosu  $D/L$  i  $L/l$  a ne i o apsolutnim brojčanim vrijednostima razmaka elektroda.

Prema dobivenim formulama računat je dijagram sondiranja za mjerenje poprečno preko vertikalnog kontakta, prema sl. 2. Uzet je odnos specifičnih otpora  $\rho_2 = 9 \rho_1$  i  $1/9 \rho_1$  kao neka srednja vrijednost između niskih i visokih odnosa specifičnih otpora. Računato je za više položaja potencijalnih elektroda (u daljem tekstu zvat će se izvjestan položaj potencijalnih elektroda: baza) nego što bi se u praksi mjerilo, i to zato da se upliv kontakta jasnije ispolji.

Prelaz strujne elektrode B preko kontakta očituje se šiljkom na dijagramu, nakon čega se dijagram uz dalje razmicanje strujnih elektroda postepeno vraća normalnoj vrijednosti, pri čemu obje potencijalne elektrode stoje lijevo od kontakta. Čak i uz položaj elektrode N na samom kontaktu dobivaju se vrijednosti sve bliže normalnoj vrijednosti. Tek prelaz elektrode N preko kontakta jače poremećuje dijagram i to više u slučaju ako ona ulazi u područje povišenog specifičnog otpora nego u



Sl. 2. Računati dijagram (geoelektričnog) sondiranja preko vertikalnog kontakta  
 Fig. 2. Calculated (resistivity) sounding curve for measurement across the vertical contact

obrnutom slučaju. Prema formuli (3) granična vrijednost za bilo koji položaj potencijalnih elektroda  $l/2D > 1$  ima veličinu:

$$[L \gg l, L \gg D, (L-l) \sim (L+l)]$$

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = \frac{1}{1-K} \left[ 1 + \frac{K^2 L}{2l} - K \left( \frac{2D}{l} + \frac{Kl}{2l} \right) \right] = \frac{1}{1-K} \left( 1 - K \frac{2D}{l} \right) \quad (3a)$$

Granična vrijednost razmicanju potencijalnih elektroda je simetričan položaj svih elektroda s obzirom na kontakt ( $D/l \rightarrow 0$ ), za koji slučaj se dobiva:

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = \frac{1}{1-K} = \frac{\rho_1 + \rho^2}{2} \cdot \frac{1}{\rho_1} \quad (3b)$$

Granična vrijednost je prema tome aritmetička sredina obaju specifičnih otpora što konstatira i Pičugin (1960). U sl. 2 ucrtane su granične vrijednosti za cijeli raspored elektroda kao i asimptotske vrijednosti po formuli (3a) za dvije baze.

U svemu dobiva se jače poremećenje dijagrama, kad potencijalna elektroda ulazi u područje povišenog specifičnog otpora ili strujna elektroda u područje sniženog specifičnog otpora nego u obrnutim slučajevima. Prema izgledu poremećenog dijagrama može se zaključiti da su svi segmenti (dijelovi, grane) dijagrama međusobno približno paralelni.

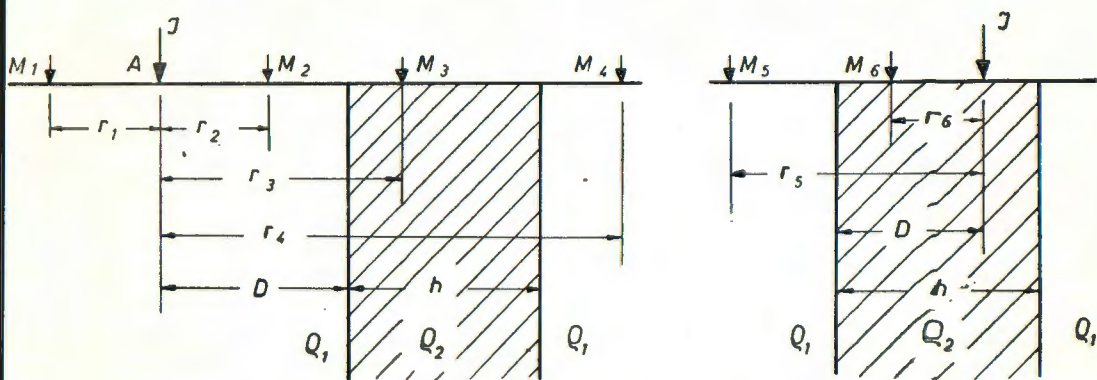
## 2. Vertikalni sloj

U sl. 3 prikazani su svi mogući položaji jedne strujne i jedne potencijalne elektrode u blizini i na samom vertikalnom sloju s obzirom na njegove vertikalne granice. Vertikalni sloj se spušta beskonačno u dubinu i pruža se beskonačno u dužinu, a specifični otpor mu je  $\rho_2$  i debljina  $h$ . Okolna sredina s obje strane sloja ima specifični otpor  $\rho_1$ . Iz knjige Dahnova (1949) uzete su formule za potencijale za slučaj da se za razliku od odnosa u sl. 3 desno od vertikalnog sloja pruža sredina sa specifičnim otporom  $\rho_3$ . Kad se indeks 3 u njegovim formulama pretvori u 1 i upotrebe oznake kao u sl. 3, dobiju se slijedeće formule za potencijale elektrode M:

$$V_{M1} = \frac{I \rho_1}{2 \pi} \left[ \frac{1}{r_1} + \frac{K}{2D + r_1} - K(1-K)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2(n+1)h + 2D + r_1} \right] \quad (4)$$

$$V_{M2} = \frac{I \rho_1}{2 \pi} \left[ \frac{1}{r_2} + \frac{K}{2D - r_2} - K(1-K)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2(n+1)h + 2D - r_2} \right] \quad (5)$$

$$V_{M3} = \frac{I \rho_2}{2 \pi} (1-K) \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2nh + r_3} - K \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2(n+1)h + 2D - r_3} \right) \quad (6)$$



Sl. 3. Mogući položaji jedne strujne i jedne potencijalne elektrode u odnosu na vertikalni sloj

Fig. 3. Possible positions of a power and a potential electrode with reference to the vertical bed

$$V_{M_4} = \frac{I Q_1}{2\pi} \left( 1 - K^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2nh + r_4} \right) \quad (7)$$

$$V_{M_5} = \frac{I Q_1}{2\pi} \left( 1 + K \right) \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2nh + r_5} - K \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2(n+1)h - 2D + r_5} \right) \quad (8)$$

$$V_{M_6} = \frac{I Q_2}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_6} + \sum_{n=0}^{\infty} K^{2n} \left( \frac{K^2}{2(n+1)h + r_6} + \frac{K^2}{2(n+1)h - r_6} - \frac{K}{2(n+1)h - 2D + r_6} - \frac{K}{2nh + 2D - r_6} \right) \right] \quad (9)$$

Kratka diskusija formula bit će korisna a bolje shvaćanje upliva vertikalnog sloja na dijagram sondiranja.

Formula (4) prelazi uz  $h = \infty$  u teoretsku formulu za potencijal neke točke izazvan izvorom struje koji leži u blizini vertikalnog kontakta. Uz  $r_1 \rightarrow \infty$  ( $D/r_1 \rightarrow 0$  i  $h/r_1 \rightarrow 0$ ) formula poprima oblik za homogenu sredinu, upliv sloja nestaje. Formula (7) pokazuje da za slučaj kad je izvor struje s jedne a elektroda M s druge strane vertikalnog sloja nije važan predznak faktora  $K$  pa jednako smanjenje potencijala izaziva i niži i viši specifični otpor sloja ako je samo  $K$  po apsolutnoj vrijednosti jednak. Uz povećanje  $r_4$  potencijal poprima vrijednost sve bližu normalnoj vrijednosti (tj. kao da nema vertikalnog sloja) jer je:

$$\lim_{r_4 \rightarrow \infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2nh + r_n} = \frac{1}{r_4} \lim_{n \rightarrow 0} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K^{2n}}{2n \frac{h}{r_4} + 1} = \frac{1}{r_4} \cdot \frac{1}{1-K^2}$$

Prema formulama (4)–(9) računati su pojedinačni potencijali elektroda M i N izazvani strujom na elektrodama A i B uz različite položaje elektroda s obzirom na vertikalni sloj i to za dva odnosa specifičnih otpora:  $\rho_2/\rho_1 = 9, 1/9$  i  $\rho_2/\rho_1 = \infty, 0$  ( $K = \pm 0,8$  i  $K = \pm 1$ ). Razvlačenje elektroda je poprečno na pružanje sloja. Računato je gotovo isključivo logaritamskim računalom, običnim kao i većim – duljine 56 cm a samo djelomično i računskim strojem. Ukoliko je vrijednost  $K$  manja, utoliko redovi u formulama (4)–(9) brže konvergiraju pa je potrebno računati manje članova za pojedine sume.

U sl. 4 prikazani su rezultati računanja za sondiranje preko vertikalnog sloja debljine 20 m, uz isti odnos specifičnih otpora kao u sl. 2 tj.  $\rho_2/\rho_1 = 9$  i  $1/9$ , a daljina od centra do sloja je 10 m. I ovdje je računato za više baza nego što bi se u praksi mjerilo. Znatnije promjene se i ovdje dobivaju za slučaj da je  $\rho_2/\rho_1 = 9$ . Prema toku segmenta baze  $1/5$  dolazi se do zaključka da se dijagram brže vraća u normalni tok ako je  $\rho_2/\rho_1 = 1/9$ . Za odnos  $\rho_2/\rho_1 = 9$  segment iste baze nakon prelaska elektrode B preko sloja teče spušten ispod normalnog toka dijagrama a tek kasnije, uz veći razmak strujnih elektroda počinje se vraćati u normalni položaj.

