

Metoda rezistivității electrice a solului procedeu de investigare arheogeofizică

Ovidiu Părășanu¹
oparausanu@yahoo.com

Keywords: *dielectric method, geophysical techniques, non-destructive investigation, electricity, electromagnetism.*

Summary: *In recent years, archaeological sites under the encroachment of urbanization have been investigated on numerous occasions using non-invasive geophysical techniques, allowing parameters such as the depth, dimension and extension of targets to be clearly determined.*

Non-destructive investigation techniques, such as geophysics, which uses remote sensing, and is non-invasive, are of great importance. Geophysics deals with numerous physical variations such as electricity, electromagnetism, magnetic so there are numerous ways geophysics can be applied in archaeological and cultural heritage studies.

This study reviews the results of geophysical investigations using the dielectric method for soil investigation and carries out at important archaeological sites.

Scopul metodei este acela de a reda distribuția rezistivității solului în profunzimea lui prin efectuarea de măsurători la suprafața acestuia.

Rezistivitatea solului depinde de o multitudine de parametri geologici cum ar fi porozitatea rocilor, conținutul de minerale, concentrația de fluide, gradul de saturație al apei din roci.

J. Wenner pune în anul 1915, într-o formă incipientă, pentru prima dată în aplicare această metodă. Mai târziu, frații Schlumberger în 1920 perfecționează aparatura și tehnica de măsurare.

Inițial această metodă a fost inventată pentru a putea fi aplicată în cadrul explorărilor geologice și geofizice, pentru descoperirea zăcămintelor minerale, a straturilor de pietriș sau pungilor de apă freatică. Abia în anul 1946, R. Atkinson utilizează pentru prima oară această metodă într-un sit arheologic, la Dorchester în Marea Britanie, utilizând un aparat tester de sol de tip „Megger” (Fig. 6). Aparatul era constituit dintr-un generator electric acționat manual și electrozi, și fusese utilizat anterior în studiile de sol și geologie. În 1947, H. Lundberg utilizează metoda măsurării rezistivității electrice a solului la Tepexpan (Mexic), pentru identificarea resturilor umane fosile.

Mai târziu, în 1956, John Martin și Anthony Clark au perfecționat aparatul utilizat în scopul realizării prospectărilor electrice. Ei realizau astfel *rezistivimetrul Martin – Clark*, ale cărui circuite s-au diversificat și deveneau dedicate. Acest aparat a fost cel care a furnizat și primele rezultate relevante, fiind utilizat la prospectarea sitului arheologic de la Wiltshire (UK) într-un vechi oraș roman (Cunetio). În 1954, în Italia s-a înființat secțiunea de prospecții arheologice a Fundației C.M. Lerici, dedicată descoperirii, prin metoda rezistivității electrice, a mormintelor etrusce amenințate de jefuitorii de morminte (*tombarolli*). Cu această ocazie a fost „inventată” și metoda de prospecție cunoscută ca cea a periscopului Nistri. În 1958, au apărut primele procesări

¹ Părășanu Ovidiu, fizician investigator, Muzeul Județean „Aurelian Sacerdoțeanu” Vâlcea.

computerizate ale datelor furnizate de prospecțiile de rezistivitate electrică a solului realizate de către specialistul german Irwin Scollar (Bonn). Prototipurile concepute de către acesta vor consacra metoda folosirii măsurătorilor bazate pe rezistivitate. Ulterior, metoda a cunoscut o generalizare deosebită, în diferite țări nenumărate obiective arheologice fiind prospectate prin intermediul și cu ajutorul unor aparate speciale, de multe ori cu adaptări artisanale, care să optimizeze tipul de răspuns pe care aceasta îl oferea.

Și pe teritoriul României metoda și-a găsit, încă de timpuriu, o largă aplicabilitate, în acest context fiind demne de amintit prospecțiile realizate în anii '80 de un colectiv interdisciplinar de la Muzeul Național al Transilvaniei din Cluj (D. Alicu, L. Daraban) în siturile de la Ulpia Traiana Sarmizegetusa, Iclod, Cluj-Napoca, precum și cele realizate sub egida Institutului de Arheologie „Vasile Pârvan” și a Muzeului din Zalău la Porolissum (Fl. Scurtu). Recent, metoda a fost utilizată în cadrul Proiectului *Apulum 2000*, de cercetare a Tempului lui *Liber Pater* din Partoș (Apulum) (de către dr. W. McCann). Baza de Cercetări cu Utilizatori Multipli din cadrul Universității „1 Decembrie 1918” din Alba Iulia, posedă la ora actuală un rezistivimetru automatizat de înaltă performanță și de mare putere, cu largă aplicabilitate practică (*Scintrex-Saris*), cu ajutorul căruia s-au realizat, cu rezultate deosebite, o serie de prospecții în diferite situri arheologice (Partoș, Sultana, Orașul de Floci, Roșia Montană etc.)².

I. Noțiunile de bază ale rezistivității solului

Legea lui Ohm este legea fizică fundamentală ce stă la baza aplicării metodei rezistivității.

Curentul electric (I) este definit ca rată a unui flux de electroni liberi ce trece printr-un mediu conductibil într-o anumită unitate de timp. *Legea lui Ohm* pentru o porțiune de material conductor traversat de curent electric se poate scrie astfel:

$$I = \Delta V / R \text{ sau } \Delta V = I \times R \text{ unde:}$$

I – intensitatea curentului electric ce străbate materialul conductor

ΔV – diferența de potențial de la capetele materialului

R – rezistența materialului = voltaj/curent ($R = \Delta V / I$).

Această lege se poate scrie și sub formă vectorială pentru a putea fi aplicată în cadrul măsurătorilor prin metoda rezistivității.

