



Proiect finanțat de  
UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI  
PROTECȚIEI SOCIALE  
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN  
POSD DRU  
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE  
2007-2013



MINISTERUL EDUCAȚIEI,  
CERCETĂRII ȘI INOVĂRII  
OPOSDRU



UNIVERSITATEA  
DIN BUCUREȘTI

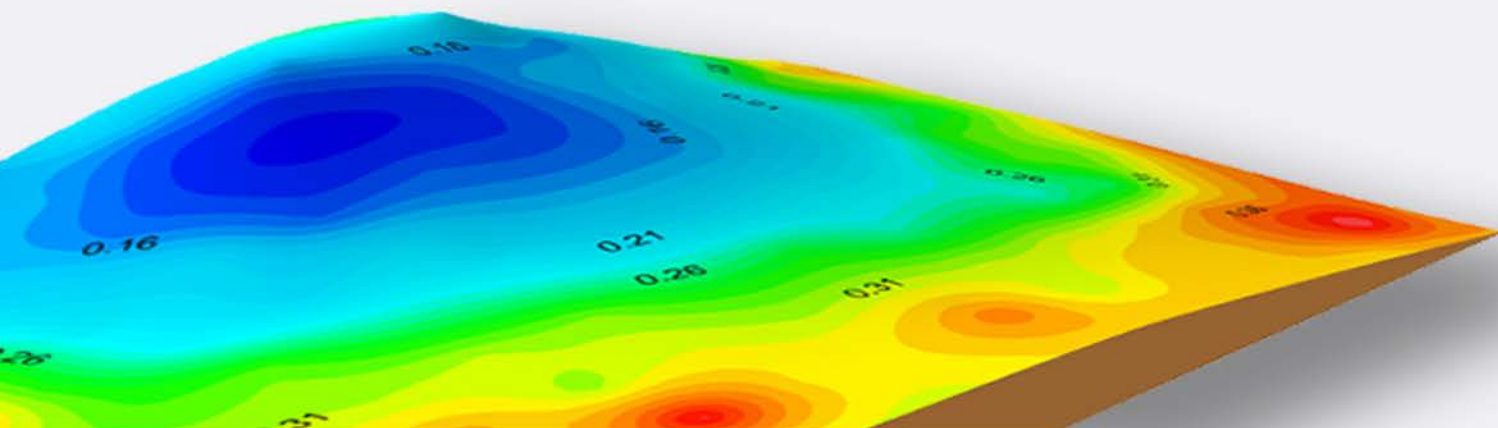
**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI**  
**FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ**

**INVESTIGAREA SOLURILOR PRIN METODE  
GEOFIZICE ȘI PETROFIZICE**

**- Rezumat -**

**Conducător științific:**  
**Prof. dr. ing Dumitru Ioane**

**Doctorand:**  
**ing. Gârbacea George**



**București 2011**

Cercetările au fost desfășurate în cadrul proiectului: “*Suport financiar pentru studii doctorale privind complexitatea din natură, mediu și societatea umană*” - Contract nr.: POSDRU/6/1.5/S/24

# Cuprins

---

<b>Introducere</b> .....	5
--------------------------	---

## **CAPITOLUL I**

<b>FORMAREA SOLURILOR</b> .....	9
---------------------------------	---

<b>1.1 Evoluția cercetărilor asupra solurilor</b> .....	9
1.1.1 Evoluția domeniului pe plan internațional.....	9
1.1.2 Istoricul cercetării solului in România.....	10
<b>1.2 Factori de solificare</b> .....	11
<b>1.3 Formarea si alcătuirea părții minerale prin procese fizico-chimice</b> .....	20
<b>1.4 Principalele componente minerale ale solului care influențează parametrii geofizici</b> .....	21
<b>1.5 Clasificarea solurilor</b> .....	29
1.5.1 Clasificarea solurilor prin metode clasice.....	29
1.5.2 Posibilitatea clasificării solurilor prin metode geofizice.....	32

