

# PRELUCRAREA TOMOGRAFICĂ PE BAZA MĂSURĂTORILOR ELECTRICE

**Monica MORARU<sup>1</sup>**  
monic.geom@yahoo.com

**ABSTRACT:** The resistivity method is an electrical method used in the field of geophysics. It is used in the study of horizontal and vertical discontinuities of soil layers, which have different electrical properties, as well as in the detection of three-dimensional bodies with unusual electrical conductivities. The method is currently used in the field of engineering and hydrogeology for shallow and deep geological investigations.

**KEYWORDS:** Electrical engineering–1D electrical, Environmental factors, geoelectrical resistivity imaging.

## *Introducere*

Metoda rezistivității electrice utilizează curenți continui cu care se investighează proprietățile electrice ale straturilor subterane. Curenții electrici generați artificial sunt introduși în sol și rezultatele diferențelor de potențial sunt înregistrate la suprafață. Abaterile de la modelul diferențelor de potențial ale unui sol cu structură omogenă oferă informații cu privire la forma și proprietățile electrice ale straturilor componente ale solului.

Metoda rezistivității, introdusă în anii 1920, își are originea în activitatea fraților Schlumberger. În această metodă, poziția unui electrod rămâne fixă, iar distanța dintre electrozii este mărită pentru a obține mai multe informații despre secțiunile situate la adâncimi subterane mai mari.

Metoda tomografiei rezistive este o variantă modernă a metodei rezistivităților. Ea a fost dezvoltată ca urmare a îmbunătățirii tehnicii de achiziție și de înregistrare a datelor, precum și a implementării programelor care interpretează automat date de rezistivitate în 1D, 2D sau 3D. Tomografia geoelectrică este concepută și dezvoltată tocmai pentru a

---

<sup>1</sup> Asistent de cercetare la Institutul de Geodinamică „Sabba S. Ștefănescu” al Academiei Române; absolvent al cursului de inițiere în Istoria Științei și Tehnicii organizat de CRIFST al Academiei Române, promoția 2014.

evidenția informații despre formațiuni sau corpuri ce prezintă anomalii ale conductivității geoelectrice și este aplicată pentru a delimita straturi care au conductivități diferite.

Rezistivitățile aparente au rolul de a defini funcții ale unor variabile ce sunt în concordanță directă cu adâncimea de investigare. Rezistivitatea terenului este înregistrată, conform unui program prestabilit, de o aparatură automată (sistemul SuperSting R8/IP), cu ajutorul unor cabluri speciale (cabluri pasive multielectrod); datele înregistrate sunt descărcate pe un computer, unde sunt prelucrate printr-un program specializat (Earth Imager); în final rezultatele sunt afișate sub forma de sonde electrice 1D, secțiuni geoelectrice verticale 2D sau volume 3D. Achiziția datelor se realizează uniform de-a lungul profilului având o densitate prestabilită a distanței dintre electrozi și de tipul dispozitivului ales. La o singură întindere a cablului multielectrod, putem achiziționa sute de măsurători de rezistivități, creând astfel o imagine 2D a subsolului asemănătoare unei tomografii.

### **1. Rezistivitatea rocilor și a mineralelor**

Pentru a defini rezistivitatea, considerăm un corp de formă cilindrică Fig.1, de lungime  $\delta L$ , cu aria bazei  $\delta A$ ; rezistivitatea acestui corp este dată de următoarea relație:

$$\rho = \frac{\delta R \cdot \delta A}{\delta L} \quad (1)$$

unde:

$\rho$  = rezistivitatea electrică,

$\delta R$  = rezistența cilindrului,

$\delta A$  = aria secțiunii transversale a cilindrului,

$\delta L$  = lungimea cilindrului.

Rezistivitatea rocilor depinde de următorii factori:

- natura particulelor minerale care compun roca;
- gradul de umplere cu apă al porilor rocii considerate;
- geometria porilor;
- temperatura rocii și presiunea la care este supusă.

Rezistivitatea este una dintre cele mai variabile proprietăți fizice. Anumite minerale precum metalele în stare nativă și grafitul sunt conductoare de electricitate prin intermediul transferului de electroni. Majoritatea

rocilor sunt formate din minerale, care au proprietăți de izolator electric iar conducția curentului electric este realizată de către ionii lichidului care umple porii rocilor.