Legea lui Ohm sub formă vectorială care la trecerea unui curent electric printr-un mediu este dată de formula:

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (I.1)$$

Conductivitatea electrică (σ) este o constantă materială care poate caracteriza și artefactele/situațiile arheologice din sol. Acest parametru indică, de fapt, cât curent electric (măsurat în Amperi) poate să treacă printr-o cantitate de material dacă este aplicat la cele două capete un voltaj de 1 V (conductivitatea se măsoară în Amperi/m²).

În realitate, în practică se măsoară diferența de potențial a câmpului electric (ΔV), între diferitele puncte din sol. Se cunoaște faptul că în cadrul măsurătorilor geofizice, *rezistivitatea electrică a mediului* ρ , a cărei valoare numerică este inversul conductivității ($\rho = 1 / \sigma$) este mult mai frecvent folosită.

²Ciută 2003, p. 48-49.

Rezistivitatea se măsoară în Ohmi, voltajul în Volți (V) iar intensitatea curentului în Amperi (A). În cazul măsurării rezistivității pământului avem relația: $R = V/L/J$ (unde J este densitatea curentă a mediului prin care trece curentul electric)³.

Relația matematică dintre potențialul și intensitatea câmpului electric este:

$$E = -\nabla V \quad (I.2)$$

Combinând relațiile (1.1) și (1.2) obținem:

$$J = -\sigma \cdot \nabla V \quad (I.3)$$

În majoritatea măsurătorilor făcute, sursele de curent electric sunt sub formă punctuală, respectiv de *electrozi*, prin urmare le vom denumi în continuare *punct sursă*.

În acest caz, asupra unui element de volum $\Delta \mathcal{G}$ ce înconjoară o punct sursă de curent de intensitate I , având coordonatele (x_s, y_s, z_s) , relația dintre densitatea (J) a curentului electric și intensitatea (I) a acestuia este de forma:

$$\nabla \cdot J = \left(\frac{I}{\Delta \mathcal{G}} \right) \cdot \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \quad (I.4)$$

unde δ reprezintă funcția Dirac, bine cunoscută în fizică. Ecuația (I.4) poate fi rescrisă sub forma:

$$\nabla \cdot [\sigma(x, y, z) \nabla V(x, y, z)] = \left(\frac{I}{\Delta \mathcal{G}} \right) \cdot \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \quad (I.5)^4$$

Aceasta este ecuația de bază care ne dă distribuția de potențial electric (V) în interiorul solului, potențial datorat unei surse de curent electric, denumită anterior *punct sursă*, de intensitate I . Pe baza acestei ecuații, au fost dezvoltate o multitudine de tehnici și tehnologii ce au drept scop colectarea și interpretarea datelor obținute.

Pe baza tuturor acestor cunoștințe teoretice putem defini metoda în felul următor:

Metoda măsurării rezistivității electrice a solului se constituie ca o aplicație arheogeofizică, prin intermediul căreia, cu ajutorul unui aparat special (rezistivimetru), pot fi puse în evidență anomalii ale potențialului electric al structurilor pedologice, semnalându-se astfel potențiale intervenții (deranjamente) ce pot fi de natură antropică și/sau de interes arheologic⁵.

II. Proprietățile electrice ale solurilor

La penetrarea solului de către un curent electric la adâncimi mici și medii apar două fenomene principale:

- conducția electronică
- conducția electrolitică

În cazul *conducției electronice*, deplasarea curentului electric prin materiale se face prin intermediul electronilor liberi, similar ca în metale. Acest tip de conducție apare în cazul prezenței mineralelor, sulfidelor metalice și grafitului în straturile de sol.

Conducția electrolitică presupune apariția și deplasarea curentului electric datorită ionilor liberi din substanță, deplasarea acestora făcându-se prin apă în cazul în care materialele studiate au un anumit grad de hidratare, acesta fiind cel mai comun și des întâlnit fenomen în cadrul măsurătorilor.

Bazele fizice ale conductivității electrice în sol (în fapt, un proces de migrație ionică) sunt:

³ *Ibidem*, p. 50.

⁴ Loke, Dahlin 2002, p. 149-162.

⁵ Ciută 2003, p. 50.

- din componența mineralelor sau a altor componente de sol, atomii sau grupuri de atomi încărcăți de energie se dizolvă în apă;

- dacă este aplicat un câmp electric între doi electrozi artificiali (E), ionii componenți vor migra spre electrozi astfel: ionii pozitivi spre electrodul negativ și viceversa;

- diferite materiale sau situații din subsol pot fi detectate astfel (șanțurile umplute cu material secundar prezintă un conținut bogat ionic).

Mai des decât *conductivitatea electrică* (σ), este utilizată valoarea reciprocă, numită *rezistivitate electrică* (ρ), care se măsoară în Volți per m/A sau Ohm per m.

Rezistivitatea (ρ) diferă ca valoare în funcție de componența solului respectiv structurile arheologice și contextul lor geologic și este invers proporțională cu conductivitatea ($\rho = 1/\sigma$)⁶.

Rezistivitatea electrică (ρ) a solului este în mare măsură dependentă de cantitatea și distribuția umezelii/apoi în structura acestuia.

Structurile de ordin arheologic aflate în componența solului afectează distribuția apei în sol, făcându-l mai conductibil sau, din contră, mai rezistent la trecerea curentului electric, realitate ce poate fi detectată de instrumentele de măsură ale aparatului propriu-zis. Piatra, cărămida, ceramica, în general rocile fără elemente metalice, se caracterizează printr-o rezistență crescută la trecerea curentului electric, spre deosebire de argilă sau umpluturile unor șanțuri (care rețin în cantități mai mari apa, de regulă datorită texturii lor diferențiate, afânate, rarefiate), care favorizează conductivitatea. Dacă argila și solul normal pot avea valori de rezistivitate de 1 – 10 Ohm·metri iar cea a rocilor poroase se poate ridica până la 10^3 - 10^6 Ohm·metri, aceste diferențe putând fi sesizate prin măsurători ale rezistivității solului, permițând în final descoperirea și punerea în plan a situației arheologice întâlnite. Influența apei asupra structurilor aflate în sol poate fi observată în diagramele următoare (Fig. 1)⁷.

