

# STUDIUL REALIZAT PE BAZA METODEI REZISTIVE CONCEPTE ȘI DEZVOLTATE DE CĂTRE CONRAD SCHLUMBERGER ȘI SABBA S. ȘTEFĂNESCU, DOI TITANI AI GEOFIZICII

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

**ABSTRACT:** The identification and evaluation of environmental pollution is a study based on methods designed and developed by Conrad Schlumberger and Sabba S. Ștefănescu, two geniuses of Geophysics. The former is the founder of the resistivity method, which determines the processes underlying electrical measurements, and the latter is the one who develops the method and takes it to the level of geoelectrical tomography. This helps specialists in research and exploration to monitor the anthropogenic activities which occur at ground level and even to anticipate the anthropic evolution. The processing of signals of a diagram, in particular – the electrical resistivity, describes the variations of randomly recorded data that determine the depth of a layer.

**KEYWORDS:** electrical engineering – 1D and 3D inversion, environmental factors-geoelectrical resistivity, probabilistic models, Conrad Schlumberger, Sabba S. Ștefănescu

## *Introducere*

Măsurătorile electrice care definesc rezistivitatea unui sol (geologic) și interpretarea datelor geoelectrice din care rezultă diagramele (imagistica rezistivă), sunt metode ce au fost dezvoltate de către Sabba S. Ștefănescu și Conrad Schlumberger.

Conrad Schlumberger s-a născut la Guebwiller, la 2 octombrie 1878,

---

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

într-o familie aparținând de secole patriciatului orașului liber Mulhouse. Toată copilăria sa a petrecut în atmosfera calmă a acestui mic oraș industrial, unde tatăl său deținea o fabrică de filare, în blândețea și siguranța unei vieți de provincie protejate, care ar fi fost foarte potrivită pentru a înmuia caracterul și a limita orizontul intelectual. Dramă pe care bunicul său patern a încercat să o rezolve, acceptând o colaborare necesară, singura modalitate de a salva ceea ce putea fi salvat de individualitatea țării, dar pe care copilul a simțit-o mai acut decât alții. Mama sa a păstrat numeroase legături, ea fiind și nepoata lui Guizot, cu Franța [5].

În anul 1893, și-a părăsit orașul natal și a urmat studiile la Paris, alături de bunicul său matern, Conrad de Witt, pe atunci deputat în Calvados, și de bunica sa, fiica lui Guizot. Simțindu-se în largul său în acest nou mediu, cei cinci ani petrecuți în Condorcet, apoi în Saint-Louis, au fost doar o serie de succese, atât în materie literară, cât și științifică, care poartă deja marca gustului său pentru o lucrare aprofundată. Deși mediul în care a trăit până atunci a cultivat mai ales literele și istoria, el a simțit – fără îndoială rezultatul primelor sale experiențe de copil, la fabrica tatălui – fiind mai degrabă atras de științe, deci era destul de firesc că intenționa să dea admitere la Școala Politehnică. A fost admis în prima promoție din anul 1898.

Conrad Schlumberger (anii 1878–1936) a fost poate cea mai marcantă personalitate din domeniul prospecțiunii electrice. El și colegii săi au inițiat „Școala Schlumberger”, dar pe care noi o desemnăm „Școala Franceză”. În calitate de geolog, fizician și miner, Conrad Schlumberger se afla într-o poziție unică de a dezvolta tehnici de prospecțiune geofizică nu numai atunci când acestea erau necesare de către industria minieră, ci și într-un moment în care cunoștințele tehnice generale deveniseră abia recent disponibile pentru a furniza un fundal adecvat pentru studiile sale. Utilizarea câmpurilor electrice a fost de două ori atractivă pentru el, în primul rând, datorită ușurinței cu care un câmp electric artificial poate fi aplicat pe pământ și, în al doilea rând, rezistența electrică a materialelor subsolului care variau mai mult față de orice altă proprietate ale altor materiale solide.