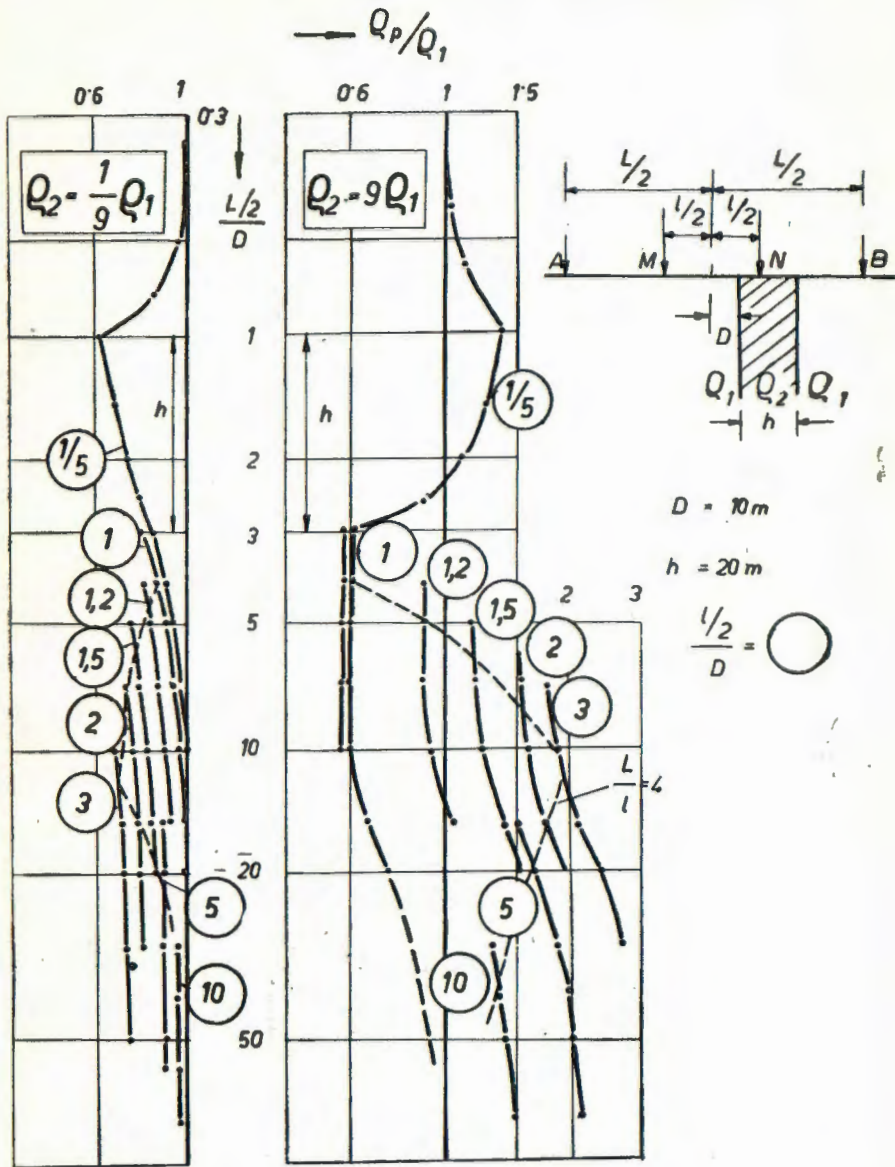
U sl. 5 prikazan je iz K u n e t z - ova rada (1955) dijagram sondiranja preko vertikalnog sloja uz različite odnose specifičnih otpora te debljine sloja i daljine do sloja (vidi oznake u sl. 5). Za odnose kao u sl. 4 iznosi  $R = 18$  pa se zato može uzeti dijagram za  $R = 20$  da približno odgovara uvjetima u sl. 4. Vidi se da je oblik dijagrama nakon prelaza elektrode B preko sloja ovisan o veličini  $R$ . Obje potencijalne elektrode stoje cijelo vrijeme s lijeve strane sloja. Prema sl. 4 i sl. 5 može se suditi o poremećenjima dijagrama sondiranja zbog prelaza strujne i potencijalne elektrode preko vertikalnog sloja za različite debljine vertikalnog sloja i odnose specifičnih otpora. Slučaj  $R = \infty$  posebno je obrađen u sl. 7 i sl. 8.

Prolaz potencijalne elektrode kroz sloj, sl. 4, izaziva pomake odnosnih segmenata mnogo izraženije kad ova elektroda ulazi u sloj sa višim specifičnim otporom nego u obratnom slučaju. Nakon što potencijalna elektroda izađe iz sloja i sve se više od njega udaljuje,  $l > (D + h)$ , segmenti se postepeno vraćaju normalnoj vrijednosti dijagrama i to brže za odnos  $\rho_2 = 1/9 \rho_1$  nego za obrnut odnos. Za dovoljno velik razmak potencijalnih elektroda upliv vertikalnog sloja se praktički posve gubi.

Prema toku segmenata u sl. 4 može se zaključiti da su oni međusobno praktički paralelni.

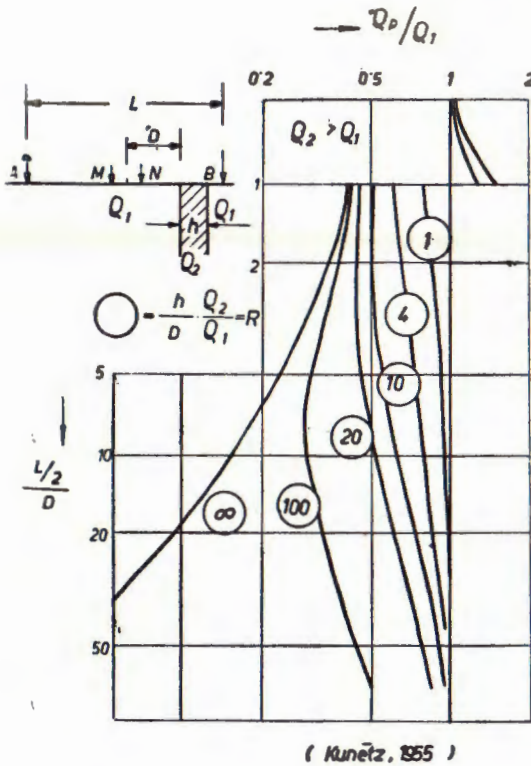
U sl. 6 prikazana je shema mjerenja kao i oznake za sondiranje poprečno preko tankog vertikalnog sloja, a u sl. 7 računati dijagrami sondiranja za slučaj da je sloj beskonačno visokog specifičnog otpora. Ako su sve elektrode s jedne strane sloja, može se koristiti formula (1) s time





Sl. 4. Računati dijagram sondiranja preko vertikalnog sloja nižeg i višeg specifičnog otpora od okolne sredine

Fig. 4. Calculated sounding curve for measurement across the vertical bed of resistivity lower and higher than the surrounding medium

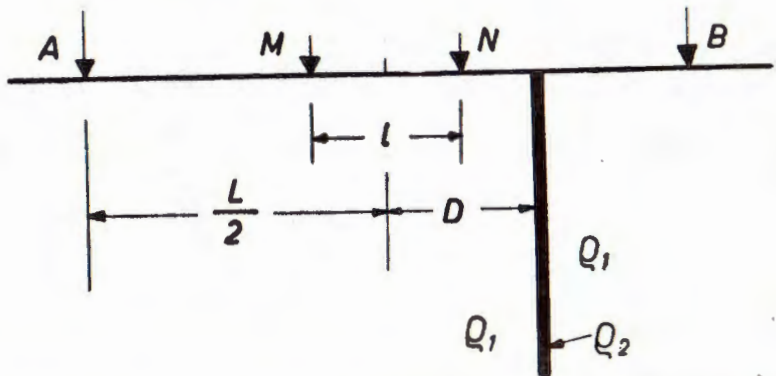


Sl. 5. Poremećenje dijagrama sondiranja zbog prelaska jedne strujne elektrode preko vertikalnog sloja (Kunetz 1955)

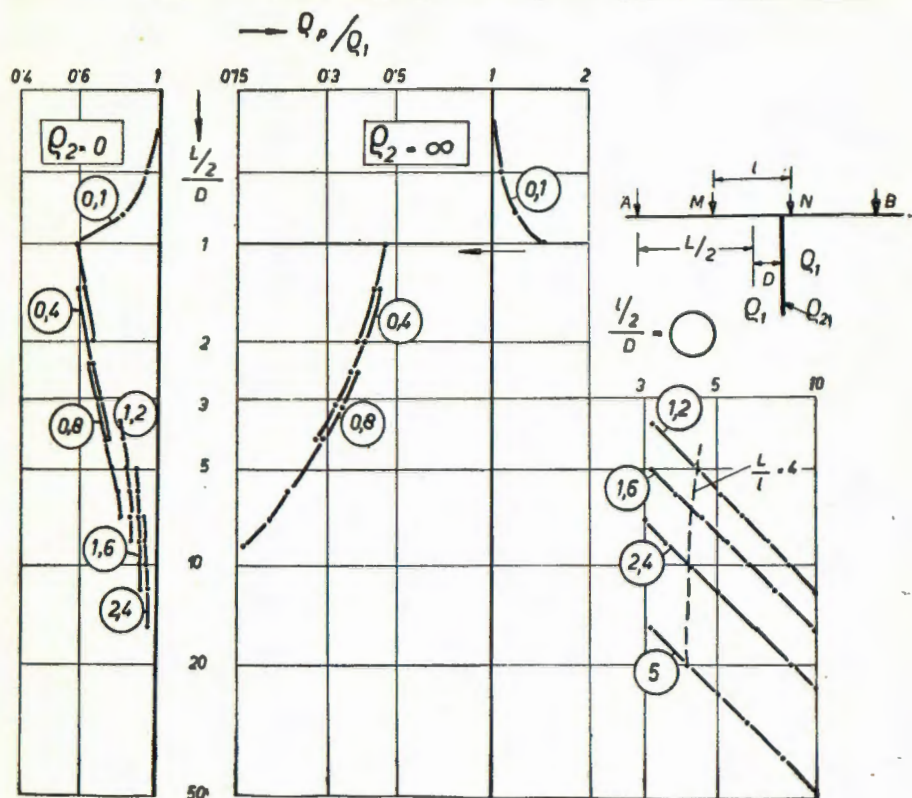
Fig. 5. Deformation of the sounding curve due to crossing of the vertical bed by a power electrode (Kunetz 1955)

( Kunetz, 1955 )

što je sada  $K = \pm 1$ . Ako je jedna strujna elektroda s jedne a jedna potencijalna elektroda s druge strane sloja, potencijal se mora računati po formuli (7). Kako je  $K = \pm 1$ , dobiva se da je potencijal jednak nuli.