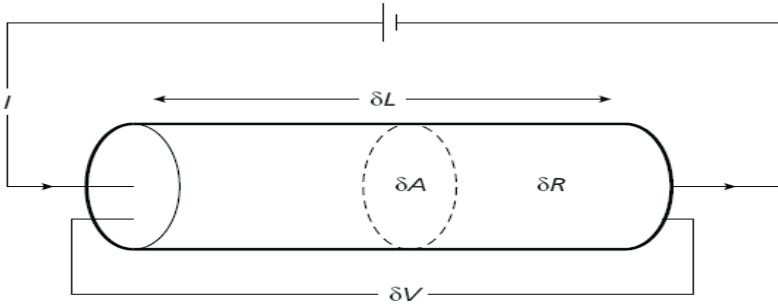


Fig. Nr. 1 – Parametrii utilizați pentru definiția rezistivității.

Rocile cristaline ce prezintă porozități intergranulare neglijabile sunt conductoare de-a lungul unei crăpături sau fisuri. Fig. nr. 2 reprezintă o gamă de rezistivități pentru diferite tipuri comune de roci. Este evident că există o suprapunere considerabilă între diferite tipuri de roci și, prin urmare, identificarea unui tip de rocă nu este posibilă numai pe baza datelor de rezistivitate.

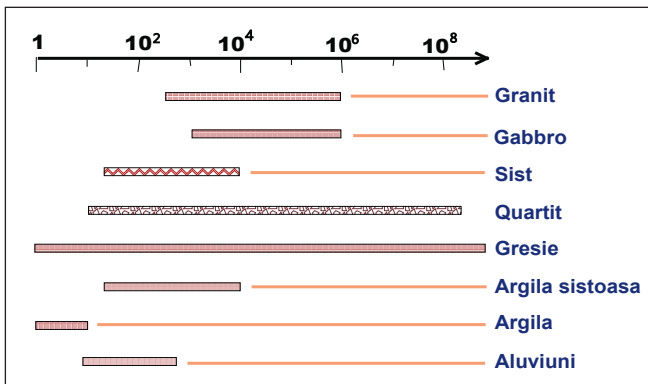


Fig. nr. 2 – Prezentarea comparativă a rezistivităților solurilor [W-m].

## 2. Factorii care pot influența rezistivitatea solului

### 2.1. Fluxul de curent electric în sol

În cazul unui material omogen, (Fig. nr. 3), un curent electric  $I$ , care este trecut între doi electrozi, cauzează o cădere de potențial  $-\delta V$ , în intervalele cuprinse între cei doi electrozi.

În conformitate cu legea lui Ohm și ținând seamă de egalitatea (1), se poate scrie relația:

$$-\delta V = \delta R \cdot I = \rho \cdot \delta L \cdot \frac{I}{\delta A} = \rho \cdot \delta L \cdot j \quad (2)$$

în care  $j$  este densitatea locală a curentului electric care străbate stratul de rocă. Din relația (2) se poate evidenția raportul:

$$\frac{\delta V}{\delta L} = -\rho \cdot j \quad (3)$$

care definește gradientul potențialului electric din stratul investigat.

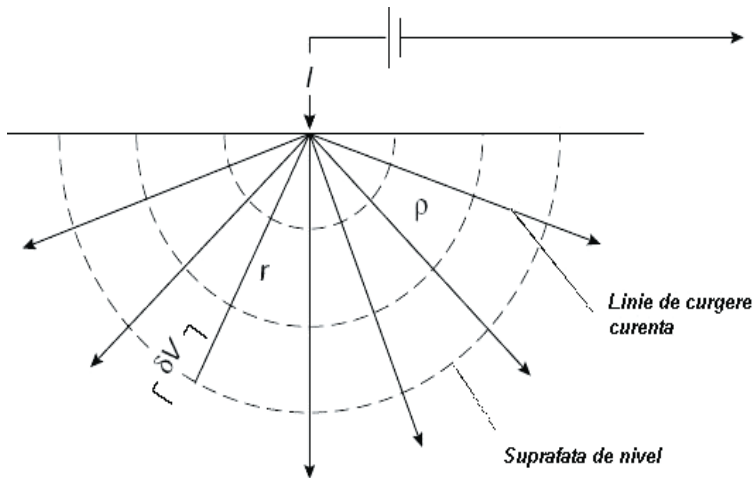


Fig. nr. 3 – Fluxul curentului electric injectat de un electrod [3].

Într-un sol omogen, adâncimea  $Z$  de pătrundere a curentului electric crește odată cu distanța  $L$  dintre electrozi (Fig. nr. 4).