Prima abordare a prospecțiilor electrice a lui Schlumberger a fost cartarea liniilor echipotențiale ale unei surse de curent. Din cauza inducției directe în liniile sale de măsurare, el a trecut la o sursă de curent continuu cu un potențiomtru și electrozi potențiali nepolarizanți pentru a măsura

diferențele de potențial cantitativ. Apoi a reușit să realizeze atât hărți de linii echipotențiale pentru un singur electrod, cât și profiluri de potențial între doi electrozii prin care se induc curenți. Dacă solul este omogen sau dacă singura variație de rezistență rezidă în cea găsită mergând de la un strat orizontal la altul aflat sub el, din liniile echipotențiale pot rezulta cercuri concentrice realizate cu electrodul, prin care s-a introdus curent la centrul lor comun. Cu toate acestea, dacă existau variații laterale ale rezistivității solului, aceste variații se exprimau în distorsiuni ale cercurilor [5].

Sabba S. Ștefănescu este cel de-al treilea și cel mai mic fiu al profesorului de paleontologie Sabba Ștefănescu și al soției sale Constanța (n. Demetrescu-Negrea) și s-a născut la data de 20 Iulie 1902, a urmat clasele primare la privat și, câțiva ani la Liceul Sf. Sava, a plecat în anul 1917 împreună cu familia la Paris, unde tatăl său avea de îndeplinit o misiune diplomatică; aici a obținut bacalaureatul la Liceul Louis-le-Grand (anul 1919). A studiat la prestigioasa École des Mines, obținând diploma de inginer de mine (anul 1923).

Întors în țară, a lucrat un timp în Valea Jiului în cadrul Întreprinderii Petroșani. O afecțiune pulmonară severă îl obligă să revină în București, unde își începe activitatea de dascăl în cadrul Catedrei de Foraje a Școlii Politehnice. În anul 1927 a fost angajat al Institutului Geologic al României, unde era director Prof. L. Mrazec, în cadrul Secției de Prospekțiuni, condusă la vremea aceea de ing. T.P. Ghițulescu, a început studiile de prospecțiune electrică a subsolului, pe care le-a continuat toată viața [3].

Într-o astfel de companie Sabba S. Ștefănescu a fost susținut și impulsionat, unde a considerat că își poate valorifica cunoștințele acumulate în domeniul fizico-matematică, aducând contribuții la rezolvarea problemelor ridicate de prospecțiunea geologică. Rezolvarea complexă a ecuațiilor diferențiale ale liniilor de câmp magnetic ale emițătorului AB, atât în aer cât și în sol, în cazul unui sol omogen și izotrop, având o suprafață plană, formează subiectul a două note prezentate la Academia Română în anii 1927 și 1928, unde se formează un studiu teoretic asupra prospecțiunii electrice ale subsolului.

Subiectele au fost prezentate în cadrul ședințelor de comunicări ale Institutului Geologic al României în anul 1929. Rezultatele obținute, sunt apreciate de către șefii săi, unii fiind membri ai Academiei Române, îi asigură tânărului Sabba S. Ștefănescu o bursă la Paris.

Grație acestor studii, a intrat începând din anul 1929 în colaborare directă, mergând la Paris, cu frații Conrad și Marcel Schlumberger, pionierii europeni ai prospecțiunii electrice și fondatorii societății de prospecțiuni geofizice care urma să devină gigantul Schlumberger Limited de astăzi. În anul 1933 și-a reluat activitatea la Institutul Geologic, rămânând simultan inginer consultant al firmei Schlumberger. Urmează o perioadă de activitate științifică deosebită susținută de către cercetările teoretice ce sunt îmbinate cu succes cu cele aplicative: construcție și experimentare de aparatură.

În ceea ce privește modelarea matematică a cazurilor tridimensionale complexe de tipul mineralizațiilor difuze, Prof. Sabba Ștefănescu a imaginat mediile alfa în medii neomogene, în care conductibilitatea variază în mod continuu de la un punct la altul. De vreme ce au fost depășite dificultățile privind puterea limitată de calcul, modelarea matematică a distribuției câmpului electric cu ajutorul mediilor alfa, a putut fi realizat tridimensional, în cazul unui subsol heterogen (cazul 3D).