## **CAPITOLUL II**

<b>PROPRIETĂȚI FIZICO-CHIMICE ALE SOLULUI</b> .....	34
---	----

<b>2.1 Proprietățile fizice ale solului</b> .....	34
2.1.1 Textura solului.....	34
2.1.2 Structura solului.....	37
2.1.3 Porozitatea solului.....	38
2.1.4 Densitatea solului.....	39
2.1.5 Aria specifică a solului.....	41
2.1.6 Variația parametrilor geofizici si petrofizici in funcție de proprietățile fizice ale solului.....	41

<b>2.2 Proprietățile hidrofizice, termice si de aerație ale solului.....</b>	<b>52</b>
2.2.1 Conținutul de apă din sol.....	52
2.2.2 Proprietățile termice si de aerație ale solului.....	55
2.2.3 Soluția solului.....	59
2.2.4 Coloizii solului.....	67
2.2.5 Capacitatea de absorbție cationică.....	68
2.2.6 Reacția solului (pH).....	69
2.2.7 Conținutul de materie organică din sol (humus).....	71
2.2.8 Conținutul de azot în sol.....	76

### **CAPITOLUL III**

#### **PARAMETRII GEOFIZICI SI PETROFIZICI UTILIZAȚI IN GEOFIZICA SOLURILOR.....**

79

<b>3.1 Conductivitatea electrică a solului.....</b>	<b>79</b>
<b>3.2 Rezistivitatea electrică a solurilor.....</b>	<b>84</b>
<b>3.3 Permeabilitatea dielectrică.....</b>	<b>90</b>
<b>3.4 Susceptibilitatea magnetică.....</b>	<b>91</b>
<b>3.5 Conținutul de radionuclizi din soluri.....</b>	<b>97</b>

### **CAPITOLUL IV**

#### **UTILIZAREA METODELOR GEOFIZICE LA INVESTIGAREA SI MONITORIZAREA SOLURILOR.....**

99

<b>4.1 Istoricul cercetării solului prin metode geofizice.....</b>	<b>99</b>
<b>4.2 Metode electrometrice folosite la investigarea si monitorizarea proprietăților solului.....</b>	<b>100</b>
4.2.1 Tehnici de achiziție a datelor 1D, 2D si 3D.....	103
4.2.2 Aplicarea metodelor de rezistivitate la cercetarea solului.....	107
<b>4.3 Metode electromagnetice utilizate la investigarea si monitorizarea solurilor.....</b>	<b>111</b>

4.3.1	Tehnici de achiziție a datelor electromagnetice.....	112
4.3.2	Caracterizarea variabilității spațiale a solului prin intermediul conductivității aparente a solului .....	116
<b>4.4</b>	<b>Aplicabilitatea metodei Georadar la cercetarea solurilor.....</b>	<b>128</b>
4.4.1	Metoda Georadar.....	129
4.4.2	Prelucrarea și interpretarea măsurătorilor GPR efectuate pentru soluri.....	133
<b>4.5</b>	<b>Utilizarea metodei magnetometrice la investigarea solurilor.....</b>	<b>134</b>
<b>4.6</b>	<b>Utilizarea metodei radiometrice în cercetarea solurilor.....</b>	<b>137</b>

## CAPITOLUL V

<b>INVESTIGAREA SOLURILOR UTILIZÂND SUSCEPTIBILITATEA MAGNETICĂ.....</b>	<b>150</b>
<b>5.1 Variabilitatea spațială a proprietăților magnetice ale solurilor.....</b>	<b>150</b>
<b>5.2 Susceptibilitatea magnetică și proprietățile fizico-chimice ale solului.....</b>	<b>170</b>
5.2.1 Susceptibilitatea magnetică pe principalele orizonturi de diagnostic ale solului.....	171
5.2.2 Corelări între susceptibilitatea magnetică și proprietățile chimice ale solului.....	175
<b>5.3 Investigarea solurilor cu un conținut ridicat de metale grele.....</b>	<b>180</b>