Sl. 6. Shema rasporeda elektroda kod mjerenja preko tankog vertikalnog sloja  
Fig. 6. Scheme of electrode disposition for measurement across the thin vertical bed



Sl. 7. Računati dijagram sondiranja preko tankog vertikalnog sloja ekstremno niskog i visokog specifičnog otpora

Fig. 7. Calculated sounding curve for measurement across the thin vertical bed of extremely low and high resistivity

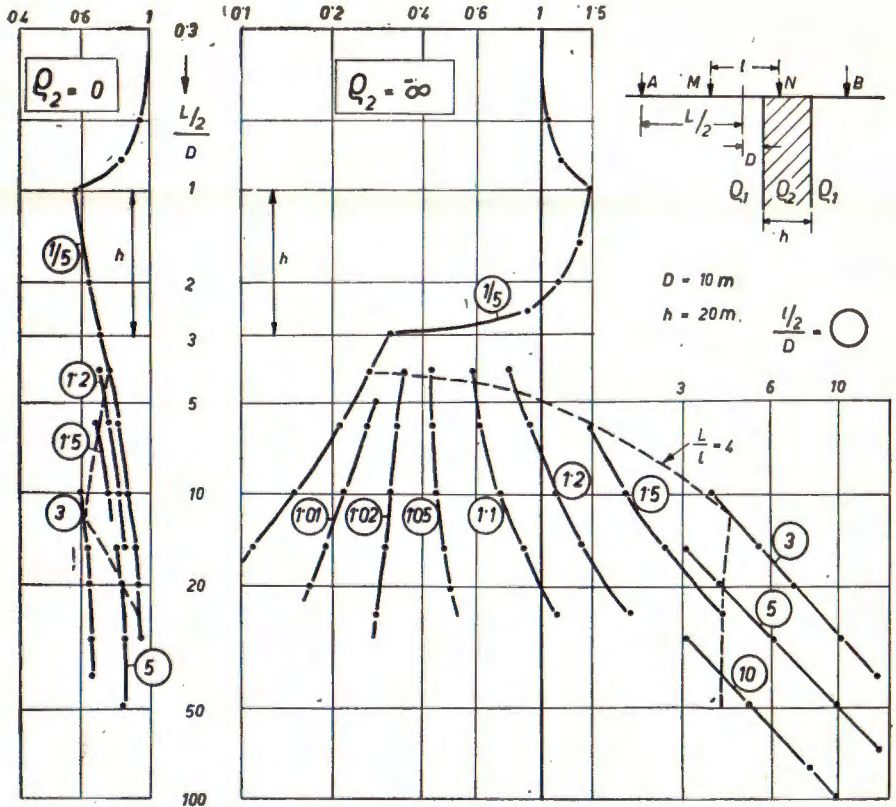
Pomoću ovih jednostavnih formula za potencijale lako se može doći do formule za prividni otpor za slučaj, da je elektroda B prešla sloj kao i kad su elektrode B i N prešle preko sloja.

$$\frac{L}{2} > D, \frac{l}{2} < D, K = \pm 1$$

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = \frac{1}{2} \left[ 1 \mp \frac{1}{\left( \frac{4D}{L+l} + 1 \right) \left( \frac{4D}{L-l} + 1 \right)} \right] \quad (10)$$

$$\frac{L}{2} > D, \frac{l}{2} < D; K = \pm 1$$

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = \left[ \left( \frac{L}{l} + 1 \right) \pm \left( \frac{L}{l} - 1 \right) \frac{1}{1 - \frac{16D^2}{(L+l)^2}} \right] \quad (11)$$



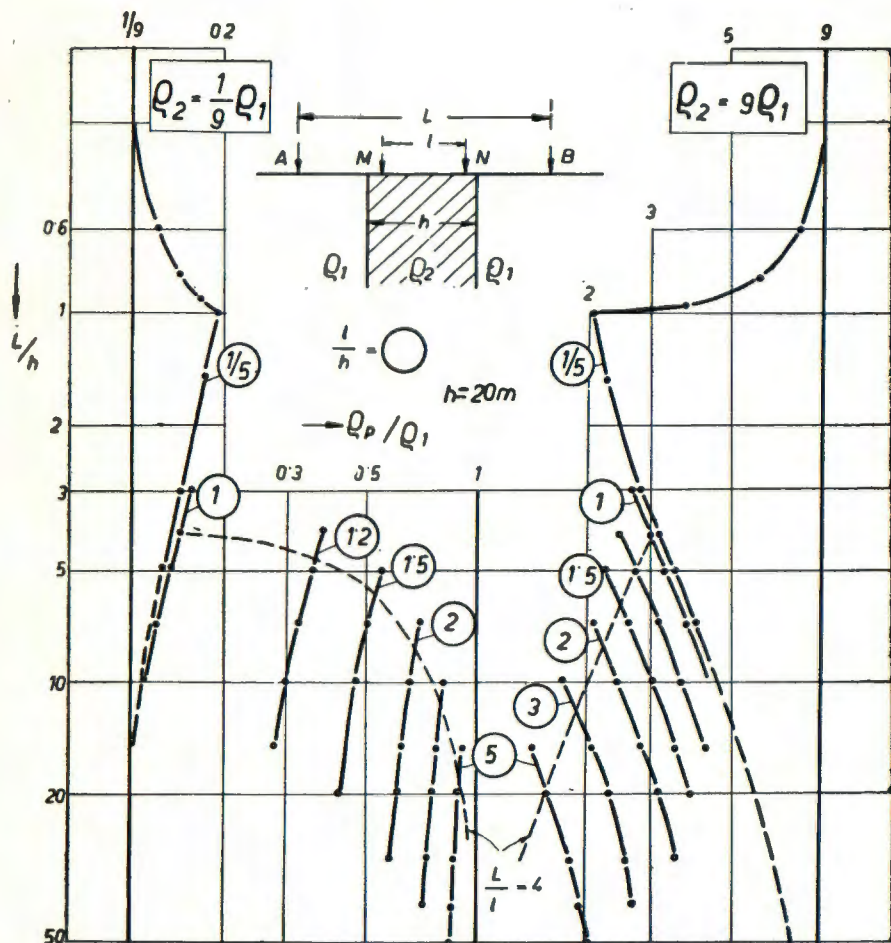
Sl. 8. Računati dijagram sondiranja preko debljeg vertikalnog sloja ekstremno niskog i visokog specifičnog otpora  
 Fig. 8. Calculated sounding curve for measurement across the thicker vertical bed of extremely low and high resistivity

Granična vrijednost formule (10) za  $K = +1$  uz  $D/L \rightarrow 0$  ima vrijednost  $\rho_p/\rho_1 = 0$ , a za  $K = -1$   $\rho_p/\rho_1 = 1$ . Granična vrijednost formule (11) se dobiva uz simetričan položaj cijelog rasporeda s obzirom na vertikalni sloj, tj.  $D/(L + l) \rightarrow 0$ , uz  $K = +1$ :

$$\frac{\rho_p}{\rho_1} = \frac{L}{l} \quad (12)$$

Sve ove karakteristike se jasno ispoljavaju na dijagramu u sl. 7. Upadljiv je skok dijagrama prema nižim vrijednostima prividnog otpora za slučaj  $\rho_2 = \infty$  kad elektroda B pređe preko sloja. Isto tako se vidi da segmenti nisu paralelni s tokom dijagrama koji odgovara položaju elektrode N s lijeve strane. Segmenti teku strmo, pod nagibom cca  $45^\circ$ , približavajući se sve više toku prema formuli (12) ukoliko je više raspored elektroda bliz simetričnom položaju s obzirom na sloj.

Uz pomoć formula (4) – (9) računati su pojedinačni potencijali elektroda M i N za različite položaje elektroda za slučaj sondiranja poprečno preko vertikalnog sloja ekstremno visokog i ekstremno niskog specifičnog otpora i ne posve male debljine. Iz tih pojedinačnih potencijala izračunati su prividni otpori za različite položaje elektroda. Računati dijagram je prikazan u sl. 8. Tu je za pojedine sume trebalo računati više članova nego za dijagram u sl. 4. Segmenti baza za  $1 < l/2D > 3$  računati su s manjom točnošću nego ostali segmenti.



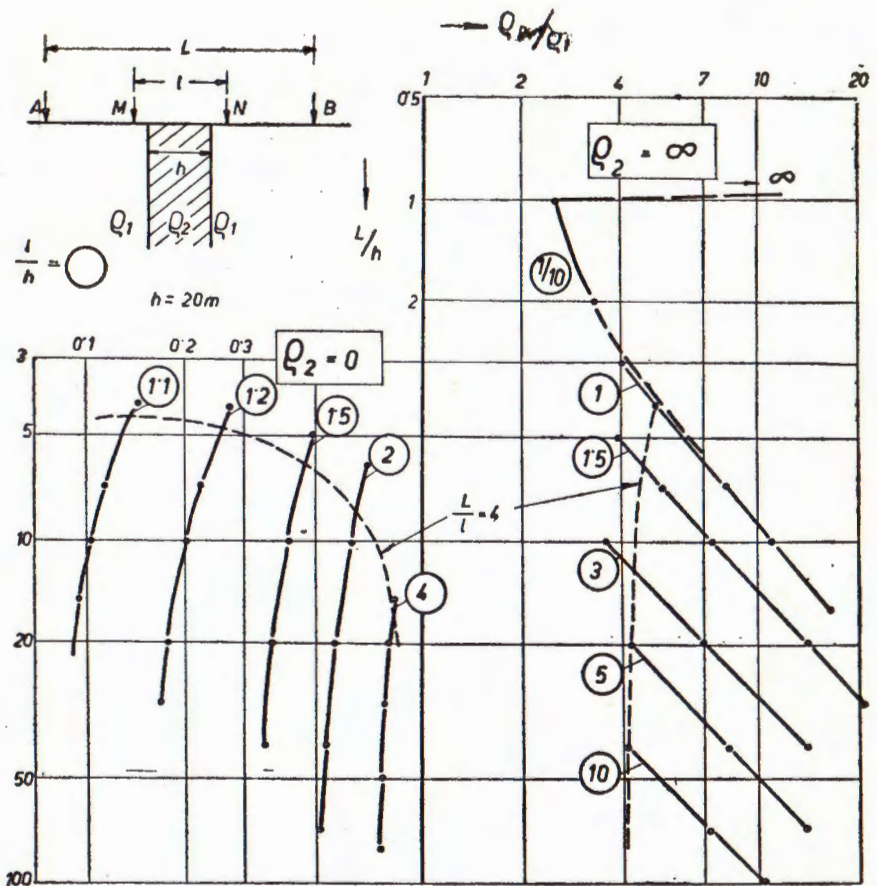
Sl. 9. Računati dijagram sondiranja na vertikalnom sloju nižeg i višeg specifičnog otpora od okolne sredine

Fig. 9. Calculated sounding curve for measurement just above the vertical bed of resistivity lower and higher than the surrounding medium

Dijagram u sl. 8 ima neke karakteristike dijagrama, koji su prikazani u sl. 4 i sl. 7. Upadljivo je da segmenti za baze unutar sloja imaju divergentan (lepezast) oblik, prelazeći iz padajućeg toka baze 1/5 u strmo rastući tok baza koje su veće od 1,1. Najveći skokovi segmenata zbivaju se na dijagramu za  $\rho_2 = \infty$  na samom početku ulaza elektrode N u sloj pa tako baza 1,2 ima skok vrijednosti veći od polovice ukupnog skoka između baza 1/5 i 3.