Devine doctor în fizică a Universității din București (anul 1945), membru corespondent al Academiei Române (anul 1946), a devenit șeful secției de geofizică a Comitetului Geologic (anul 1950) și titularul Catedrei de Geofizică nou creată la Institutul de Mine (anul 1950) și trecută apoi la Institutul de Petrol, Gaze și Geologie. În această dublă calitate a contribuit esențial, până la pensionare (anul 1967), a contribuit la formarea primei generații de geofizicieni români. Devine membru titular al Academiei Române (anul 1963) și președinte al Secției de Științe Geologice, Geofizice și Geografice (anii 1966–1990), a fost director al mai multor institute de cercetări geofizice ale Academiei și Comitetului Geologic, redactor șef al celor două reviste de specialitate (*Revue roumaine de géologie, géophysique et géographie* și *Studii și cercetări de geologie, geofizică și geografie*, seriile de geofizică), președinte al Comitetului Național Român de Geodezie și Geofizică. A fost ales membru de onoare al societății geofizicienilor prospectori americani (*Society of Exploration Geophysicists*), „for developing the theoretical basis for several methods now in common use”[3].

„Memoria sa a fost omagiată prin acordarea de către Academia Română a numelui de Sabba S. Ștefănescu Institutului de Geodinamică, prin instituirea de către Societatea Română de Geofizică, în colaborare cu Comitetul Național Român de Geodezie și Geofizică al Academiei Române, a Premiului Sabba S. Ștefănescu, respectiv a Medaliei placată în

aur, *Sabba S. Ștefănescu* și prin amenajarea, în casa în care s-a născut, a trăit și a creat, a Muzeului *Sabba S. Ștefănescu*, nucleu al Muzeului *Sabba S. Ștefănescu* ce va include și elemente privind viața și activitatea ilustrului său părinte” [3].

În cazul particular de față, reprezentând măsurători ale rezistivității electrice – date ce le-am prelevat din jurul terminalului Oil Company-Constanța –, datele au fost interpretate pe baza acestor aplicabilități dezvoltate de către titanii geologiei și geofizicii, Sabba S. Ștefănescu și Conrad Schlumberger. În exemplele prezentate mai jos va specifica dispozitivul, rețeaua și o aparatură eficientă, în funcție de problema geologică propusă și parametrii geomorfologici din zona cercetată.

### ***Rezistivitatea aparentă aplicată în acest studiu de caz***

Această metodă cercetează influența structurii semispațiului inferior în distribuția curentului la suprafață și în subsol prin intermediul rezistivității aparente.

Tehnica de teren se reduce la introducerea prin linia AB a unui curent de intensitate cunoscută și măsurarea între punctele MN a diferenței de potențial asociată acestui curent. Aparatura de măsură este dotată cu un compensator al polarizației naturale, eliminând efectul acesteia în valoarea rezistivității rezultate. Dispozitivul cvadripolar AMNB are diferite configurații în funcție de necesitățile prospecțiunii, ele fiind practic variate pentru înlăturarea diferiților factori ce influențează distribuția curentului (neomogenitățile și umiditatea subsolului, relieful, etc) care se reflectă în mărimea și modul de variație a rezistivității măsurate.

Relația generală de lucru depinde deci de proprietățile electrice ale subsolului și de configurația dispozitivului de măsură:

$$\rho_a = \frac{k\Delta V}{I} \quad (1.1)$$

unde:

K este un factor legat de forma dispozitivului.

Ecuția generală în cazul unui mediu izotrop și omogen este dată de formula:

$$\rho_0 = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{M} - \frac{1}{N} - \frac{1}{B} + \frac{1}{A}\right)} \cdot \frac{\Delta V_0}{I} \quad (1.2)$$

Dacă mediul nu este omogen și izotrop, iar suprafața lui nu este plană, valoarea rezistenței specifice calculată cu ajutorul formulei de mai sus reprezintă o medie complexă a rezistivităților mediului din imediata vecinătate a dispozitivului de măsură. Aceasta valoare medie se numește *rezistivitate aparentă*.

Dispozitive de lucru

În acest articol este prezentată o sinteză secvențială a lucrărilor anterioare remăsurate după 18 ani pentru a evidenția evoluția stării de poluare a subsolului zonei locuibile între Oil Terminal și bulevardul 1 Mai. Rezultatele investigației electrometrice sunt prezentate în cele ce urmează.