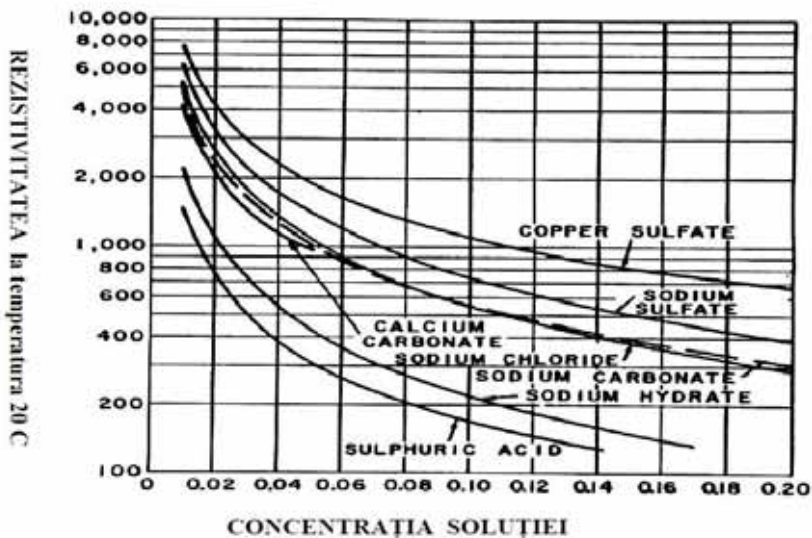
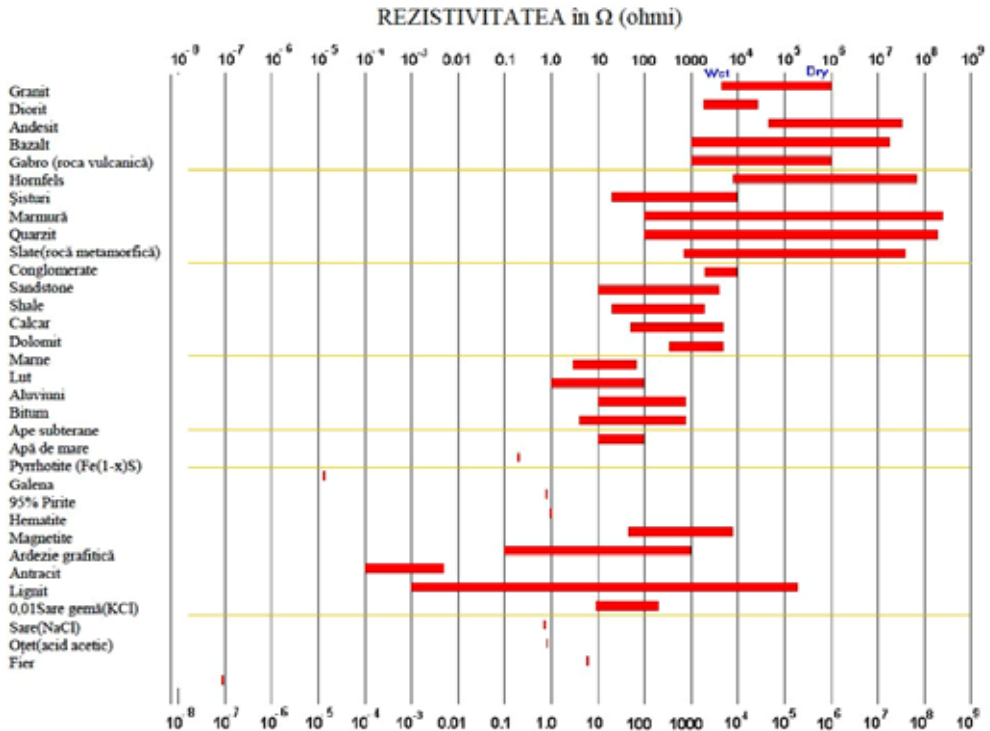


Fig. 1

⁶ Nyquist *et alii* 1999, p. 135-148.

⁷ Ciută 2003, p. 50.

Valorile rezistivității pentru majoritatea substanțelor care se găsesc în sol începând de la starea umidificată până la starea uscată, sunt redată în tabelul de mai jos (Tabelul 1)⁸:



Tabel 1

III. Dispozitive de colectare, vizualizare și interpretare a datelor

Având în vedere diversitatea proprietăților dielectrice ale straturilor din sol sau componentelor izolate ce pot fi întâlnite, problema devine destul de complicată la prima vedere, de aceea vom începe prin a analiza cel mai simplu caz de transmitere a curentului electric în sol și anume, considerăm un sol omogen și un singur punct sursă pe suprafața solului, respectiv un *electrod*.

Emiterea curentului electric de către punctul sursă în interiorul solului se face radial, iar potențialul electric (V) variază invers proporțional cu distanța de la sursă. Se obțin astfel *suprafețe echipotențiale* care au formă semisferică, cu centrul situat în punctul sursă (Fig. 2)⁹.

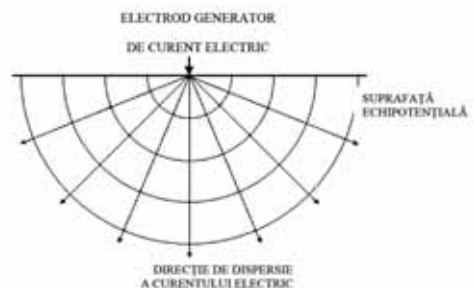


Fig. 2

⁸ Olivar *et alii* 1990, p. 1347-1356.