Ako je  $\rho_2 = 0$ , poremećenje dijagrama je daleko manje i u svemu je slično kao na dijagramu u sl. 4 za niži odnos specifičnih otpora.

I u praksi se može dobiti poremećenje dijagrama takovo da segmenti sa pomacima prema višim vrijednostima ne teku paralelno nego da imaju



Sl. 10. Računati dijagram sondiranja na vertikalnom sloju ekstremno niskog i visokog specifičnog otpora

Fig. 10. Calculated sounding curve for measurement just above the vertical bed of extremely low and high resistivity

lepezast oblik, i to kod prolazanja elektroda preko nehomogenosti koja se može svesti na slučaj vertikalnog sloja visokog specifičnog otpora ili drugim riječima visoke vrijednosti  $R$  prema sl. 5. Može se pretpostaviti da će se takova poremećenja dobiti za slučajeve  $R > 100$ .

U sl. 9 prikazan je dijagram sondiranja računat za slučaj kao u sl. 4 ali s tom razlikom da se ovdje sondiranje izvodi sa centrom simetrično na samom vertikalnom sloju. Prelaz strujnih elektroda preko granica sloja izaziva jače poremećenje ako je sloj višeg specifičnog otpora nego okolna sredina. Uz velike razmake strujnih elektroda i uz položaj potencijalnih elektroda unutar sloja dijagram se postepeno vraća vrijednosti specifičnog otpora  $\rho_2$  samog sloja i to brže za slučaj  $\rho_2 = 1/9 \rho_1$ . Nakon što potencijalne elektrode iziđu iz sloja i sve više se razmiču, pripadni segmenti se sve više približuju normalnoj vrijednosti  $\rho_1$  okolne sredine. Za odnos  $\rho_2 = 1/9 \rho_1$  baza 5 daje vrijednosti već posve blizu vrijednosti specifičnog otpora okolne sredine. Za obrnut odnos specifičnih otpora potrebno je veće razmicanje potencijalnih elektroda da bi se dosegao specifični otpor okolne sredine, kako se to može zaključiti i iz tokova spojnice točaka  $L/l = 4$  za oba slučaja.

Prema izgledu pomaknutih segmenata može se zaključiti da su oni međusobno skoro posve paralelni.

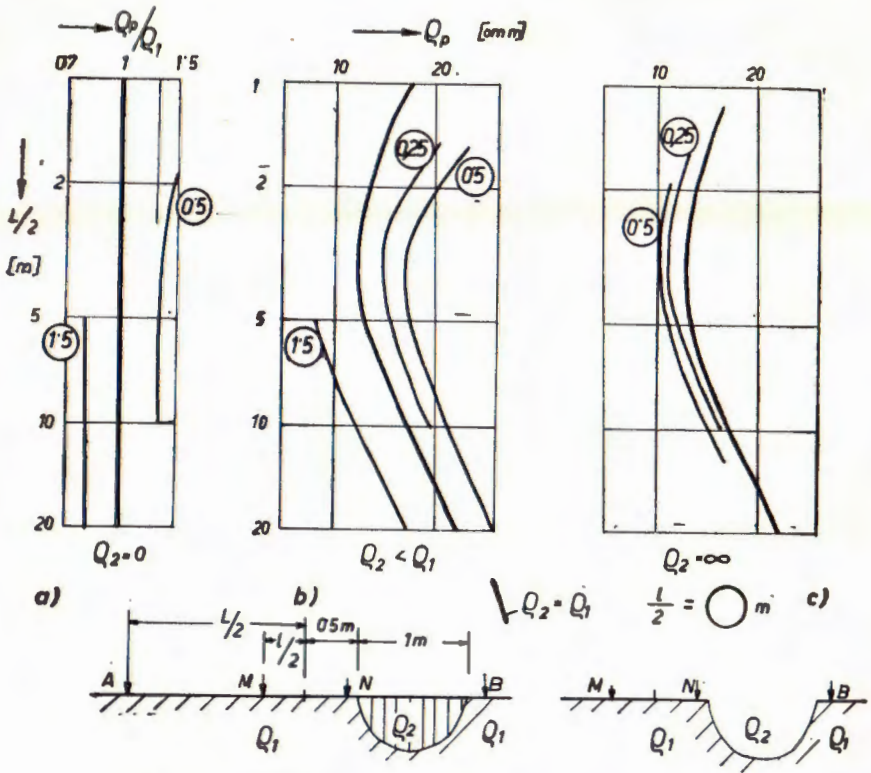
U sl. 10 prikazan je analogan slučaj kao u sl. 9, ali s tom razlikom da ovdje sloj ima ekstremno nizak i ekstremno visok specifični otpor. Uz  $\rho_2 = 0$  dijagram ima vrijednost nula za sve baze manje od 1, a za baze manje od 1,1 vrijednosti prividnog otpora su oko 0,1  $\rho_1$ . Uz dalje razmicanje potencijalnih elektroda brzo će se dobiti vrijednost blisku specifičnom otporu okolne sredine kako to pokazuje i spojnica točaka za  $L/l = 4$ .

Uz  $\rho_2 = \infty$  dijagram ima vrijednosti beskonačno visoke sve dokle strujne elektrode ne dođu do granica sloja i iziđu iz sloja. Najnižu vrijednost ima dijagram kad su strujne elektrode na samim granicama sloja. Svi segmenti dijagrama imaju strm tok, sve bliži toku pod  $45^\circ$  ukoliko su baze veće.

#### EKSPERIMENTALNA MJERENJA NA OGRANIČENIM NEHOMOGENOSTIMA

Za dobivanje potpunijeg uvida u upliv ograničenih površinskih i plitko-površinskih nehomogenosti na dijagrame sondiranja izveo je autor neka eksperimentalna mjerenja sa svrhom da se ispita tok segmenata na poremećenim dijagramima. Poremećenja zbog samog prelaza strujnih i potencijalnih elektroda preko ograničene površinske nehomogenosti sniženog specifičnog otpora opisao je kvalitativno J a k o s k y (1949).

U sl. 11 prikazana su mjerenja na nehomogenosti oblika polukugle na površini. Ako je specifični otpor ove polukugle jednak nuli, može se teoretski uzeti da je za bazu 0,5 m kao i za bazu 1,5 m stvarni položaj

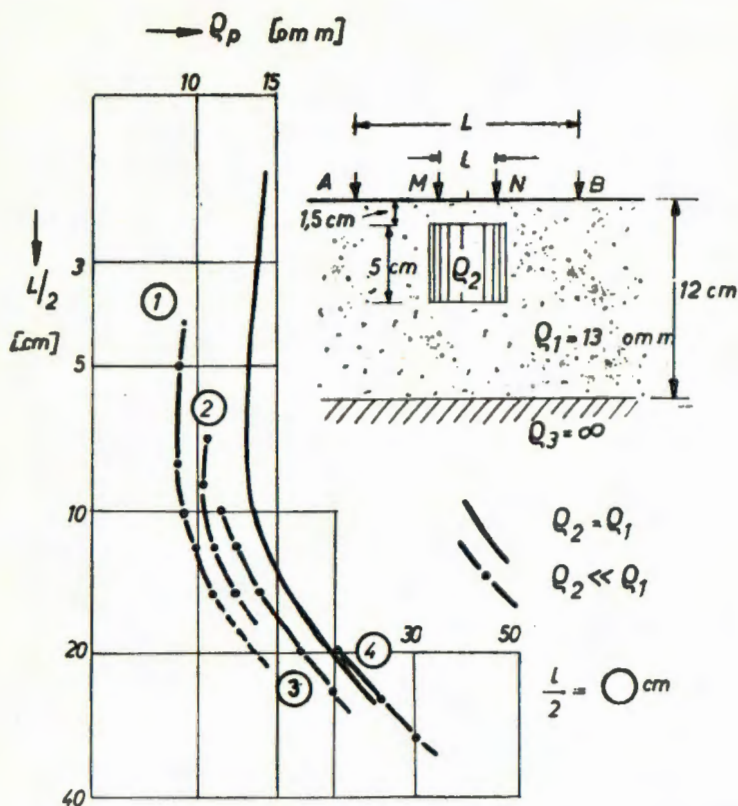


Sl. 11. Poremećenje dijagrama sondiranja kod mjerenja preko ograničene nehomogenosti oblika polukugle: a) teoretski, b) eksperimentalna mjerenja  
 Fig. 11. Deformation of the sounding curve obtained by measurement across a delimited hemispheroidal inhomogeneity: a) theoretically, b) by experimental measurements

elektrode N u centru polukugle zbog čega je segment baze 0,5 m pomaknut prema višim a segment baze 1,5 m prema nižim vrijednostima prividnog otpora. Kao što se vidi, segmenti teku praktički paralelno sa normalnim dijagramom za slučaj homogene površine, a iedino početak baze 0,5 m odstupa od paraleliteta zbog upliva blizine strujne elektrode.