Dispozitivele frecvent utilizate în prospecțiunea electrică sunt cazuri particulare ale dispozitivului cvadripolar general; acestea pot fi împărțite după numărul și poziția relativă a electrozilor A, M, N, B în patru categorii: cvadripolare, dipolare, tripolare și bipolare. În general, la emisie se folosesc electrozii cilindrici confecționați din oțel. Introducerea lor în pământ se realizează prin mijloace manuale sau mecanice, iar joncțiunea cablului se efectuează prin intermediul unor cleme sau al unor contacte în prealabil sudate. Lungimea părții îngropate a electrodului crește în mod constant în cazul solurilor aride. Practic, în cazul sondajului electric vertical cu dispozitive coliniare simetrice Schlumberger, se utilizează următoarea formulă simplificată.

$$\rho_a = \pi M \cdot \frac{N}{M} \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1.3)$$

care aproximează destul de corect valoarea  $a$  în cazul mediilor „reale”.

Formula simplificată a dispozitivului Wenner, unde condiția este  $AM = MN = BN = a$ :

$$\rho_a = 2\pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1.4)$$

Formula simplificată pentru dispozitivul Dipol-Dipol este:

$$\rho_a = 2\pi G_d X \frac{\Delta V}{I} \quad (1.5)$$

Unde:

$$G_d = K = (1/n - 1/(n+1)) - (1/(n+1) - 1/(n+2));$$

n= pas de măsură;

x= AB = MN.

În cazul dispozitivului Pol-Dipol formula devine:

$$\rho_a = 2\pi G_p X \frac{\Delta V}{I} \quad (1.6)$$

Unde:

$$G_p = K = 1/(1/n - 1/(n+1)),$$

X = MN.

Din analiza celor de mai sus rezultă și adâncimea de investigație teoretică:

$$h = (n + 1) \frac{X}{2} \quad (1.7)$$

Unde:

n = pas de măsură (n = 0 la dispozitiv Schlumberger),

x = AB (sau MN la dispozitiv dipolar).

Dispozitivul Dipol-Dipol asigură aceeași adâncime de distribuție a liniilor de curent ca și la dispozitivele Schlumberger și Wenner la adâncime,  $h = AB/2$ , dar cu întinderi de cablu de 6 ori mai mici. Aceste dispozitive sunt în general cele mai des utilizate, în cadrul prospecțiunilor electrice în cercetarea unor structuri, pe diferite tipuri de roci. În cazul prospecțiunilor electrice pe depozite sedimentare, în stratificație cvasiorizontală și cu relief plan, s-a utilizat SEV coliniar simetric Schlumberger având distanța dintre liniile AB de 3000–4000 [m].

În terenuri mai accidentate și cu stratificație neorizontală (fliș, wildfliș, șisturi cristaline cu cuverturi alterate, etc) s-au utilizat dispozitive

tip Schlumberger cu linii AB mai scurte (600–1200 [m]) și dispozitive Wenner, Dipol-Dipol, pol-dipol ( $AB = MN = 40$  [m] pentru Wenner, dipol-dipol și respectiv,  $AB = 1500$  [m],  $MN = 20$  [m] pentru dispozitiv Pol-Dipol). În acest ultim caz, s-au utilizat doi dipoli MN simetrici față de A și astfel s-a construit o valoare medie a rezistivității aparente, atribuită ca și la SEV concordant Schlumberger centrului o al dispozitivului (poziția aparatului).

### *Cadrul natural*

Orașul Constanța se află în estul României, în regiunea Dobrogea, și reprezintă nu numai cel mai important port al țării, ci și cel mai mare port din întregul bazin al Mării Negre. Aici se găsește un terminal specializat pentru importul petrolului brut și al benzinei precum și pentru exportul produselor petroliere rafinate și al produselor chimice obținute din petrol. Terminalul este legat de rețeaua națională de conducte prin care se transportă petrol brut spre rafinării (Pitești, Onești, Midia) și produse petroliere (benzină, motorină) de la acestea spre port. El dispune și de două depozite de mare capacitate (Oil Terminal Nord și Oil Terminal Sud) legate între ele și cu portul Constanța prin conducte petroliere.