⁹ Summer 1976.

Potențialul electric V în acest caz este dat de relația:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi r} \quad (\text{III.1})$$

unde r – distanța de la electrod la un punct de pe o suprafață echipotențială
 ρ - rezistivitatea electrică a mediului
 I – intensitatea curentului electric generat de punctul sursă (electrod).

În practică însă, se folosesc cel puțin doi electrozi, situați unul la polul pozitiv (+) al sursei de curent iar celălalt la polul negativ (-) (Fig. 3)¹⁰.

În acest caz, valorile potențialului electric au o dispunere simetrică în jurul unei axe imaginare situate la mijlocul distanței dintre cei doi electrozi (Fig. 4)¹¹.

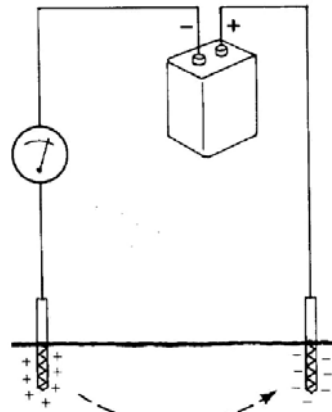


Fig. 3

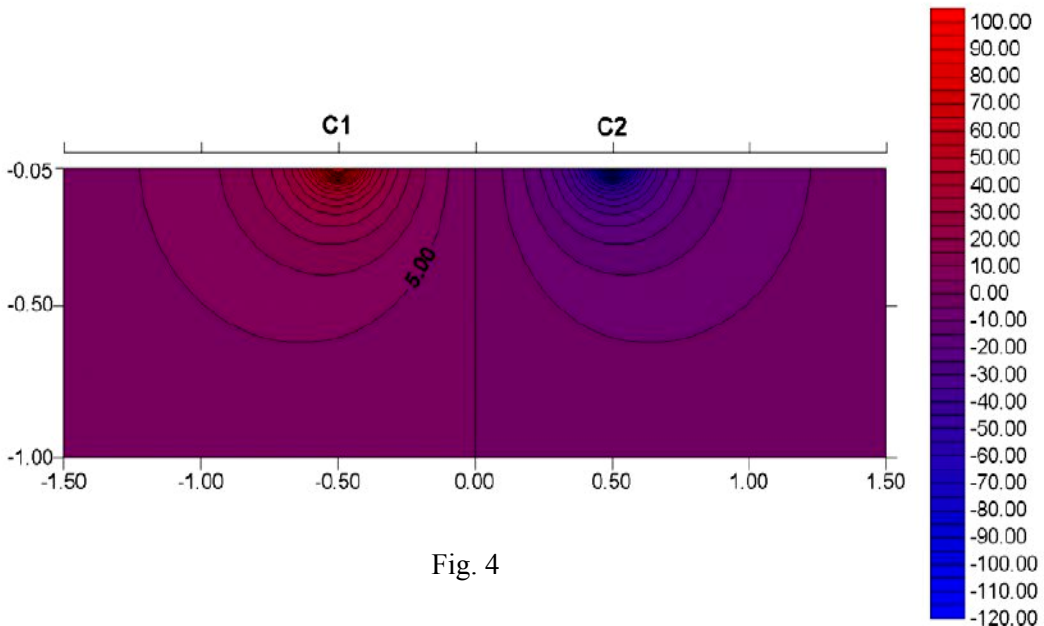


Fig. 4

Figura anterioară prezintă distribuția potențialului electric în cazul a doi electrozi situați la distanța de un metru (1m) depărtare unul față de celălalt, la o intensitate a curentului electric de un amper ($I = 1A$), curent ce este difuzat într-un spațiu omogen având rezistivitatea de un ohm-metru ($\rho = 1\Omega.m$).

¹⁰ Ciută 2003, p. 48.

¹¹ Summer 1976.

Valoarea potențialului în acest caz este dat de formula:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi r} \left(\frac{1}{r_{C1}} - \frac{1}{r_{C2}} \right) \quad (\text{III.2})$$

unde r_{C1} și r_{C2} sunt distanțele de la punctul în care se măsoară potențialul la primul respectiv al doilea electrod.

Rezistivitatea pământului nu este altceva decât o rezistență specifică a materialelor specifice componente, un parametru ce permite standardizarea și compararea rezistenței electrice a diferitelor materiale studiate. Dacă este aplicat un curent artificial în sol, prin intermediul a doi electrozi, ionii vor migra fiecare către electrodul care îi atrage: cei pozitivi către electrodul negativ și cei negativi către electrodul pozitiv. Structurile arheologice, în aceeași manieră, sunt detectabile datorită conductivității electrice diferite a lor față de a solului, prin faptul că afectează procesul de migrație a ionilor încărcăți electric. În figura de mai jos sunt reprezentate grafic două modalități de trecere a curentului electric în sol atunci când întâlnește material arheologic (Fig. 5).

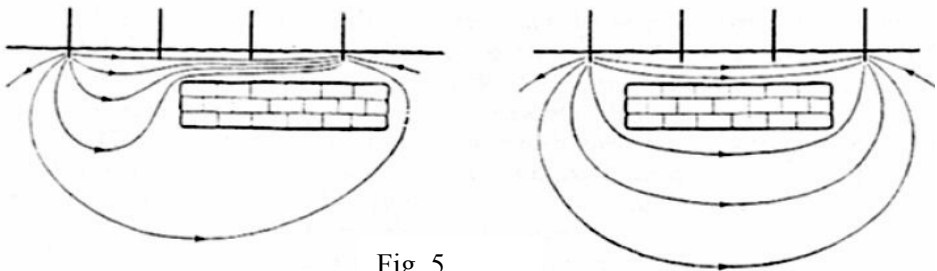


Fig. 5

Pentru a putea vizualiza efectele trecerii curentului electric în sol este nevoie să se cunoască diferența de potențial dintre anumite puncte (ΔV).