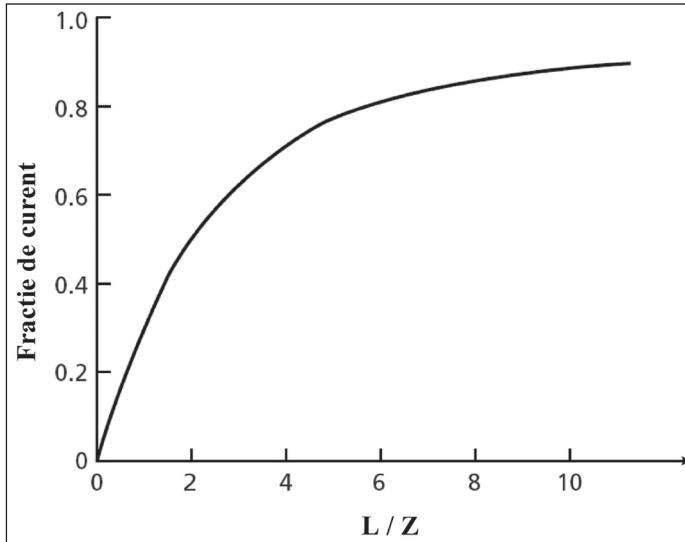


Fig. nr. 4 – Frația unui curent penetrant la o adâncime Z, față de distanța dintre electrozi L

Cele mai utilizate metode de măsurători pentru înregistrarea rezistivităților de la sol sunt:

*Sondajul electric vertical (SEV)* este utilizat în principal în studiul suprafețelor orizontale sau aproape orizontale. Sondajul electric este metoda de cercetare a subsolului prin determinarea și interpretarea graficului  $\rho$  raportat la distanța progresiv crescătoare dintre electrozii de emisie și cei de potențial. Electrozii de emisie și cei potențiali sunt montați la aceeași distanță relativă și curentul de trecere este extins progresiv de la un punct central fix. Această metodă, mai poate fi aplicată în sondaje geotehnice, pentru a determina variații în profunzime a structurii de bază și de prezența unor discontinuități semnificative (caverne, domuri). Tehnica este utilizată extensiv în sondaje geotehnice pentru a determina grosimea straturilor și în hidrogeologice pentru a defini zone orizontale a straturilor poroase. De asemenea, metoda SEV, cu tehnici și dispozitive diferite de lucru este folosită cu succes în cercetarea penelor de poluare din preajma platformelor industriale, a gropilor de gunoi și a bazinelor de epurare ale zonelor urbane.

*Traversarea stratelor cu proprietăți separate (CST)*, cunoscută de

asemenea ca și profilare electrică, metoda este folosită pentru a determina variațiile laterale ale potențialului. Electrozii de emisie și potențiali sunt montați la distanțe fixe și mutați progresiv de-a lungul unui profil. Această metodă este utilizată în prospecțiunea minerealelor, pentru a localiza goluri sau zone de forfecare.

## 2.2. Formațiunea geologică și poziționarea solului solid

În general, rezistivitatea electrică a solului poate avea o gamă largă de valori. Rezistivitatea solului este scăzută în cazul solurilor de coastă (neconsolidate) și în mare parte în cazul rocilor. Studiile au demonstrat și că rezistivitatea solului variază în funcție de formațiunea geologică. Cercetările întreprinse de autorii P. Giato et al. [2] au indicat faptul că prezența microfosilelor de diatomite alterează și modifică substanțial proprietățile geotehnice ale argilelor. Acest tip de modificare a structurii afectează, de asemenea, proprietățile electrice ale argilei. De astfel și autorii H. Robain et al. [1] au prezentat variația rezistivității în funcție de structura materialelor pedologice. Potrivit autorilor H. Robain et al. [1], valorile frecvențelor joase și înalte sunt legate de macro și meso-porozitatea solului.

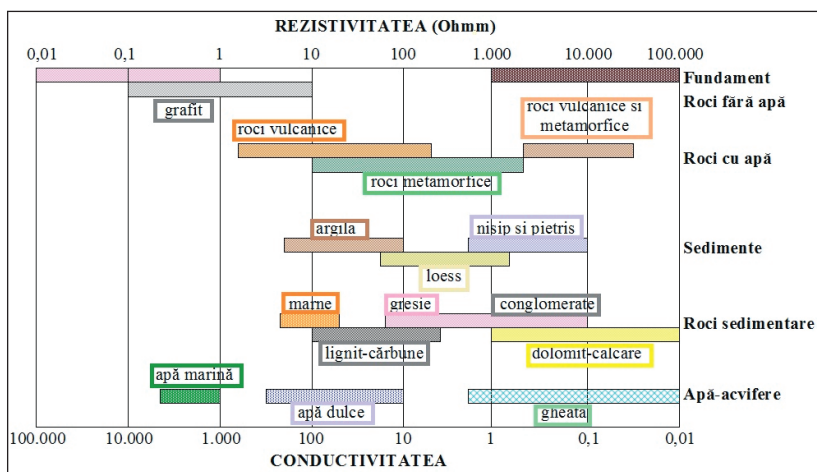


Fig. nr. 5 – Valori de rezistivitate ale diferitelor tipuri de soluri, după [4].