Din punct de vedere geologic, orașul Constanța se află în unitatea de vorland a României, denumită Platforma Sud-Dobrogeană (Dobrogea de Sud). Platforma prezintă un soclu constituit din gnaise granitice și șisturi cristaline mezometamorfe peste care se dispune o acoperitură sedimentară formată pe parcursul a patru cicluri de sedimentare (Vendian-Carbonifer, Jurassic mediu-Cretacic, Paleogen, Miocen-Pliocen), la care se adaugă și depozite cuaternare. Toată Platforma Sud-Dobrogeană este acoperită de formațiuni cuaternare reprezentate prin loess și depozite loessoide, care, pe alocuri, depășesc 40 [m] grosime. Ele repauzează direct peste calcare sarmațiene sau peste argile verzui și roșcate, de vârstă Pleistocen-inferioară și adesea conțin soluri fosile și lentile de gipsuri. Rocile sunt constituite din prafuri nisipoase și nisipuri foarte fine, prăfoase, gălbui, macroporice, alternate de concrețiuni calcaroase. Solurile fosilizate formează 2–7 nivele mai argiloase, de culoare cărămizie, având o structură macroporică, loessoidă. Aici apar mai multe nivele acvifere sensibile la poluare, produse rezultate din activitatea industrială și civilă.

Ultimul ciclu de sedimentare începe în Badenian cuprinzând unele discontinuități nesemnificative și se încheie în Pliocen, V. Mutihac et

al. [4]. Depozitele badeniene sunt constituite din argile și marnocalcare nisipoase cu *Chlamys pertinax*. După o întrerupere a procesului de sedimentare urmează depozite sarmațiene reprezentate prin argile, marne, nisipuri, calcare lumașelice și calcare oolitice cu *Macra eichwaldi*. Ciclul se încheie cu depozite arenito-pelitice, aparținând Mio-Pliocenului.

Harta geologică a municipiului Constanța a fost realizată prin digitizare cu ajutorul programului Didger, preluată după I. Petrescu et al, [2] la Scara 1:200.000, existentă în cadrul Institutului de Geodinamică Sabba S. Ștefănescu, Laboratorul Dinamica Globului Terestru anul 2016, (Fig. nr. 1).

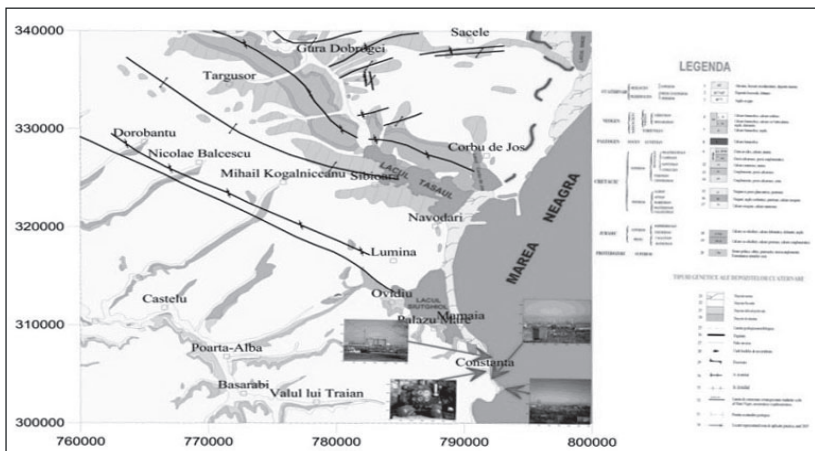


Fig. nr. 1 – Harta geologică a municipiului Constanța, Scara 1:200. 000 [2]