Pentru a se face măsurători cât mai precise este nevoie să se crească numărul de electrozi implementați în suprafața solului. Iată un aranjament tipic de patru electrozi (Fig. 6)¹².

Figura anterioară reprezintă *aparatură tester de sol de tip „Megger”* (Fig. 6), unul dintre primele dispozitive puse la punct de către R. Atkinson în anul 1946.

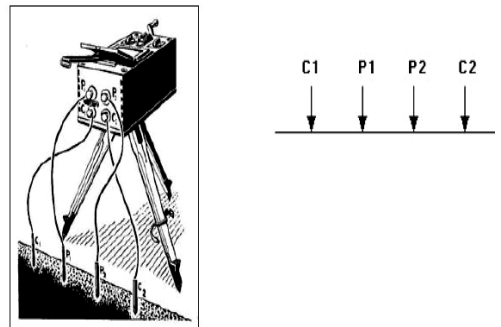


Fig. 6

Formula care ne dă diferențele de potențial este:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi r} \left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right) \quad (\text{III.3})$$

¹² *Ibidem.*

În acest caz, măsurarea rezistivității (ρ) se face prin injectarea de curent electric în sol prin cei doi electrozi C1 și C2 și măsurarea diferențelor de potențial la ceilalți doi electrozi P1 și P2, denumiți și *electrozi de potențial*. Cunoscând valoarea intensității curentului electric (I) precum și valorile diferențelor de potențial (ΔV) se poate calcula valoarea aparentă a rezistivității solului conform relației:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{III.4})$$

unde

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right)} \quad (\text{III.5})$$

k - factor geometric ce depinde de aranjamentul celor 4 electrozi

În practică de obicei, aparatele de măsură calculează valori ale rezistenței electrice (R) care se cunoaște sub forma cea mai simplă a legii lui Ohm ca fiind $R = \frac{\Delta V}{I}$ așa că, valoarea rezistivității aparente va fi calculată după formula:

$$\rho_a = k \cdot R \quad (\text{III.6})$$

Factorul geometric k depinde de configurarea rețelei electrice din care fac parte cei patru electrozi (C1, C2, P1, P2). Există o multitudine de moduri de configurare, fiecare dintre acestea având propriile particularități¹³.

IV. Metoda de măsurare, vizualizare și interpretare 3-D

Metoda 3-D reprezintă cel mai perfecționat nivel de înregistrare, procesare și interpretare a datelor obținute în urma măsurătorilor rezistivității aparente a solului. Această metodă presupune nu numai determinarea valorilor rezistivității aparente (ρ_a) pe verticală în funcție de adâncimea în sol și pe orizontală determinând astfel variațiunile laterale dar și compilarea tuturor datelor în așa fel încât să se poată obține un model tridimensional al solului oferind astfel o imagine mult mai amplă și elevată asupra caracteristicilor dielectrice ale solului.

Această metodă necesită un număr mult mai mare de date prin urmare și un număr mai mare de electrozi precum și o desfășurare mult mai amplă a acestora pe suprafața de studiat. Electrozii în acest caz vor fi dispuși pe două direcții respectiv Ox și Oy (Fig. 7)¹⁴.

Dipozitivele de măsură sunt aceleași ca și în cazurile 1-D sau 2-D, de asemenea existând și o mare diversitate de moduri de legare a electrozilor în cadrul aceluiași dispozitiv cum ar fi *pol-pol*, *pol-dipol*, *dipol-dipol* sau combinații simultane ale acestora, în funcție de particularitățile suprafețelor cercetate.

¹³ Panissod *et alii* 1998, p. 1542-1550.

¹⁴ Loke, Barker 1996, p. 499-523.

Iată două posibilități de conectare ale electrozilor în urma unei astfel de desfășurări (Fig. 8):