## CAPITOLUL VI

<b>CONCLUZII.....</b>	<b>186</b>
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>190</b>

## **INTRODUCERE**

### **Scopul și obiectivele cercetării**

Proprietățile solului au mare importanță în multe activități ale omului cum ar fi agricultura, silvicultura, geotehnica, protecția mediului, arheologia. Este esențială cunoașterea proprietăților fizico-chimice ale solului deoarece acestea oferă informații asupra calității solului și se pot stabili strategii pentru utilizarea sau exploatarea cât mai eficientă a acestuia.

Cercetarea solului pentru aplicații practice oferă informații rapide despre proprietăți importante ale solului: textura, scheletul, volumul edafic, conținutul de humus, salinitatea sau secvența de orizonturi. Metodele tradiționale de cercetare a solului sunt costisitoare și consumatoare de timp deoarece necesită prelevare de probe prin deranjarea solului, transport, depozitare și analize chimice în laborator.

Scopul acestei lucrări constă în determinarea gradului de aplicabilitate al metodelor geofizice și petrofizice asupra solurilor, cu stabilirea gradului de relaționare dintre parametrii geofizici și petrofizici măsurăți cu principalele proprietăți fizico – chimice ale unor tipuri de sol din România, proprietăți determinate prin analize chimice în laborator.

Pentru atingerea scopului acestei lucrări, au fost urmărite următoarele obiective:

- Efectuarea de măsurători geofizice și petrofizice pe soluri care se dezvoltă în condiții pedo-climatice diferite și prezintă o varietate spațială în proprietăți fizico-chimice;
- Prelevarea probelor de sol din profilele pedologice efectuate în zonele de studiu și analizarea proprietăților fizico-chimice și mineralogice ale acestora în laboratoare specializate;
- Determinarea factorilor care influențează măsurătorile de tip geofizic și petrofizic efectuate pe soluri;
- Stabilirea unor relații între parametrii geofizici și petrofizici și proprietățile fizico-chimice ale solului;
- Variații spațiale a radiocliților din soluri.
- Posibilități de investigare a solurilor folosind susceptibilitatea magnetică și determinarea factorilor care modifică proprietățile magnetice ale unor soluri.

## **Metodele si instrumentele utilizate**

Datele geofizice prezentate in aceasta lucrare au fost obținute prin măsurători geoelectrice de rezistivitate, măsurători electromagnetice de conductivitate, măsurători Georadar, măsurători magnetometrice de gradient vertical si măsurători spectrometrice gama pe soluri din Romania.

Investigațiile petrofizice au constat in măsurarea susceptibilității magnetice pe soluri situate in Romania si Grecia cu ajutorul unui susceptibilimetru magnetic portabil.

Determinarea tipurilor de sol a fost realizată prin executarea de către autor a unor profile pedologice, iar încadrarea in sistemul național de clasificare a fost realizată prin analiza pedologică a profilelor verticale in teren si verificarea probelor prelevate in laboratorul de soluri din cadrul Institutului de Cercetări si Amenajări Silvice București.

Pentru a evidenția legături intre proprietățile solului si parametrii geofizici si petrofizici mășurați au fost selectate 62 de zone de studiu de pe teritoriul României si o zonă amplasată in N-E Greciei. In majoritatea zonelor au fost efectuate profile de sol pedologice, de unde au fost prelevate 174 probe de sol corespunzătoare orizonturilor de diagnostic, pentru a determina variația spațială a parametrilor geofizici si petrofizici mășurați.

## **Structura lucrării**

Lucrarea este structurată in cinci capitole, primul capitol tratează formarea solurilor si factorii care influențează formarea acestora, care au o influență si asupra parametrilor geofizici si petrofizici.

Capitolul II descrie principalele proprietăți fizico-chimice ale solului, fiind prezentate relații intre aceste proprietăți si parametrii geofizici si petrofizici mășurați pe probe de sol de pe teritoriul României.