### *Echipamentul utilizat pentru valorificarea datelor*

Aparatura utilizată este un rezistivimetru de tip TERRAMETER SAS 300 C (ABEM-Suedia în 2001–2003) și SUPERSTING R1 (AGIE-USA în 2015). Măsurătorile din interiorul depozitelor OIL TERMINAL (măsurătorile din 2001–2003 au fost preluate potrivit D. Jipa et al. [1] și în zona orașului din imediata apropiere a acestor depozite) s-au realizat sondaje electrice verticale (SEV) reprezentate prin adâncimea maximă de investigație de 14,5 [m], definită prin pasul de măsură între stații de 20–40 [m] în anii 2001–2003 și 60–120 [m] în anul 2015. Materialul grafic, prelucrat automat, este valorificat sub forma unor secțiuni geoelectrice (Fig. 2) interpretative având la bază secțiunea rezistivității aparente în care sunt determinate valorile geoelectrice specifice, precum și elemente

de interpretare geologică, hidrogeologică și geotehnică. Din interpretarea acestei imagini geoelectrice în termeni hidrogeologici, geotehnici și edilitari se separă zonele definite prin diferitele grade de poluare.

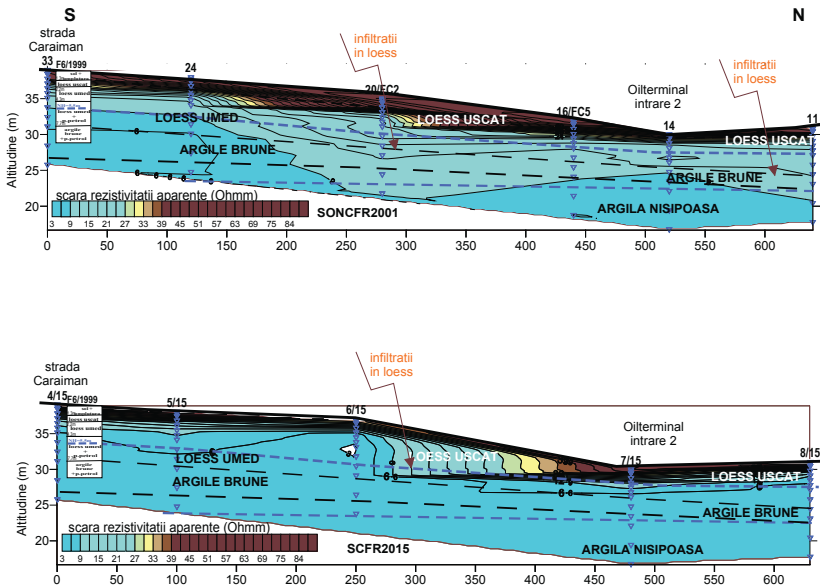


Fig. nr. 2 – Secțiunea geoelectrică comparativă –  
Calea ferată pe latura estică a depozitului

Din prelucrarea hărților de tomografie, reprezentate în harta topografică și geoelectrică (Fig. 3 și Fig. 4), este evidențiată întinderea penei de poluare și direcția de invazie, în corelație cu limitele freaticului, morfologia paleoreliefului roci de bază (sub loess – argilă brun roșcată) sau ale pierderilor din canalizări industriale sau menajere.

Prin interpretarea materialului prelucrat, rezultatul fiind un profil în secțiune 2D (în cazul unei rețele geometrice de profile se pot face chiar prelucrări în 3D), se vor stabili următorii parametri:

- nivelul hidrostatic;
- limite stratigrafice;
- neomogenități locale și regionale;
- limitele zonelor cu grad diferit de poluare etc.