Relativno sličan tok dijagrama dalo je eksperimentalno mjerenje pod sličnim uvjetima, slučaj b). Najprije je na ravnom terenu izmjeren dijagram izvučen debelom linijom, a potom je na centru sonde iskopana rupa oblika polukugle i napunjena finim pijeskom, koji je prethodno bio nakvašen zasoljenom vodom. Dobiveni pomaknuti segmenti pokazuju tok posve analogan teoretskom slučaju pod a). Segmenti su međusobno praktički paralelni. Početak baza 0,25 i 0,5 m odstupa od paraleliteta s normalnim dijagramom zbog djelovanja blizine strujne elektrode, koja je djelomičnim uplivom bolje vodljive mase u stvari približena centru sonde. Mjerenje sa praznom rupom, c), dalo je za položaje elektrode





Sl. 12. Dijagram sondiranja dobiven mjerenjem na modelu nad cilindričnim metalnim tijelom

Fig. 12. Sounding curve obtained by model measurements above a cylindrical metal body

N pred rupom i na rubu rupe relativno manje pomake segmenata. Segmenti nisu posve paralelni sa normalnim dijagramom.

U sl. 12 prikazani su rezultati eksperimentalnog mjerenja na modelu nad cilindričnom metalnom masom, koja je ukopana u navlaženi fini pijesak, prema slici. Mjereno je simetrično nad metalnom masom kao izrazitom plitkom nehomogenosti, da se ispita poremećenje kod premještanja potencijalnih elektroda. Segment baze 1 spušten je zbog smanjenja gustoće struje iznad metalne mase. Slijedeći segmenti se sve više vraćaju normalnom toku dijagrama jer se na površini smanjenje gustoće struje zbog koncentracije strujnih linija prema bolje vodljivoj masi – nehomogenosti – u pravcu od centra postepeno gubi. Na izvjesnoj udaljenosti od centra, ovdje na bazi 4 cm, više se ne osjeća upliv nehomogenosti, segment teče priljubljen uz normalni dijagram, mjereno na istom mjestu prije ukapanja metalnog tijela.

Uočljivo je da segmenti teku međusobno paralelno. Može se očekivati da bi segment baze 1 cm tekao spušten paralelno s normalnim dijagramom da je mjerenje s istom bazom bilo vršeno još mnogo dublje. Da se eliminira upliv nehomogenosti očito je da bi ovdje trebalo sve pomaknute segmente paralelno podići do segmenta baze 4 cm, kako bi se dobio dijagram bez upliva nehomogenosti.

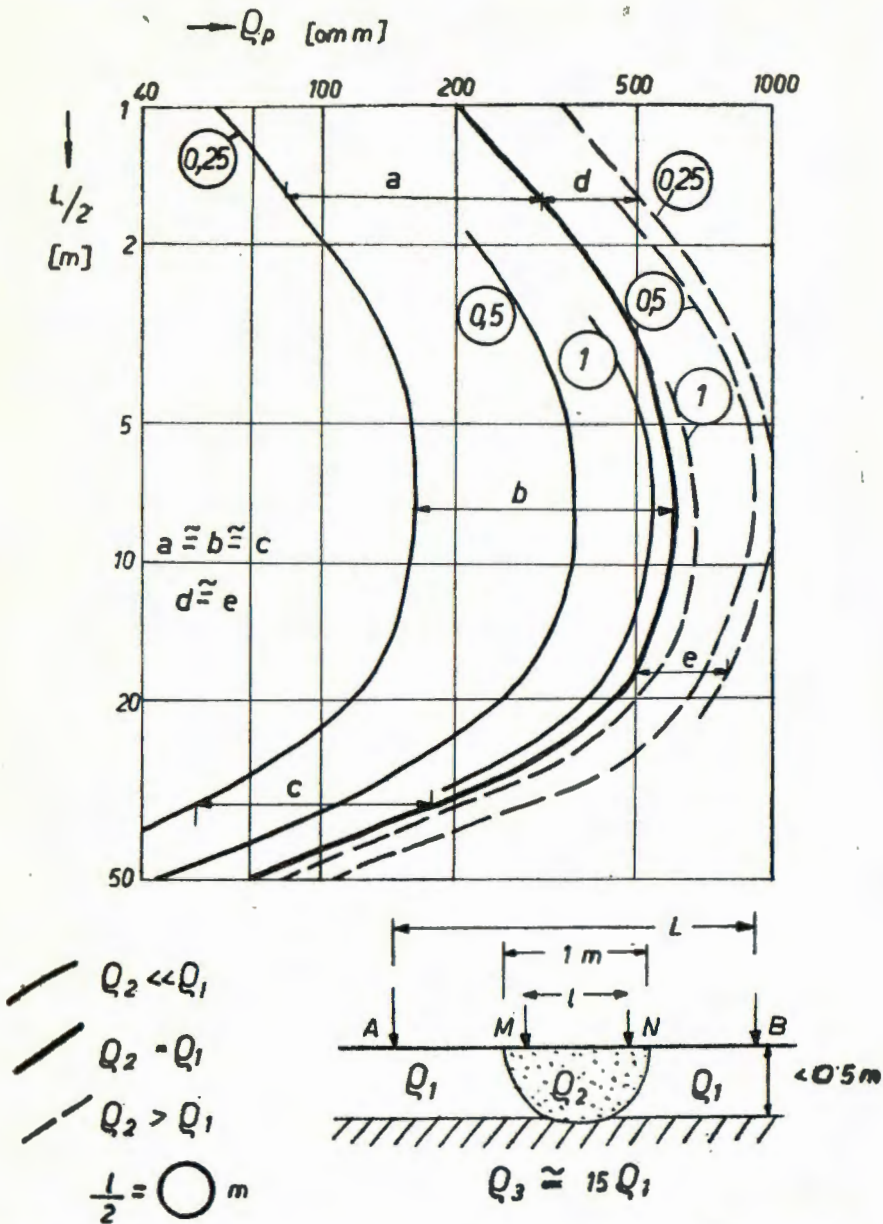
Da se dobije potpunija slika o paralelitetu pomaknutih segmenata na poremećenom dijagramu zbog upliva ograničene nehomogenosti izvršeno je eksperimentalno mjerenje i na drugom terenu. Najprije je na ravnom terenu mjeren dijagram ucrtan debelom linijom u sl. 13. Profil po dubini je slijedeći: manje od 0,5 m zemljastog pokrova, ispod toga nekoliko metara šljunka, a ispod njega debela glinovita serija. Potom je na centru sonde iskopana rupa oblika polukugle i napunjena suhim pijeskom, a zatim je izmjeren dijagram izvučen crtkanom linijom. Nakon toga je pijesak navlažen zasoljenom vodom i izmjeren dijagram izvučen punom linijom.

Iz dijagrama se može tek mjerenjem na različitim mjestima ustanoviti da su segmenti međusobno praktički paralelni. Zbog strmih nagiba segmenata taj paralelitet se prostim okom ne može uočiti. Mjerene distance među pojedinim segmentima su skoro iste duž cijelog dijagrama, vidi distance  $a$ ,  $b$  i  $c$  te  $d$  i  $e$ . Da su mjerenja bila vršena sa bazom 0,25 m još puno dublje, očito je da bi se dobio cijeli segment jednako spušten po cijeloj dužini ispod normalnog dijagrama, a time bi se interpretacijom i specifični otpori dubljih materijala dobili znatno niži. Da se uoči normalna vrijednost dijagrama potrebno je mjerenje u ovom slučaju četiriju baza, pa se tek onda jasno vidi, da su treća i četvrta baza dale vrlo bliske segmente koji daju neporemećenu vrijednost dijagrama. Da se eliminira upliv nehomogenosti treba pomaknute segmente, prema svemu naprijed rečenom, paralelno podići do posljednjeg segmenta.

Iz prikazanih upliva nehomogenosti u horizontalnom pravcu mogu se izvesti zaključci kako treba korigirati poremećeni dijagram sondiranja da bi se dobio dijagram bez upliva nehomogenosti.

Kod izrazite nehomogenosti kao u sl. 2 treba sve pomaknute segmente paralelno vratiti na prve, neporemećene segmente a potom također korigirati dijagram od upliva prelaza strujne elektrode preko kontakta. Asimptotska vrijednost posljednjih segmenata daje specifični otpor susjednog materijala, budući da ona ima vrijednost  $(\rho_1 + \rho_2)/2$ . Asimptotska vrijednost se može približno odrediti pomoću spojnice točaka istog odnosa  $L/l$  (npr. odnos  $L/l = 4$  kao u sl. 2) na segmentima. Tok te krivulje pomoći će ocjeni asimptotske vrijednosti ukoliko se ova ne ispoljava barem sa dva segmenta koji su još samo malo razmaknuti.

Kod nehomogenosti tipa vertikalnog sloja prema sl. 4 treba sve pomaknute segmente vratiti na početne, neporemećene segmente, a potom izvući fiktivni neporemećeni dijagram. Pri tome treba imati na umu da je dijagram još neporemećen uz razmak strujnih elektroda za polovicu manji od onog razmaka, kod kojega je strujna elektroda došla na samu granicu sloja a također da se dijagram vraća normalnom toku uz veliki razmak elektroda. Ako je sam centar sonde na nehomogenosti tipa ver-



Sl. 13. Dijagrami sondiranja dobiveni mjerenjem na nehomogenosti oblika poluskugle  
 Fig. 13. Sounding curves obtained by measurements above a hemispherical inhomogeneity

tikalnog sloja ili ograničene nehomogenosti, sl. 9, 12 i 13, upliv nehomogenosti se otklanja na taj način da se posljednje baze smatraju neporemećene i na njih vrata pomaknuti segmenti, a potom korigira dijagram još od upliva prelaženja strujnih elektroda preko granica sloja.

Kod ograničene nehomogenosti kao u sl. 11 brzo bi se postigao normalni tok segmenata jer se upliv nehomogenosti ne osjeća na većoj daljini. Treba upozoriti da se u izvjesnoj mjeri sličan redoslijed pomicanja segmenata dobiva kod plitke nehomogenosti prema sl. 11 i duboke nehomogenosti prema sl. 4 ako je kod oba tipa nehomogenosti isti odnos između specifičnih otpora nehomogenosti i okolne sredine. Ova sličnost bi se jasnije uočila da je i u sl. 11 bilo mjereno sa više baza kao u sl. 4 te da je i tu izvučena spojnica točaka s odnosom  $L/l = 4$ . Za bolje uočavanje ove sličnosti treba promatrati samo pomake segmenata za položaj potencijalne elektrode na rubu plitke nehomogenosti pa na dalje. Ova veza između oba tipa nehomogenosti je logična jer se od vertikalnog sloja uz postepeno smanjenje dubine i dužine može doći do ograničene plitke nehomogenosti. Međutim među poremećenim dijagramima obaju tipova nehomogenosti postoje i primjetne razlike a napose u veličini poremećenja zbog prelaza strujne elektrode preko nehomogenosti.