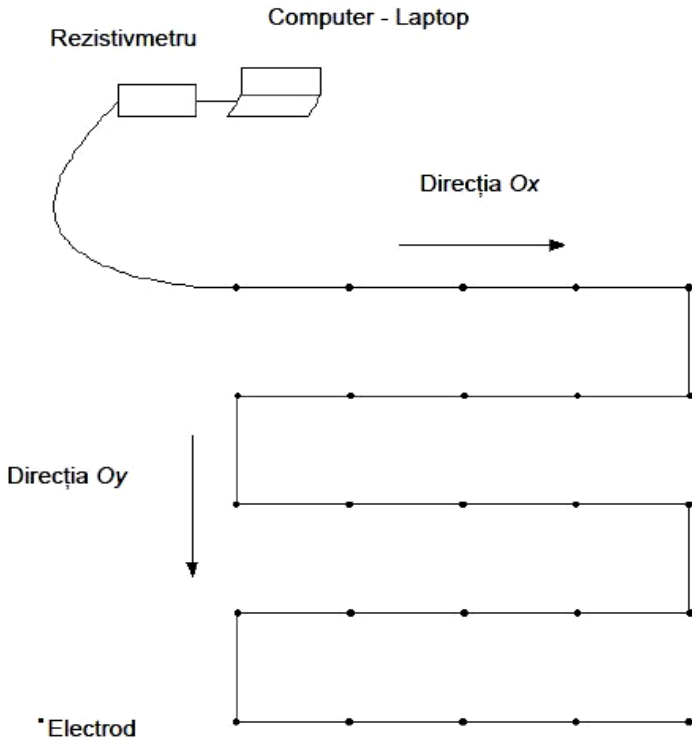


Fig. 7

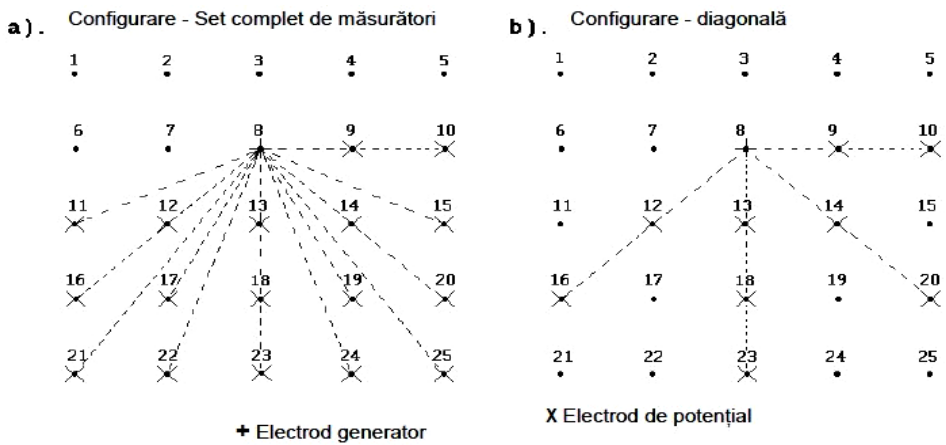


Fig. 8

Pentru fiecare set de măsurători fiecare electrod în parte devine *centru de potențial*, iar acesta se conectează în diverse moduri cu toți ceilalți electrozi rămași în schemă. Diferențele de potențial (ΔV) vor fi măsurate de la electrodul principal specific fiecărui set de măsurători la fiecare dintre ceilalți electrozi cu care este conectat. La punctul a) observăm o conectare cât mai completă a electrozilor astfel încât se va obține un număr maxim de date. Dacă particularitățile solului nu sunt foarte variate iar acesta nu prezintă multe neomogenități laterale de structură se va face o *conectare în diagonală* ca la punctul b)¹⁵.

Fiecare mod de aranjament al electrozilor precum și modul de conectare al acestora specific fiecarui set de măsurători are stabilite pentru compilarea datelor formule de calcul bine definite, de exemplu în cazul modului de conectare *pol-pol*, numărul maxim de măsurători ce pot fi efectuate n_{max} este dat de formula:

$$n_{max} = n_e(n_e - 1)/2 \quad (IV.1)$$

unde n_e - reprezintă numărul total al electrozilor utilizați

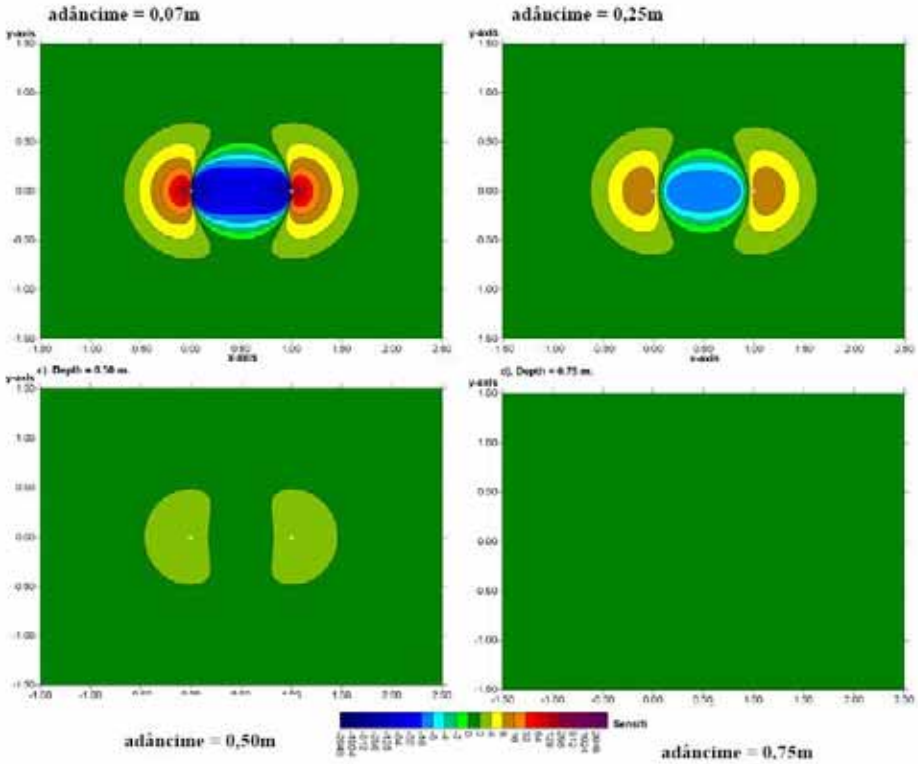
Astfel, pentru o desfășurare pe axa Ox a câte 5 electrozi, și 5 desfășurări pe axa Oy vor fi posibile 300 de măsurători. Dacă se mărește numărul electrozilor și al desfășurărilor, pentru 10 electrozi pe desfășurarea Ox și 7 desfășurări pe Oy , vom avea un număr de măsurători cuprins între 1176 și 4500, în funcție de modul de conectare pe fiecare set de măsurători în parte. Numărul de electrozi pe desfășurare precum și numărul de desfășurări este stabilit în funcție de dimensiunile suprafeței ce urmează a fi investigate. Nu are sens spre exemplu pentru o suprafață mică să se folosească prea mulți electrozi și de asemenea pentru o suprafață omogenă. În unele cazuri distanța dintre electrozii situați în linie pe o desfășurare de-a lungul axei Ox este semnificativ mai mică decât distanța dintre desfășurări pe axa Oy , de aceea pentru fiecare caz în parte trebuie să se stabilească și dimensiunile optime ale acestor distanțe.