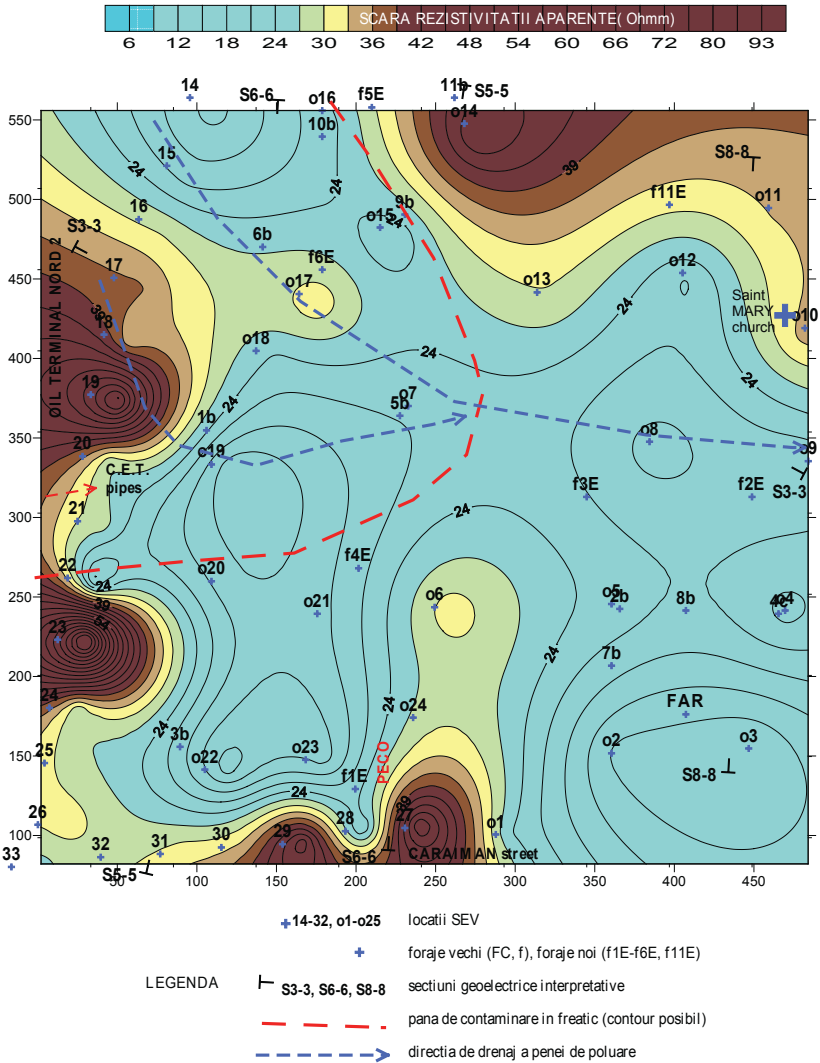


Fig. nr. 3 – Harta geoelectrică la -2,00 [m] adâncime, date din 2001–2003 și 2015