Kod dubokih nehomogenosti tipa vertikalnog sloja veća poremećenja daje slučaj kad je sloj višeg specifičnog otpora nego okolna sredina. Kod plitkih nehomogenosti izgleda da jače poremećenje izaziva slučaj kad je nehomogenost nižeg specifičnog otpora nego okolna sredina. U slučaju obrnutog odnosa među specifičnim otporima poremećenje je slabije izraženo.

Uz poznavanje upliva različitih tipova nehomogenosti mogu se izvesti zaključci o najprikladnijem načinu njihova istraživanja kad su te nehomogenosti direktan predmet istraživanja (istraživanje boksitnih džepova, rudnih tijela i sl.). Tako se na pr. može za istraživanje vertikalnih slojeva metodom geoelektričnog profiliranja zaključiti da treba uzeti razmak strujnih elektroda što veći a potencijalnih što manji. Također je omogućeno i detaljnije provjeravanje tipa nehomogenosti metodom geoelektričnog sondiranja dok su za otkrivanje nehomogenosti prikladnije neke druge geoelektrične metode.

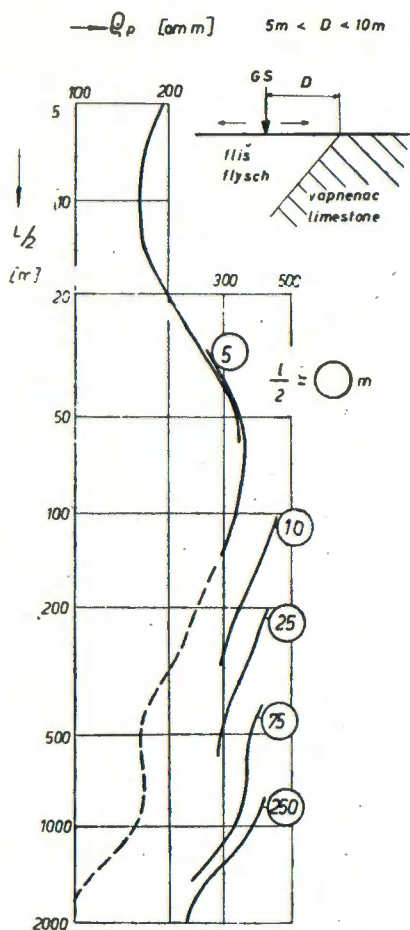
#### TUMAČENJE NEKIH POREMEĆENIH TERENSKIH DIJAGRAMA SONDIRANJA

Iz K u n e t z - ova rada (1955) proizlazi, da slična poremećenja dijagrama stvaraju vertikalni kontakti i vertikalni slojevi, ako se protežu beskonačno u dubinu kao i u slučaju, kad se ispod njih na stanovitoj nevelikoj dubini proteže paralelno s površinom sredina beskonačno visokog specifičnog otpora. U potonjem slučaju poremećenja se ispoljavaju na dijagramu, koji ima oblik dvosloja sa strmim porastom prividnog otpora zbog zahvaćanja niže ležeće beskonačno otporne sredine.

Iz toga se može izvesti zaključak, da se u ovom radu opisana poremećenja zbog prelaza strujnih i potencijalnih elektroda preko vertikal-

nog sloja mogu koristiti i za objašnjenje upliva nehomogenosti, koje ne sežu u veliku dubinu a imaju oblik gornjih dvaju tipova nehomogenosti. Ovaj princip je korišten za objašnjenje nekih poremećenih dijagrama sondiranja prikazanih u sl. 14–17. Objašnjenje poremećenja se zasniva negdje na terenskim zapažanjima o izgledu površinskih prilika a negdje je pretpostavljeno prema sličnosti sa teoretski obrađenim slučajevima.

U sl. 14 prikazan je dijagram sondiranja mjereno u blizini kontakta fliša i vapnenca i to preko kontakta ali ne pod pravim kutom na njegovo pružanje. Stalni pomaci segmenata prema gore do postizanja ko-

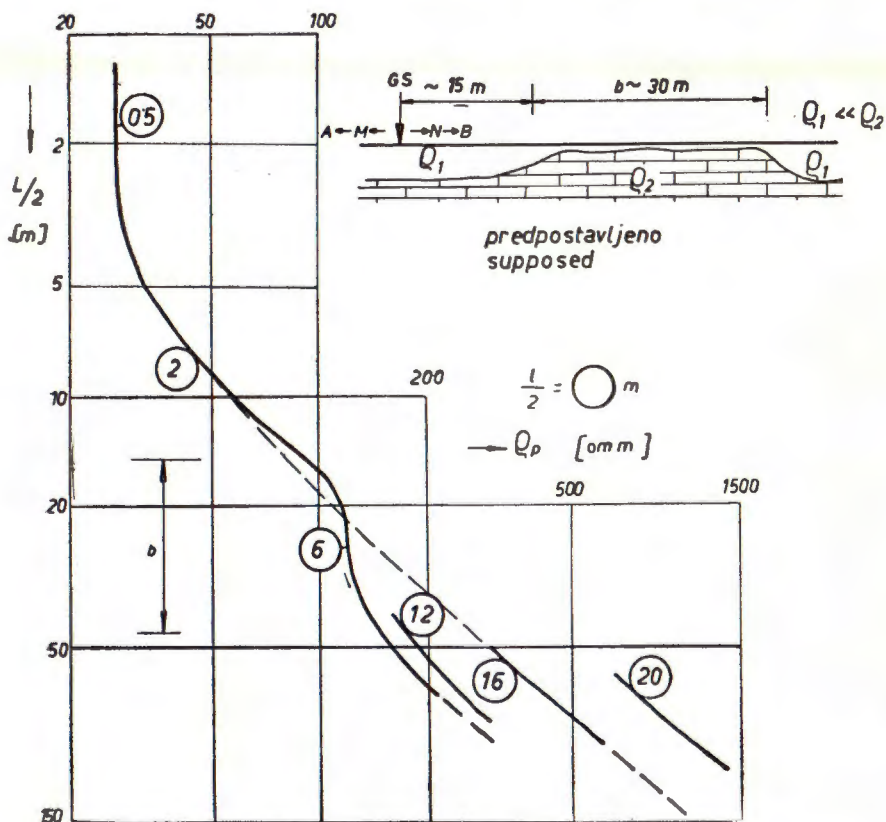


Sl. 14. Terenski dijagram sondiranja, GS 24, Ravni Kotari 1957, poremećen zbog prelaska dviju elektroda u područje višeg specifičnog otpora (vapnenac); GS – geoelektrična sonda

Fig. 14. Field sounding curve, GS 24, Ravni Kotari 1957, deformed owing to passing of two electrodes through the higher resistivity area (limestone)

načne veličine (praktični već sa bazom 75 m) posve su u skladu sa teoretskim slučajem u sl. 2 desno. Vraćanje svih segmenata na početne segmente je posve opravdano.

U sl. 15 prikazan je slučaj gdje su elektrode s jedne strane centra sonde nesumnjivo prešle preko pojasa duž kojega je vapnenac skoro



Sl. 15. Terenski dijagram sondiranja, GS 92, Pazin 1955, poremećen zbog prelaska dviju elektroda preko pojasa povišenog specifičnog otpora

Fig. 15. Field sounding curve, GS 92, Pazin 1955, deformed owing to crossing of a higher resistivity belt by two electrodes

posve ogoljen, dok je na području centra sonde pokriven cca 5 m debelim slojem dobro vodljive vlažne crljenice. Pomak na dijagramu iza  $L/2 = 20$  m mogao bi upućivati na neko bolje vodljivo tijelo u dubini ispod centra sonde (možda neki boksitni džep – na ovom terenu direktni predmet istraživanja) kad ne bi segmenti baza 16 i 20 m pokazivali pomake prema višim vrijednostima, usporedi sa sl. 4 desno. Ovime je utvrđeno da je smanjenje prividnog otpora na dijagramu izazvano nekom površinskom nehomogenosti (ogoljeni vapnenac) koja je udaljena

od centra sonde cca 15 m a širina joj je cca 30 m. U slici je označeno kako bi trebalo dijagram korigirati da se eliminiira upliv nehomogenosti.

Analogan slučaj prelaza preko pojasa višeg specifičnog otpora od okolne sredine predpostavljen je u sl. 16. Na dijagramu je ispoljeno i poremećenje zbog prelaza strujne elektrode kao i zbog prelaza potencijalne elektrode preko ovog pojasa. Baza 10 m, blizu daljeg ruba ovog