Rezistivitatea electrică este o funcție a unui număr de proprietăți

ale solului, inclusiv natura elementelor constitutive solide (distribuția granulometrică, mineralogie), dispunerea golurilor (porozitate, variația dimensiunii porilor, conectivitate), gradul de saturație a apei (conținut de apă), rezistivitatea electrică în lichide (concentrația soluțiilor) și temperatura. Geometria porilor determină proporția de apă și aer din sol. Aerul este considerat ca material dielectric. Dacă porii solului sunt umpluți cu apă, conductivitatea electrică poate fi modificată. De obicei, solul argilos este mai conductiv decât un sol nisipos. Cu toate acestea, solurile nisipoase saturate pot prezenta o rezistivitate mai scăzută decât argila compactată uscat. Din cauza acestor factori, suprapunerea valorilor de rezistivitate se observă pentru diferite tipuri de soluri (Fig. nr. 5).

### 2.3. Principiul de determinare a imagisticii electrice

Inversiunea aplicată în cazul sondajelor electrice 1D, pentru secțiunile geoelectrice verticale 2D sau volumele 3D determinate de program se bazează pe aplicarea metodei de calcul a celor mai-mici pătrate C. de Groot et al. [3] și Y. Sasaki [4].

Această tehnică este semnificativ mult mai rapidă decât formula de calcul a celor mai mici pătrate aplicată pentru seturi mari de date și o memorie mică a hardului. În acest caz, se mai poate aplica convențional și formula de calcul Gauss-Newton. Este mult mai complexă decât metoda semi-Newtoniană, dar, în zonele cu o rezistivitate mare ce au contraste mai mari de 10:1, această formulă de calcul dă rezultate mai bune. O a treia opțiune în cazul acestui program este de a aplica formula de calcul Gauss-Newton pentru primele 2 sau 3 iterații, după care pentru o filtrare mai bună se aplică formula de calcul semi-Newtoniană. În cele mai multe cazuri, acest compromis oferă cele mai bune rezultate M.H. Loke et al. [5]. Totuși, având în vedere această îmbunătățire în codul programului Res2Dinv și a evoluției tehnice a PC-urilor se recomandă, ca formula de calcul Gauss-Newton să fie metoda implicită, în cazul modelelor de interpretare finală, pentru cele mai multe seturi de date, date de inversiune ce sunt calculate într-un timp destul de scurt în cazul PC-urilor tehnologizate.

Modelul 2D prelucrat pe baza datelor măsurate, din punct de vedere matematic reprezintă valorile înregistrate ale solului într-un număr de blocuri dreptunghiulare. Și din punct de vedere tomografic softul Res2DInv prelucrează datele, rezultând o pseudosecțiune a rezistivității, conforme măsurătorilor reale înregistrate. Pentru metodele Wenner și Schlumberger,

grosimea primului strat de blocuri situat la 0,5 [m] sau în funcție de distanța dintre electrozi. Pentru dispozitivele Pol-Pol, Dipol-Dipol și Pol-Dipol, grosimea primului strat de blocuri este situat la adâncimea de 0,9, 0,3 și 0,6 [m] sau în funcție de distanța dintre electrozi. În cazul straturilor mai adânci decât standardul, programul este setat să ia în considerare o adâncime majorată cu 10% sau 25%. Softul permite ca valorile nereale să poată fi modificate manual de către utilizator.

Metoda de optimizare are rolul de a reduce diferența dintre valorile măsurate și calculate a rezistivității aparente prin ajustarea modelului rezultat. O bună măsură a acestei diferențe este dată de eroarea mediei pătratice (RMS). Modelul prezintă cea mai mică eroare posibilă a RMS-ului, atunci când au loc înregistrări ale variațiilor mai mari și nerealiste și în cazul alegerii dispozitivului neadecvat, nu întotdeauna dispozitivele pot fi metoda „cea mai bună” din punct de vedere geologic. Este indicată o abordare mai prudentă, în ceea ce privește modelul aplicat, în cazul în care eroarea RMS-ului nu se schimbă în mod semnificativ.

### ***3. Metoda măsurătorilor electrice – instrumente de măsurare***

Una dintre noile evoluții în ultimii ani este utilizarea de imagistică 2-D electrice/tomografice, măsurători ale hărților din zonele care au o complexitate geologică moderată D. H. Griffiths et al. [6]. De astfel, sunt realizate măsurători utilizând un număr mare de electrozi – 25 sau mai mulți – conectați la un cablu care este la rândul lui conectat la un laptop; acesta din urmă are o unitate de comutație electronică, utilizată pentru a selecta automat patru electrozi, relevantă pentru fiecare măsurătoare (Fig. 6).