Indiferent de tipul dispozitivului folosit și de modul de conectare al electrozilor în cadrul dispozitivului, principiul de bază al metodei rezistivității electrice 3-D rămâne același: în urma compilării datelor de către computer, se obțin imagini bidimensionale 2-D pentru diferite adâncimi din sol, imagini ce constau în reprezentări grafice spectrale ale valorilor rezistivității aparente ale straturilor de sol și aceste imagini puse cap la cap pe verticală dau în final o reprezentare tridimensională 3-D a caracteristicilor dielectrice ale solului măsurate pe o anumită arie la suprafață (Fig. 9)¹⁶.

În figura următoare sunt reprezentate imagini spectrale obținute cu un dispozitiv Wenner dispus la modul pol-pol, avem patru cadre bidimensionale la diferite adâncimi. Se observă cum, odată cu creșterea în adâncime, de la 0,07m până la 0,75m caracteristicile dielectrice ale solului se omogenizează urmând ca de la 0,75m în jos solul să devină complet omogen, semn că s-a ajuns la solul viu sau steril.

¹⁵ *Ibidem.*

¹⁶ *Ibidem.*



Spectru rezistivitate

Fig. 9

Același lucru se poate observa și în cazul unui dispozitiv Wenner-Schlumberger dispus la modul *pol-dipol* (Fig. 10)¹⁷. Modul diferit de conectare al electrozilor duce la forme diferite de distribuție spectrală a culorilor în cadrul imaginilor. Important nu este însă forma imaginii obținute, deoarece aceasta este generată de modul de conectare al electrozilor, ci buna interpretare a acestor imagini.

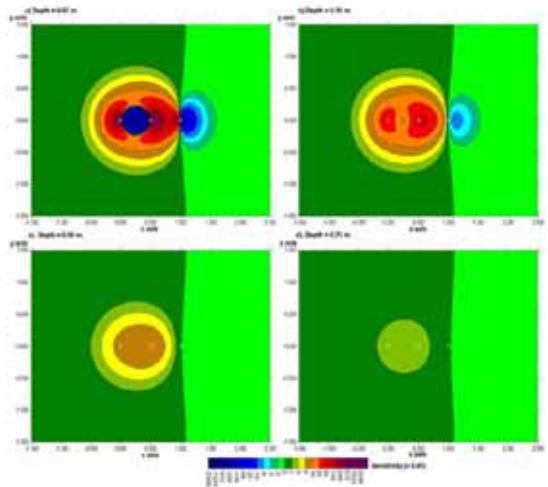


Fig. 10

¹⁷ *Ibidem*.

Punerea cap la cap a acestor „felii” de sol luate pe verticală presupune deținerea de programe informatice profesionale și perfecționiste. De asemenea contează foarte mult și puterea de procesare a computerului folosit în rularea acestor programe, deoarece parametrii necesari rulării acestora sunt mari și deci și efortul computațional aferent este foarte mare.

Unul dintre cele mai cunoscute programe informatice specializate pentru procesarea datelor și obținerea de imagini tridimensionale în adâncime a solului este RES3DMOD.EXE, capabil să calculeze valorile rezistivității aparente (ρ_a) și să redea practic o tomografie a solului pentru măsurători cu desfășurări rectangulare ale electrozilor. Acesta poate rula sub sisteme de operare Windows 98/ 2000/ XP/ NT/Vista. Acest program conține modele comparative de date pentru valorile rezistivității aparente în fișierul BLOCK11.MOD cu ajutorul cărora se atribuie cea mai apropiată valoare spectrală corespunzătoare valorii rezistivității într-un punct din sol. Se generează astfel imagini bidimensionale 2-D pentru diferite adâncimi (Fig. 11).

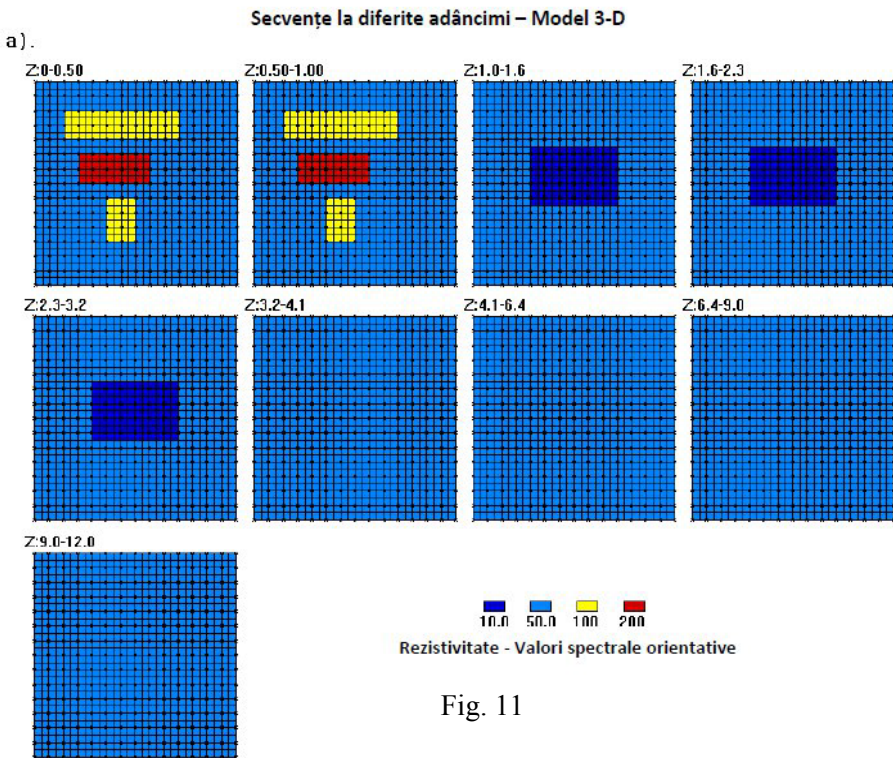


Fig. 11

De asemenea, programul RES3DMOD.EXE are setată o opțiune ce presupune salvarea datelor înregistrate și folosirea lor în cadrul programului de inversiune RES3DINV.