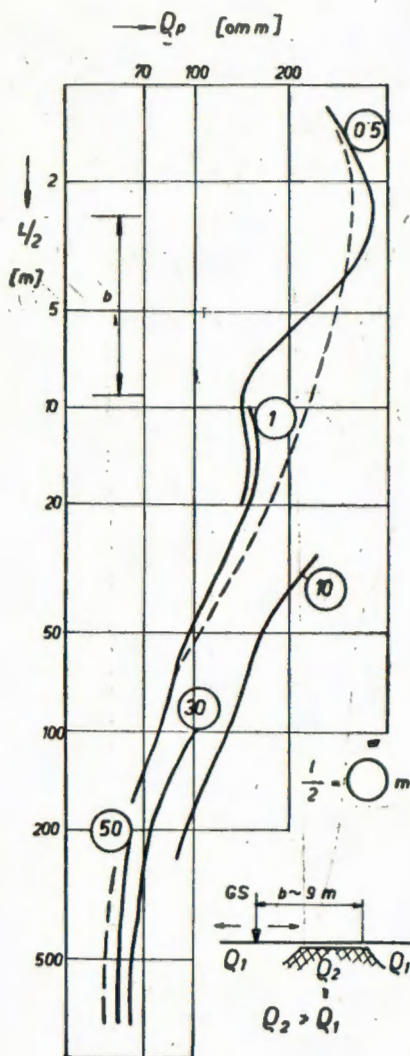
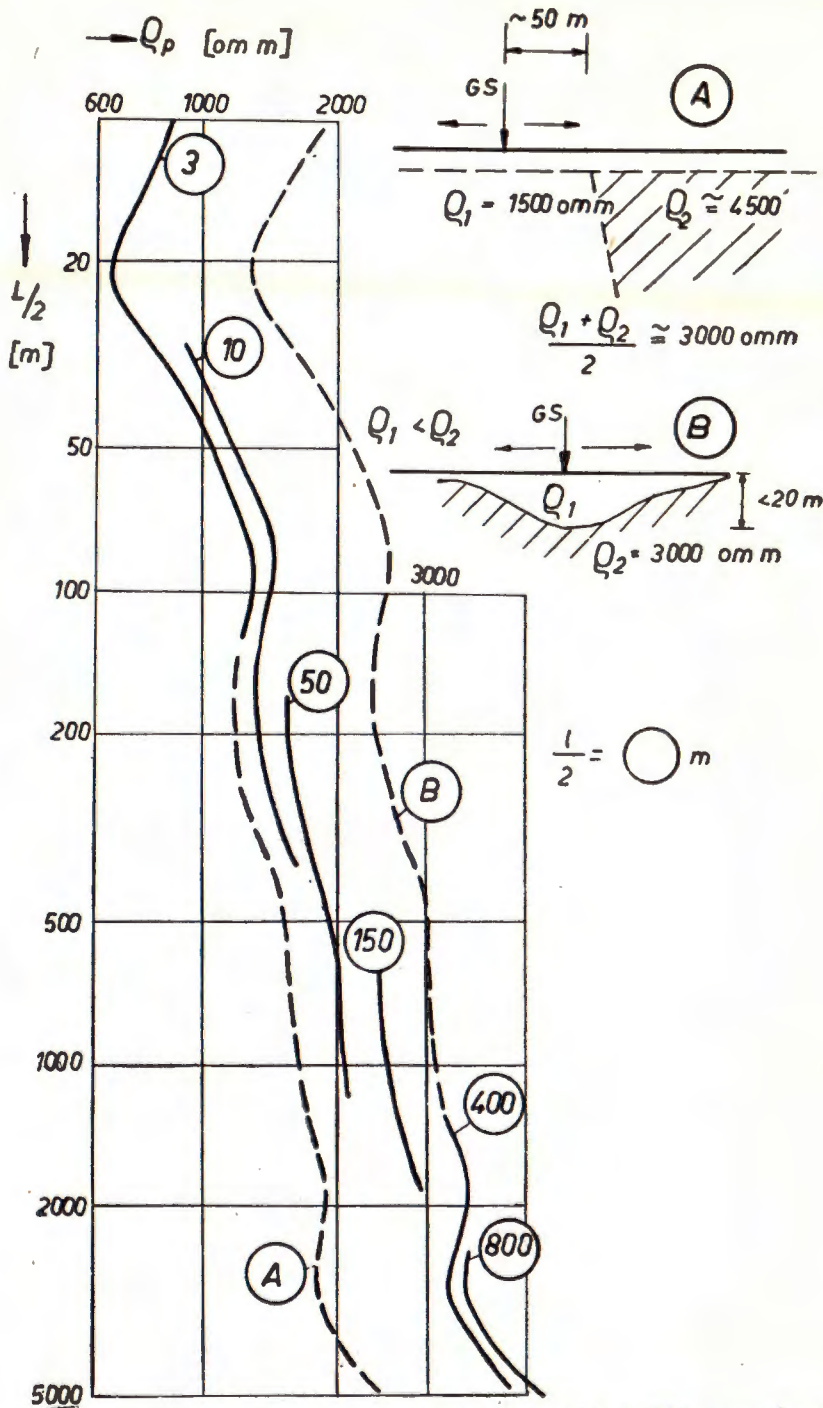


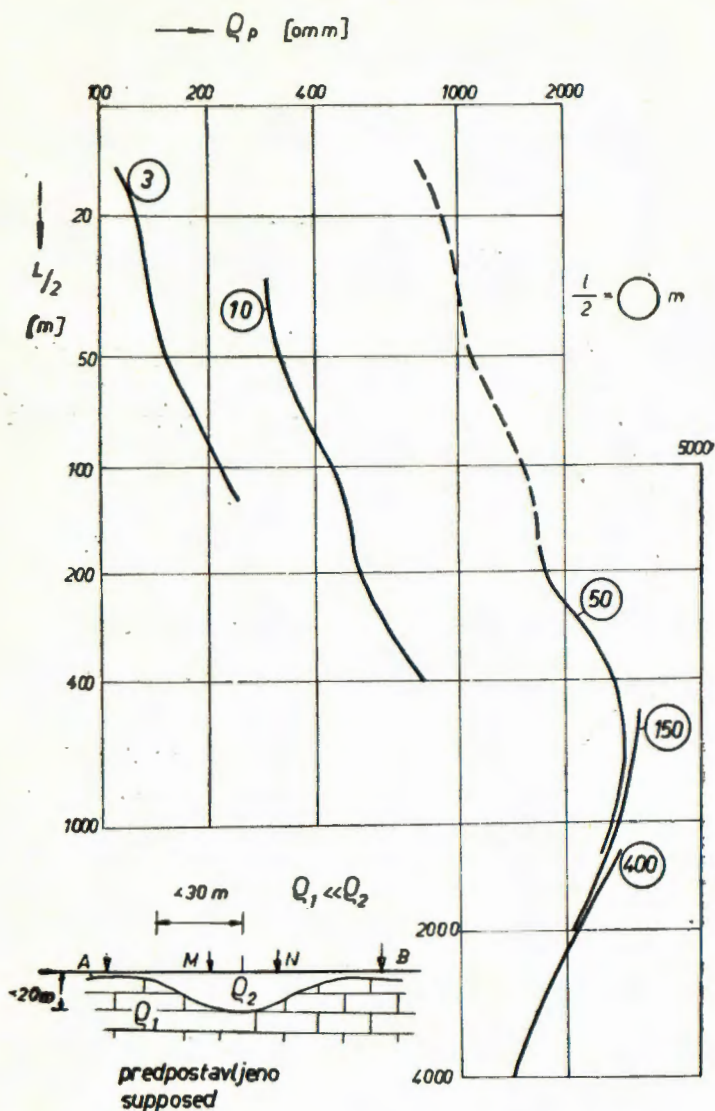
Fig. 16. Field sounding curve. GS 69, Ravni Kotari 1960, deformed owing to crossing prelaska dviju elektroda preko pojasa povišenog specifičnog otpora

Fig. 16. Field sounding curve, GS 69. Ravni Kotari 1960, deformed owing to crossing of a higher resistivity belt by two electrodes



Sl. 17. Terenski dijagram sondiranja, GS 82, Ravni Kotari 1960, poremećen zbog nehomogenosti na području centra ili izvan centra rasporeda elektroda  
 Fig. 17. Field sounding curve, GS 82, Ravni Kotari 1960, deformed by inhomogeneity either in the centre or at one side out of the centre of electrode disposition

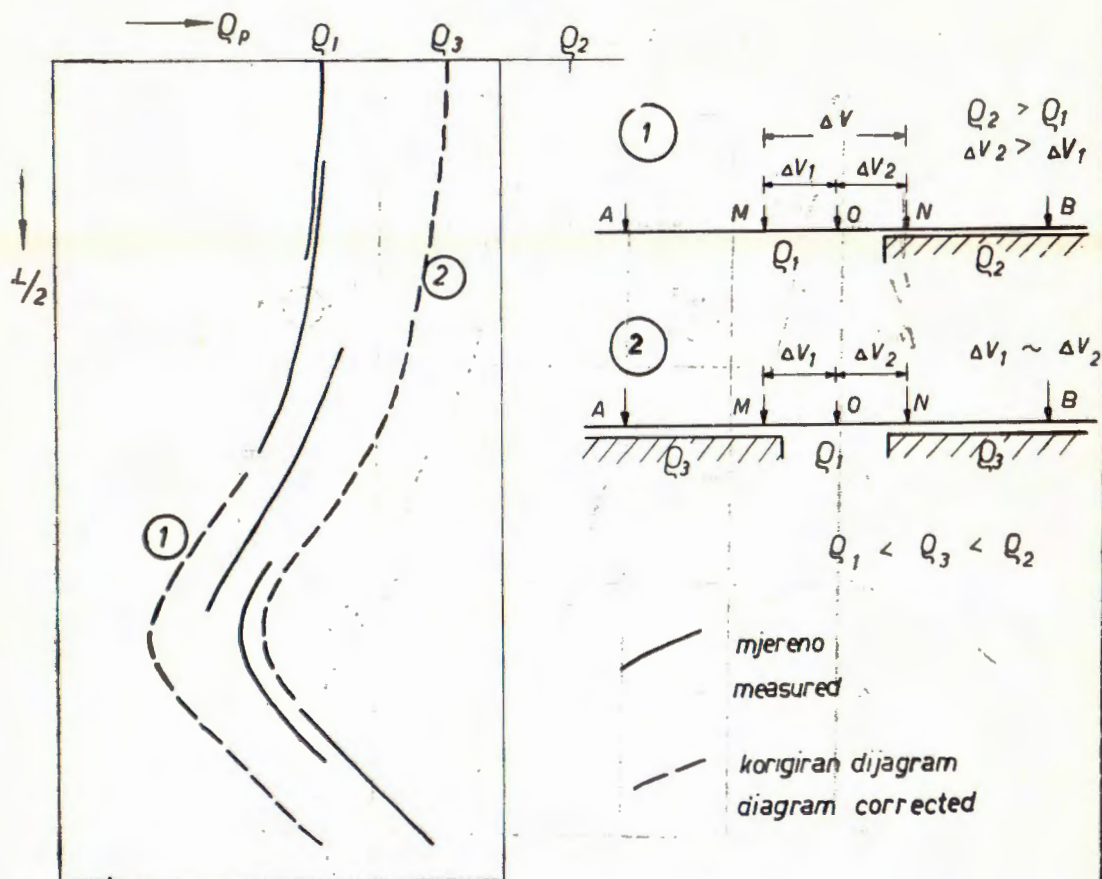




Sl. 18. Terenski dijagram sondiranja, GS 78, Ravni Kotari 1960, poremećen zbog nehomogenosti na području centra rasporeda elektroda

Fig. 18. Field sounding curve, GS 78, Ravni Kotari 1960, deformed by inhomogeneity in the centre of electrode disposition

pojasa, ima najveći pomak segmenta a slijedeće baze se postepeno približavaju prema toku, koji bi imao dijagram za slučaj homogene površine. Oblik poremećenja u svemu upućuje na sličnost sa teoretskim slučajem u sl. 4 desno.