În prezent, tehnicile din domeniu și echipamentul folosit la măsurătorile de rezistivitate 2-D sunt destul de bine dezvoltate, însă echipamentele necesare sunt disponibile la un număr mic de companii internaționale. Costul acestor sisteme de obicei pornește de la \$ 15.000. Unele instituții au realizat un manual pentru unități de comutare și costul este nominal pentru utilizarea unui cablu seismic cu un nodul. Figura 6 reprezintă modul de instalare pentru realizarea unei înregistrări 2-D, având un număr de electrozi situați de-a lungul unei linii drepte la care s-a atașat un cablu cu mai multe mufe. În mod normal, acesta utilizează o distanță constantă între electrozii adiacenți.

Cablul cu mufă este atașat la o unitate de comutație electronică, care



la rândul său este conectată la un laptop sau calculator. Secvența de măsurători se ia după tipul de tablou utilizat și alți parametri de studiu (tipul de curent utilizat), înregistrarea fiind făcută într-un fișier de tip text care poate fi citit de un program informatic. După ce s-a citit fișierul, programul unui calculator selectează apoi automat electrozii corespunzători pentru fiecare măsurătoare. Într-o măsurătoare standard, cele mai multe înregistrări pe teren sunt stabilite de cablu și electrozi. După aceea, măsurătorile sunt preluate automat și stocate în calculator.

Pentru a obține o imagine bună 2-D subterană, aria de acoperire a măsurărilor trebuie să fie 2-D, precum exemplul din (Fig. 6), care reprezintă o secvență posibilă de măsurători cu electrozi realizată cu metoda Wenner, pentru un sistem cu 20 electrozi. În acest exemplu, distanța între electrozii adiacenți este „a”. Primul pas este de a realiza toate măsurătorile posibile cu metoda Wenner cu o distanță între electrozi de „1a”. Pentru prima măsurătoare, sunt utilizați electrozii cu numărul 1, 2, 3 și 4. Se observă că electrodul 1 este utilizat ca primul curent al electrodului C<sub>1</sub>, electrodul 2 ca primul potențial al electrodului P<sub>1</sub>, electrodul 3 ca al doilea potențial al electrodului P<sub>2</sub> și electrodul 4 ca al doilea curent al electrodului C<sub>2</sub>. După a doua măsurare, electrozii cu numărul 2, 3, 4 și 5 sunt folosiți pentru C<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> și respectiv C<sub>2</sub>. Acest lucru se repetă în linia de jos cu electrozii 17, 18, 19 și 20, care sunt utilizați pentru ultima măsurătoare cu distanța „1a”. Pentru un sistem cu 20 electrozi, există 17 (20-3) posibile măsurători pentru distanța „1a”, utilizând metoda Wenner.

După terminarea primei secvențe de măsurători cu distanța de „1a”, se trece la următoarea secvență de măsurători cu distanța dintre electrozi de „2a”. Primii electrozi 1, 3, 5 și 7 sunt utilizați pentru prima măsurătoare. Electrozii sunt aleși astfel încât distanța dintre electrozii adiacenți să fie de „2a”. De asemenea, la cea de-a doua măsurătoare, sunt utilizați electrozii 2, 4, 6 și 8. Acest proces se repetă în jos cu linia până la electrozii 14, 16, 18 și 20 unde sunt montați pentru ultima măsurare având distanța de „2a”. Pentru un sistem cu 20 electrozi, este de reținut că există 14 (20 - 2x3) posibile măsurători cu distanța „2a”.

Același procedeu este repetat și pentru măsurătorile cu distanțele de „3a”, „4a”, „5a” și „6a” Pentru a obține cele mai bune rezultate, măsurătorile dintr-o înregistrare de câmp se vor efectua sistematic. Acest lucru poate afecta calitatea modelului de interpretare obținut din inversarea măsurătorii de rezistivitate aparentă T. Dahlin et al. [7]. De reținut că odată ce

distanța dintre electrozi crește, scade numărul de măsurători. Numărul măsurărilor care pot fi obținute pentru fiecare distanță a electrodului, pentru un număr dat de electrozi de-a lungul liniei de studiu, depinde de tipul de metode utilizate. Metoda Wenner oferă cel mai mic număr posibil de măsurători în comparație cu alte metode comune care sunt folosite în înregistrările 2-D.