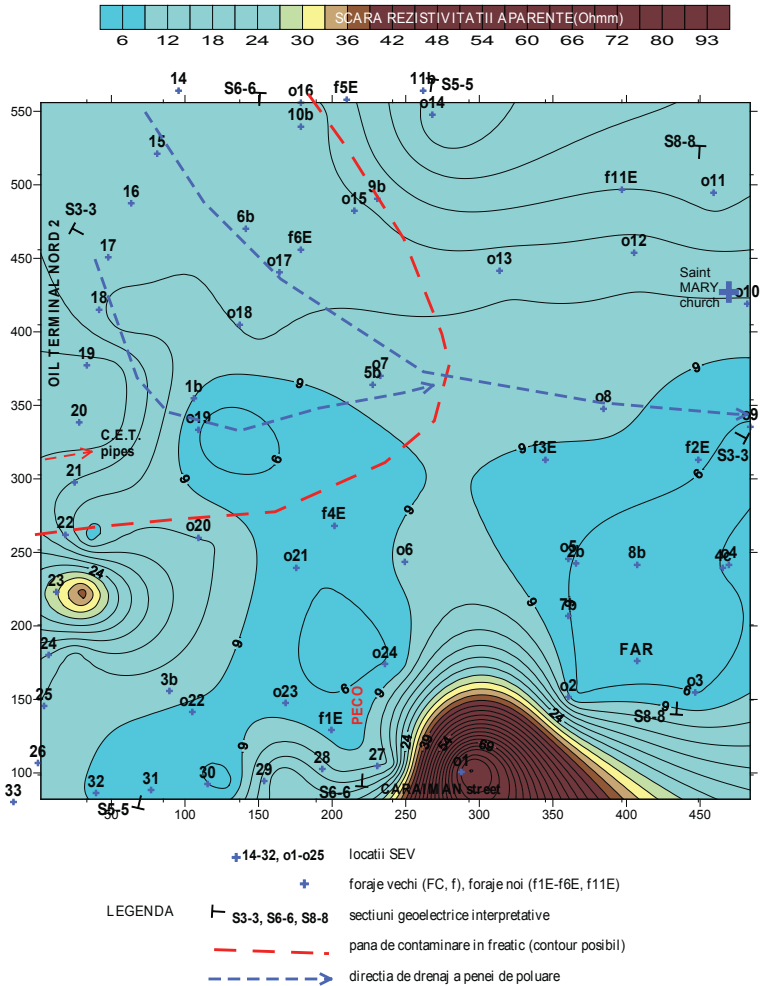


Fig. nr. 4 – Harta geoelectrică la -4,00 [m] adâncime, date din 2001–2003 și 2015

### Concluzii

Utilitatea metodelor și tehnicilor de cercetare geoelectrică în mediul geologic urban (intervenții antropice). Scopul măsurătorilor de rezistivitate a fost prezentarea evoluției produselor petroliere, sursa fiind Oil Terminal în care sunt rezervoare de 7000 litri de produse petroliere (țigăi, motorină, benzină), produsele petroliere infiltrate din platformele de

transport și pierderile din conductele de alimentare și de transfer, produc pene de poluare (infiltrarea în solul prafos (loess) a produselor respective.

Precipitațiile între rezervoare, deteriorarea sistemelor de conducte PSI, accelerează deplasarea spre mare (punct cardinal, E) a pierderilor din rezervoare. Există infiltrații istorice (bombardament) și defecțiuni prin deteriorarea în timp a conductelor metalice (1945–1985).

Mediul geologic de suprafață până la nivelul rețelei de conducte este compus din umpluturi grosiere (nisip, argilă, prafuri (loess)) care drenează prin capilaritate pe direcția de curgere a apelor subterane, produsele peroliere. Măsurătorile de rezistivitate într-un mediu stabil ca umiditate constituie valoarea de bază în cercetarea poluării. Față de această valoare loesurile impregnate cu apă dulce dau valori (pluvial) mai crescute de cinci ori (20 [ $\Omega\text{m}$ ] normal și 95 [ $\Omega\text{m}$ ] infiltrații). De asemenea în cazul infiltrației cu produse petoliere, antrenate de un surplus de apă pot produce scăderi drastice ale rezistivității (de la 20 [ $\Omega\text{m}$ ] la 6 [ $\Omega\text{m}$ ]), cu alte cuvinte de ordine 3 de mărime. Astfel secțiunile și hărțile geologice au pus în evidență o variație a rezistivității de adâncime, expansiunea infiltrațiilor cu lichide având un chimism diferit. Pluvialul și aducțiunile de apă produc maxime de rezistivitate (20 – 95 [ $\Omega\text{m}$ ]), iar produsele petoliere miscibile sunt definite printr-un chimism crescut.

Contribuția personală este reprezentată de utilizarea metodologiei și tehnicii de măsurare conform manualelor, verificând următorii parametri de măsură în teren:

- coliniaritatea dispozitivului de măsură;
- asigurarea unei prizări corecte;
- verificarea productibilității măsurătorilor prin repetarea de cel puțin trei ori;
- asigurarea unei baze topografice corecte;
- informații privind amplasarea unor conducte, cabluri, fundații îngropate etc.

### **Bibliografie:**

- [1] D. Jipa et al., *Geoecologic assessing of hydrocarbon contamination in the Oil Terminals area*. Constanta, Romania: Study. Oil Terminal Archives, Constanța, pp. 160, 2004.

- [2] I. Petrescu și G. C. Silvia, *Harta Geologică Constanța L35-XXXV, Scara 1:200.000*. București, România: Întocmirea grafică și imprimarea în atelierele Institutului Geologic, 1967.
- [3] \*\*\*, *Studii și cercetări de GEOFIZICĂ*, p. 127–134, Tomul 32, București, România, Editura Academiei Române, 1994.
- [4] V. Mutihac, M. I. Stratulat și R. M. Fechet, *Geology of Romania*. (in Romanian): Didactic and Pedagogic Press, Bucharest, pp. 249, 2004. Sursă internet
- [5] <http://www.annales.org/archives/x/schlumberger.html>