Sl. 19. Shema mjerenja parcijalnih razlika potencijala po Lee-ovu rasporedu elektroda, u svrhu lociranja nehomogenosti u centru ili izvan centra rasporeda elektroda

Fig. 19. Scheme of measurement of partial potential differences after Lee's electrode disposition to enable localization of inhomogeneity in the centre or at one side out of the centre of electrode disposition

U sl. 17 prikazan je dijagram sondiranja sa postepenim pomakom segmenta prema višim vrijednostima prividnog otpora. To bi moglo biti uzrokovano ulaskom jedne strujne i jedne potencijalne elektrode u područje sa višim specifičnim otporom nego što ga ima područje centra sonde i suprotna strana. Također se slično poremećenje može dobiti ako se sam centar sonde nalazi u zoni nehomogenosti a sa većim razmakom elektroda da se postigne prava veličina specifičnog otpora okoline homogene sredine. Iz samog dijagrama se ne može uočiti o kojem se slučaju ovdje radi. To bi se lakše moglo riješiti uz jednostavno mjerenje po shemi u sl. 19.

Poremećeni dijagram u sl. 18 bez sumnje treba tumačiti da je izazvan lokalnom nehomogenosti nižeg specifičnog otpora na području samog centra sonde. To potvrđuje i niska veličina prividnog otpora u početku dijagrama s obzirom da je mjereno u području vapnenaca. Jasnu sliku o načinu eliminacije upliva nehomogenosti dobiva se jedino uz mjerenje sa nekoliko baza. Tek segmenti baza 50 i 150 m, priljubljeni jedan uz drugoga, dokazuju da su postignute normalne veličine prividnog otpora, koje bi imao dijagram kad bi površina bila posve homogena. Da nema mjerenja sa bazama preko 50 m ne bi se znalo da li su postignute normalne vrijednosti dijagrama.

### ZAKLJUČAK

Prema svemu naprijed izloženome može se zaključiti da je za ispravno eliminiranje upliva različitih tipova nehomogenosti pogodno da je mjerenje izvršeno sa većim brojem baza nego što bi inače zahtijevala sama tehnika mjerenja s obzirom na preciznost mjernih instrumenata. Kako su u nekim slučajevima upravo prve baze pod najjačim uplivom nehomogenosti, bilo bi pogrešno shvaćanje da treba izbjeći mjerenje sa većim brojem baza da se ne bi dobili pomaci segmenata na dijagramu. Međutim upravo ti pomaci segmenata omogućuju ispravno tumačenje cijelog dijagrama.

Od opisanih tipova nehomogenosti veći broj je dao paralelne pomake segmenata. Duboke anomalije vrlo visokog specifičnog otpora uzrokuju neparalelne pomake segmenata ako je centar sonde izvan nehomogenosti. U sl. 13 dobiveni su i na plitkoj nehomogenosti visokog specifičnog otpora paralelni pomaci segmenata ali se ne može tvrditi da će se paralelni pomaci segmenata dobiti i u slučaju kad je centar sonde izvan nehomogenosti. Ovaj tip nehomogenosti treba još dalje studirati.

Eliminiranje upliva nehomogenosti vrši se dakle u većini prikazanih teoretskih i praktičkih slučajeva paralelnim pomicanjem segmenata prema segmentima nižih ili viših baza – ovisno o tipu pojavljivanja nehomogenosti. U pojedinim slučajevima treba potom na tako dobivenom dijagramu još eliminirati upliv prelaza strujne elektrode ili obiju strujnih elektroda preko granica nehomogenosti. Da se u spornim slučajevima provjeri paralelnitet segmenata treba ih mjeriti tako da se preklapaju u većoj dužini.

U praksi se često dobivaju na dijagramima sondiranja pomaci segmenata takovi da se iz samog dijagrama ne može uočiti o kojem tipu pojavljivanja nehomogenosti se radi. Poremećenja zbog prelaza strujnih elektroda preko granica nehomogenosti nisu uvijek na dijagramima jasno vidljiva. Zbog svega toga nije jasno da li segmente treba vraćati na početne ili na posljednje segmente. Problem pravilnog korigiranja dijagrama mogao bi se u takovim slučajevima riješiti uz pomoć parcijalnog mjerenja razlike potencijala sa Lee-ovim 5-elektrodnim rasporedom, sl. 19. Bilo bi najzgodnije kod mjerenja sa 4-elektrodnim simetričnim rasporedom da se u svakom slučaju barem početak svake

nove baze mjeri zasebno lijevo a zasebno desno od centra, to jest između elektroda M-O te O-N. Prema sl. 19 moći će se iz dobivenih veličina parcijalnih razlika potencijala zaključiti da li se nehomogenost nalazi po strani od centra sonde ili se sam centar sonde nalazi u području nehomogenosti – u odnosu na šire okolno područje. Na taj način bilo bi omogućeno da se pravilnije pomaknu segmenti prema nižim ili prema višim bazama, a što je u nekim slučajevima važno znati kako bi se izbjele veće pogreške.

Za konačno rješenje problema ispoljavanja različitih tipova nehomogenosti u dijagramu sondiranja treba obraditi još mnoge druge tipove pojavljivanja nehomogenosti, počevši sa plitkim ali prostranim nehomogenostima. Dobivene rezultate treba nadovezati na rezultate koji su prikazani u ovom radu.

*Primljeno 10. 1. 1963.*

#### LITERATURA

- Dahnov, V. N., 1948: Interpretacija karotažnih diagram; Gostoptehizdat, Moskva – Lenjingrad.
- De Gery, J. C. & Kunetz, G., 1956: Potential and Apparent Resistivity over Dipping Beds; Geophysics, No. 3.
- Fritsch, V., 1960: Elektrische Messungen an räumlich ausgedehnten Leitern; Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- Jakosky, J. J., 1949: Exploration Geophysics; 2. Ed., Trija Publ. Co. Los Angeles.
- Kovačević, S., 1956: Upliv nehomogenosti površine na krivulju geoelektričnog sondiranja. Rad u fondu poduz. »Geofizika« – Zagreb.
- Kovačević, S., 1960: The Effect of an Anomalous Medium, Appearing on the Surface, on Electrical Sounding Curves when the Inner Electrodes of the Schlumberger Arrangement are not fixed. Paper (referat) on 19th Meeting of E. A. E. G., Pariz, Dec. 1960.
- Kreines, I. I., 1957: O nekatorih iskaženijah krivih VEZ v uslovijah vertikaljnovo kontakta električeski raznorodnih horizontov: Priklad. geofizika, 17, Moskva.
- Kunetz, G., 1955: Einfluss vertikaler Schichten auf elektrische Sondierungen. Vortrag Tagung Deutsch. Geophys. Ges., München, 29. April 1955.
- Pičugin, N. I., 1960: Kartirovanie krutih kontaktov i tektoničeskih narušenij po dannim VEZ. Razvedka i ohrana neodr., No 9, Gosgeoltehzdat.
- Schenk, E., 1943: Zur Bedeutung und Auswertung von Unstättigkeiten in Diagrammen geoelektrischer Vertikalsondierungen. Beitr. angew. Geophysik, 10, No 3/4.
- Vedrincev, G. A., 1960: K teoriji električeskih zondirovanij gorizontajno neodnorodnih sred. Priklad. geofizika, 26, Gostoptehizdat, Moskva.
- — — Terenski materijali iz fonda dokumenata poduzeća »Geofizika«, Zagreb.

S. KOVAČEVIĆ

DEFORMATIONS OF RESISTIVITY SOUNDING CURVES PROVOKED BY  
CROSSING OF SOME DEEP AND SHALLOW INHOMOGENEITIES BY  
POWER AND POTENTIAL ELECTRODES

Deformations of the resistivity sounding curves, when the inner, potential electrodes of the Schlumberger electrode disposition cross various types of surface inhomogeneity, are treated in the geoelectrical literature only fragmentarily. From these articles it is not evident when the deformed segments are shifted parallel, and when not. Neither is shown the kind of deformation of the diagrams caused by various types of surface inhomogeneity.

In field work, particularly when executing the so-called deep soundings, the distance between the potential electrodes has to be increased from time to time: to avoid measurement of too low values of potential differences. Thus, the potential electrodes may cross various types of surface inhomogeneities resulting in corresponding deformations of the sounding curves. Such deformations of the sounding curves for various types of inhomogeneities should be known in order to make possible proper correction of the obtained deformed curves, and to avoid their misinterpretation. Inaccurate thicknesses and inaccurate resistivities may be obtained for the adequate depth corresponding to the deformed part of the sounding curve if the curve is not corrected in a proper manner before its interpretation. A knowledge of the true resistivity values is often very important, especially for water exploration, where the resistivity value depends on the porosity and water content.

In the article the author treats in detail of some cases of lateral inhomogeneities: of the vertical contact of two differing materials, of the thinner and thicker vertical bed and delimited shallow surface inhomogeneity. By means of the obtained results it is possible to explain and correct some more complicated deformations of the sounding curves.

Several strongly deformed field sounding curves are represented with explanations of the cause of deformation. The explanations are in some cases based on evident, and in others on supposed surface conditions. The Lee method of measuring partial potential differences, Fig. 19, is suggested to make possible a more correct localization of inhomogeneity which is the cause of deformation.

It has been established in this article that most of the theoretical and field sounding curves presented show a nearly parallel shift of the deformed curve segments. Only high resistivity vertical beds, probably also shallow delimited inhomogeneity, have caused an unparallel shift of the segments, and that when inhomogeneity is located out of the centre of the electrode disposition. The method of correction of the described theoretical and field sounding curves is shown.

The problem investigated has not yet been fully resolved. Many other types of lateral inhomogeneities should be studied, starting with shallow and prostrate inhomogeneities. The results obtained should be connected with the results laid out in this article.

Received 10th January, 1963.

„Geofizika“, Zagreb  
Kupaska ul. 2