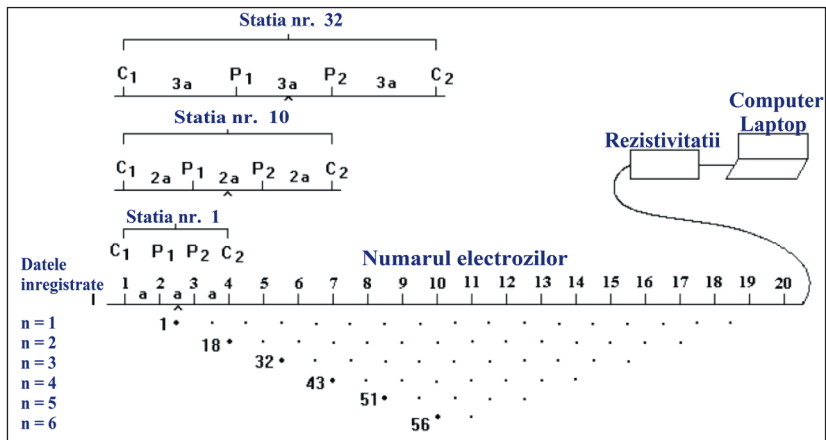


Fig. nr. 6 – Model de electrozi pentru o măsurători electrice 2-D și secvențe de măsurători utilizate pentru realizarea unei pseudosecțiuni [4].

Procedura de măsurători cu metoda Pol-Pol este similară cu cea utilizată mai sus, metoda Wenner. Pentru un sistem cu 20 electrozi, în primul rând, 19 dintre măsurători vor avea o distanță „1a”, urmată de 18 măsurători cu distanța „2a”, urmate de 17 măsurători cu distanța „3a”, și așa mai departe.

Pentru metodele Dipol-Dipol, Wenner-Schlumberger și Pol-Dipol, procedura de măsurători este ușor diferită. De exemplu, pentru metoda Dipol-Dipol, măsurătoarea începe cu o distanță între electrozi de „1a” între C1-C2 (și, de asemenea, P1-P2). Prima secvență de măsurători este realizată cu o valoare de 1 pentru „n” factor (care este raportul dintre distanța electrozilor C1-P1 la C1-C2 distanța dipol), urmat de „n” care este egal cu 2 păstrând C1-C2 dipol, pereche ce are distanța fixă „1a”. Când „n” este egal cu 2, distanța dintre electrodul C1 la electrodul P1 este de două ori distanța dintre perechea dipol C1-C2. Pentru măsurătorile ulterioare,

factorul distanței „n” este ridicat la o valoare maximă de 6, după care măsurătorile precise de potențial sunt dificile din cauza valorilor de potențial foarte mici.

Pentru a mări adâncimea de investigare, distanța dintre C1-C2 perechea dipolă este ridicată la „2a” și se realizează o altă serie de măsurători cu valori diferite de „n”. Dacă este necesar, aceasta poate fi repetată având valori mai mari între perechile dipole C1-C2 (și P1-P2). O tehnică similară a măsurătorilor poate fi aplicată și pentru metodele Wenner-Schlumberger și Pol-Dipol unde pot fi utilizate diferite combinații ale distanței „a” și apoi determinat factorul „n”.

#### **4. Interpretarea sondajelor electrice verticale**

Scopul calculului de interpretare este acela de a stabili structura geoelectrică în domeniul unde s-a executat sondajul. Rezultatele obținute ating întreaga semnificație după corelarea cu datele obținute la punctele de observație învecinate. Dificultățile care apar sunt legate de complexitatea alcătuirii subsolului și de prezența unor factori nedeterminanți, ca principiul echivalenței și anizotropia rocilor. În cazul de față considerăm un electrod Wenner răspândit pe o singură interfață orizontală între o rezistivitate medie  $\rho_1$  (sus) și  $\rho_2$  (mai mic) cu  $\rho_1 > \rho_2$ .

În cazul în care avem trei straturi orizontale, curbele de rezistivitate aparentă sunt mult mai complexe (Fig. 7). Deși rezistivitatea aparentă se apropie  $\rho_1$  și  $\rho_3$  de valori mici, prezența stratului intermediar provoacă o deviere a curbei de rezistivitate aparentă. Dacă rezistivitatea stratului intermediar este mai mare sau mai mică față de stratele superioare și inferioare, curba de rezistivitatea aparentă pe diagrame va avea o formă de clopot sau formă de bazin (Fig. 7a).