Programul de inversiune RES3DINV presupune refacerea în sens invers a drumului parcurs de curentul electric în sol, pe baza valorilor rezistivității aparente (ρ_a) și reconstituirea tridimensională a modelului 3-D rezultat în urma măsurătorilor efectuate.

În prima fază se reconstituie rețeaua tridimensională în funcție de coordonatele fiecărui punct situat pe grila bidimensională 2-D corespunzătoare fiecărei adâncimi în parte (Fig. 12)¹⁸.

În figura 12 avem 3 cazuri:

- a) modelul standard unde dimensiunile rectangulare orizontale (Ox , Oy) ale celulelor se stabilesc în funcție de distanțele dintre electrozi;
- b) etapa a doua, mai exact modelul în care celulele sunt divizate pe orizontală;
- c) ultima etapă a procesării, respectiv modelul în care celulele sunt divizate și pe verticală în vederea obținerii unor imagini cât mai clare.

După compilarea tuturor datelor, date corespunzătoare valorilor rezistivității aparente a solului (ρ_a) în fiecare punct al rețelei virtuale astfel obținută și atribuirea unei valori spectrale de o anumită intensitate pentru fiecare valoare discretă a rezistivității aparente în punctul respectiv, se va obține un model tridimensional 3-D complet (Fig. 13)¹⁹.

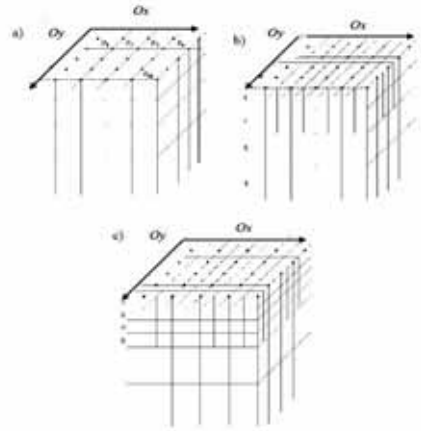


Fig. 12

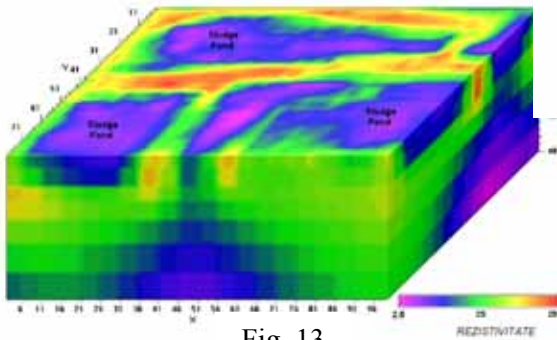


Fig. 13

Prin interpretarea corectă a imaginilor obținute se poate determina cea mai bună tehnică de abordare a săpăturii astfel încât vestigiile și artefactele ce urmează a fi descoperite vor fi afectate cât mai puțin.

Trebuie remarcat faptul că toate metodele de investigare arheogeofizice au caracter non-distructiv, amintim aici și alte metode respectiv georadarul (Ground Penetrating Radar) și magnetometrul, nepericlitând în cadrul cercetărilor făcute sub nici o formă integritatea zonelor de sit investigate.

Cu toate că nici una dintre ele nu poate oferi o certitudine de sută la sută în ceea ce privește descoperirile ce urmează a fi făcute, fiecare dintre ele crește semnificativ probabilitatea ca descoperirile arheologice să aibă loc și de asemenea înlătură un volum inutil imens de muncă pentru suprafețele ce nu prezintă interes de săpătură.

Iată numai câteva dintre avantajele deosebite pe care le conferă folosirea acestor metode.

¹⁸ McGillivray, Oldenburg 1990, p. 589-624.

¹⁹ Sasaki 1992, p. 453-464.

Bibliografie selectivă

- Ciută 2003 M. Ciută, *Metode și tehnici moderne de cercetare în arheologie*, în *Note de curs*, Alba Iulia 2003, p.48-50.
- Loke, Barker 1996 Loke M.H., Barker R.D., *Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion*, în *Geophysical Prospecting*, 44, 1996, p. 499-523.
- Loke, Dahlin 2002 Loke, M.H, Dahlin, T, *A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion*, în *Journal of Applied Geophysics*, 49, 2002, p. 149-162.
- Nyquist *et alii* 1999 Nyquist, J.E., Bradley, J.C., Davis, R.K., *DC resistivity monitoring of potassium permanganate injected to oxidize TCE in situ*, în *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, 4, 1999, p. 135-148.
- McGillivray, Oldenburg 1990 McGillivray, P.R., Oldenburg, D.W., *Methods for calculating Frechet derivatives and sensitivities for the non-linear inverse problem: A comparative study*, în *Geophysical Prospecting*, 67, 1990. p. 589-624.
- Olivar *et alii* 1990 Olivar, A., de Lime, L. and Sharma, M.M., 1990 *A grain conductivity approach to shaly sandstones*, în *Geophysics*, 55, 1990, p. 1347-1356.
- Panissod *et alii* 1998 Panissod, C., Dabas, M., Hesse, A., Jolivet, A., Tabbagh, J. and Tabbagh, A. *Recent developments in shallow depth electrical and electrostatic prospecting using mobile arrays*, în *Geophysics*, 65, p. 1542-1550.
- Sasaki 1992 Sasaki, Y., *Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation*, în *Geophysical Prospecting*, 40, 1992, p. 453-464.
- Summer 1976 Summer, J.S, *Principles of induced polarization for geophysical exploration*, în *Elsevier Scientific Publishing Company*, 1976.