Dacă stratul din mijloc are o rezistivitate intermediară între  $\rho_1$  și  $\rho_3$ , se produce o rezistivitate aparentă caracterizată de curbe progresive de rezistivitate care cresc sau descresc în funcție de distanța dintre electrozi (Fig. 7b). Prezența a patru sau mai multe straturi suplimentare crește complexitatea aparentă a curbei rezistive. Simpla examinare a modului în care variază rezistivitatea aparentă este distribuția în funcție de distanța dintre electrozi, și astfel se pot calcula estimările de rezistivitate dintre straturile superioare și inferioare ce indică o rezistivitate relativă în oricare dintre straturile intermediare. Pentru a calcula grosimi de strat este necesar să se calculeze rezistivitatea aparentă a unei structuri stratificate.

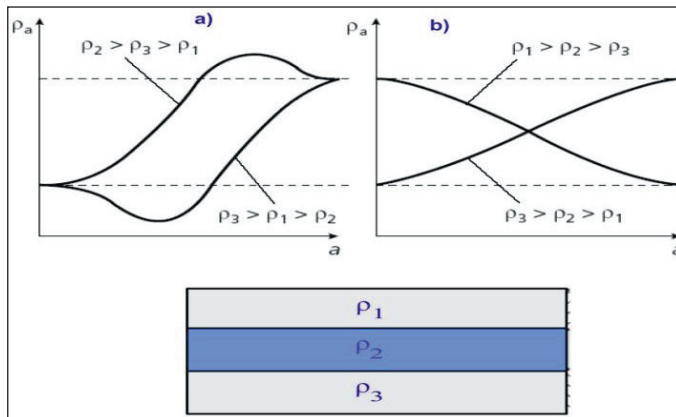


Fig. nr. 7 – Variația rezistivității aparente  $\rho_a$  cu electrod de înregistrare pentru trei straturi orizontale.

În cazul unui sol omogen, adâncimea de pătrundere a curentului electric crește odată cu mărirea distanței dintre electrozi.

Sondajul electric vertical (SEV), cunoscut sub numele de „foraj electric” sau „extinderea sondei”, este utilizat în principal în cazul suprafețelor orizontale sau aproape orizontale. Electrozii poziționați și diferențele de potențial sunt menținute la o distanță relativă și distanța electrozilor este distribuită progresiv, de la punctul central fix.

Prin urmare, citirile sunt luate imediat ce curentul este distribuit progresiv la adâncimi mai mari. Tehnica este utilizată extensiv în sondajele geotehnice pentru a determina grosimea stratelor și în hidrogeologie pentru a defini zonele orizontale a straturilor poroase.

Gradul de detaliere a lucrărilor geofizice se realizează în conformitate cu obiectivele urmărite, în funcție de complexitatea geologică a terenului și conform cu gradul de accesibilitate al suprafeței. Realizarea lucrărilor geofizice este asemănătoare cu cea a lucrărilor pedologice sau geologice. În majoritatea lucrărilor de cercetare complexă măsurătorile geofizice se realizează pe aceleași puncte pe care se fac observațiile geologice și/sau probarea geochimică. Din punctul de vedere al gradului de detaliere măsurătorile geofizice pot fi de recunoaștere (scări 1:50.000 sau 1:25.000) sau de detaliu sau mare detaliu (scări 1:10.000, 1:2.000, 1:1.000 sau mai mici) pe suprafețe mici, limitate. Măsurătorile geofizice pot fi executate și în puncte

de măsurare distribuite neregulat pe suprafața investigată cu respectarea însă a numărului de puncte de măsură / unitatea de suprafață, corespunzător scării de investigare.

Înregistrările geofizice sunt realizate de regulă pe profile care alcătuiesc rețele rectangulare sau neregulate. Pasul pe profile variază în funcție de obiectivul urmărit, complexitatea geologică și contrastul de rezistivitate al rocilor. În cazul în care, din punct de vedere geofizic, nu există un contrast al parametrilor geofizici (rezistivitate, potențial indus, potențial natural etc) nu se vor putea pune în evidență anizotropii locale și vor trebui căutate alte metode de investigație.

În cazul de față, deoarece interesul investigațiilor a fost concentrat în principal pe primii 30 [m], densitatea punctelor de măsură a fost mărită în partea de suprafață a secțiunilor geoelectrice. Geofizica în general și metodele geoelectrice în particular presupun analiza și interpretarea unui semnal fizic cu influențe complexe date de structura chimică, mineralogică și topografică a subsolului cercetat. Tehnica modernă de calcul permite utilizarea unor algoritmi complecși de calcul matematic având la bază principii fizice de distribuție a semnalului electric într-un mediu omogen și izotrop, într-un spațiu seminfinit.

### ***5. Limitări ale metodei de rezistivitate***

Rezistivitatea topografică este o metodă eficientă pentru secvențele stratelor superficiale sau verticale, discontinuitățile care implică modificări de rezistivitate. Cu toate acestea, suferă următoarele limitări:

1) Interpretările sunt ambigue. În consecință, ele sunt independente de un control geofizic și geologic, și de aceea este necesar să se facă delimitări între interpretările alternative și valabilitatea datelor de rezistivitate.

2) Interpretarea se limitează la simpla configurație structurală. Orice abatere de la aceste situații simple, poate face interpretarea imposibilă.

3) Topografia și efectele de lângă suprafața unei variații a rezistivităților poate masca efectele de variații mai profunde.

4) Adâncimea de penetrare a metodei este limitată de puterea maximă electrică care poate fi introdusă în sol și de dificultățile fizice de stabilire a lungimii de cablu. Limita practică de adâncime pentru cele mai multe sonde este de aproximativ 1 [km].

### **Concluzii**

În cadrul acestui articol, am descris o serie de metode cu aplicabilitate în măsurătorile de rezistivitate electrică.

Metodele geoelectrice prezintă o aplicabilitate largă în investigațiile geofizice ce pun în evidență condițiile geologice și hidrogeologice locale. Investigațiile privind alunecările de teren cuprind o serie de metode directe (geotehnică, foraje de urmărire, săpături etc) și indirecte (măsurători geofizice, aerofotografice, topografice etc) care pun în evidență o serie de factori ce pot favoriza sau au favorizat declanșarea unei alunecări de teren. Prin caracteristicile sale (flexibilitate, manevrabilitate, adâncime de investigație, rapiditate, repetabilitate etc) tomografia geoelectrică este o metoda ce se pretează foarte bine în investigarea terenurilor unde factorii de risc la alunecare sunt ridicați.

Pentru obținerea unor rezultate optime în investigațiile geoelectrice asupra alunecărilor de teren este foarte important să existe un contrast de rezistivitate între pachetul de rocă cu posibilități de alunecare sau care a alunecat și pachetul de rocă importantă. Acest contrast poate fi influențat atât de compoziția mineralogică cât, mai ales, de cantitatea de apă infiltrată înmagazinată. Depistarea din timp a zonelor subterane de acumulare a apelor, provenite din precipitații sau alte surse, poate contribui la proiectarea unor măsuri de prevenire a declanșării unor alunecări de teren. În aceste condiții este interesant de urmărit gradul de infiltrare și capacitatea de drenare a zonei aflate sub observație. Acest lucru se poate realiza printr-un set de măsurători efectuate în condiții diferite de expunere – după o perioadă secetoasă, când terenul este lipsit de apă și după o perioadă cu precipitații abundente, când terenul este saturat favorizând apariția unei alunecări de teren.

De asemenea, metodele geoelectrice sunt utile în investigarea zonelor în care s-au produs alunecări de teren. Dacă există contrastul geoelectric necesar se poate pune în evidență adâncimea și dispunerea planului de alunecare. Prin cunoașterea acestor caracteristici se pot proiecta viitoare lucrări de investigații directe și lucrări de consolidare și prevenire.

Coroborând datele investigațiilor geoelectrice cu alte metode de investigație (foraje, șanțuri etc) se pot obține rezultate bune spre foarte bune privind condițiile ce au favorizat sau pot favoriza declanșarea unei alunecări de teren. Datele obținute pe numeroase situri recomandă această

metodă geofizică ca fiind aplicabilă, cu rezultate optime, în majoritatea cazurilor de cercetare sau monitorizare a activității subterane.

### Bibliografie:

- [1] H. Robain, M. Descloitres, M. Ritz and Q. Y. Atangana, *A multiscale electrical survey of a lateritic soil system in the rain forest of Cameroon*. *J. Appl. Geophys.*, 34 (4), pp. 237–253, 1996.
- [2] P. Giao, S. Chung, D. Kim and H. Tanaka, *Electric imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits*. *J. Appl. Geophys.*, 52 (4), pp. 157–175, 2003.
- [3] C. de Groot-Hedlin and S. Constable, *Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data*. *Geophysics*, 55, pp. 1613–1624, 1990.
- [4] Y. Sasaki, *Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation*. *Geophysical Prospecting*, 40, pp. 453–464, 1992.
- [5] M. H. Loke and T. Dahlin, *A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion*. *Journal of Applied Geophysics*, 49, pp. 149–162, 2002.
- [6] D.H. Griffiths and R. King, *Applied Geophysics for Geologists and Engineers*. Oxford: Pergamon, 1981.
- [7] T. Dahlin and M. H. Loke, *Resolution of 2D Wenner resistivity imaging as assessed by numerical modelling*. *Journal of Applied Geophysics*, 38, pp. 237–249, 1998.