In capitolul trei sunt descriși parametrii geofizici si petrofizici utilizați in geofizica pentru soluri, cat si factorii care modifica distribuția spațială a acestor parametri.

In capitolul patru sunt descrise metodele geofizice aplicate pe soluri din Romania, gradul de aplicabilitate al acestor metode geofizice la studiul solurilor, factorii care influențează aceste măsurători si relațiile intre parametrii geofizici mășurați si proprietăți fizico-chimice ale solului.

Capitolul cinci este dedicat investigării solurilor utilizând susceptibilitatea magnetică, metodă recent folosită în astfel de studii asupra solurilor. Sunt prezentate relații între acest parametru petrofizic și proprietăți ale solului rezultate din măsurătorile desfășurate pentru această lucrare.

Finalul tezei include concluziile referitoare la rezultatele științifice obținute precum și bibliografia utilizată în această lucrare.

## **1 FORMAREA SOLURILOR**

### **Evoluția cercetărilor asupra solurilor**

Cercetarea proprietăților solurilor a început din antichitate (2300 I.C) și a cunoscut o evoluție importantă odată cu imboldul economic din Imperiul Rus, care cu ajutorul lui Dokuchaev, cercetarea solului a devenit științifică. În secolele XX și XXI cercetarea solului a cunoscut evoluții importante, care s-a concretizat prin hărți pedologice de mare detaliu. În ultimul deceniu metodele clasice de cercetare a solului, prin probare, au fost însoțite și de măsurători de tip geofizic care ajută la evaluarea unor proprietăți ale solului, cât și la distribuția spațială a acestora. Relațiile între parametrii geofizici și petrofizici nu sunt foarte bine înțeleși datorită factoriilor multipli care influențează măsurătorile, cât și natura polidispersă a solului.

### **Factori de solificare**

Formarea solurilor este un element important în investigarea geofizică și petrofizică a solurilor datorită factorilor de solificare care condiționează proprietățile fizico-chimice ale solului. Măsurătorilor geofizice și petrofizice efectuate pe soluri, factori de solificare alături de procesele pedogenetice au o mare importanță în interpretarea măsurătorilor de acest tip. Principalii factori de solificare sunt:

**Roca** - Rocile influențează formarea solului atât prin compoziția lor chimică cât și prin genă și proprietățile lor: duritate, porozitate, solubilitate, stratificație, șistozitate, vârsta, densitate, etc.

Sub acțiunea factorilor climatici, rocile suferă transformări de natură fizică și chimică care condiționează formarea unor soluri cu o anumită compoziție mineralogică, la care se adaugă compuși organici. Solul rezultat are o evoluție dinamică și foarte complexă, deoarece



factorii de formare a solului au o influență neîntreruptă asupra acestuia, cu diferite intensități în decursul timpului.

**Relieful** ca factor pedogenetic este în mare măsură dependent de proprietățile fizico-chimice ale rocilor, datorită rezistenței diferențiate la acțiunea factorilor modelatori externi. Pe formațiunile geologice foarte dure și compacte iau naștere forme de relief bine dezvoltate cu pantă mare, iar pe formațiuni moi care au o rezistență redusă la acțiunea factorilor externi, cum sunt cele sedimentare (loessuri, argile marne, gresii slab consolidate), iau naștere forme joase de relief, cu o pantă mai mică.

Relieful reprezintă spațiul în care are loc procesul de pedogeneză și influențează formarea solului atât direct, prin natura depozitului de suprafață care rezultă prin procesele de dezagregare-alterare și eroziune, cât și indirect, prin efectul pe care îl are asupra factorului climatic (regimului termic și cantitățile de precipitații) și asupra dezvoltării vegetației

**Climatul** este un factor primar în evoluția proceselor pedogenetice – bioacumulare și humificare, eluviere - iluviere, podzolire humico – feruvială, gleizare, salinizare, turbificare.

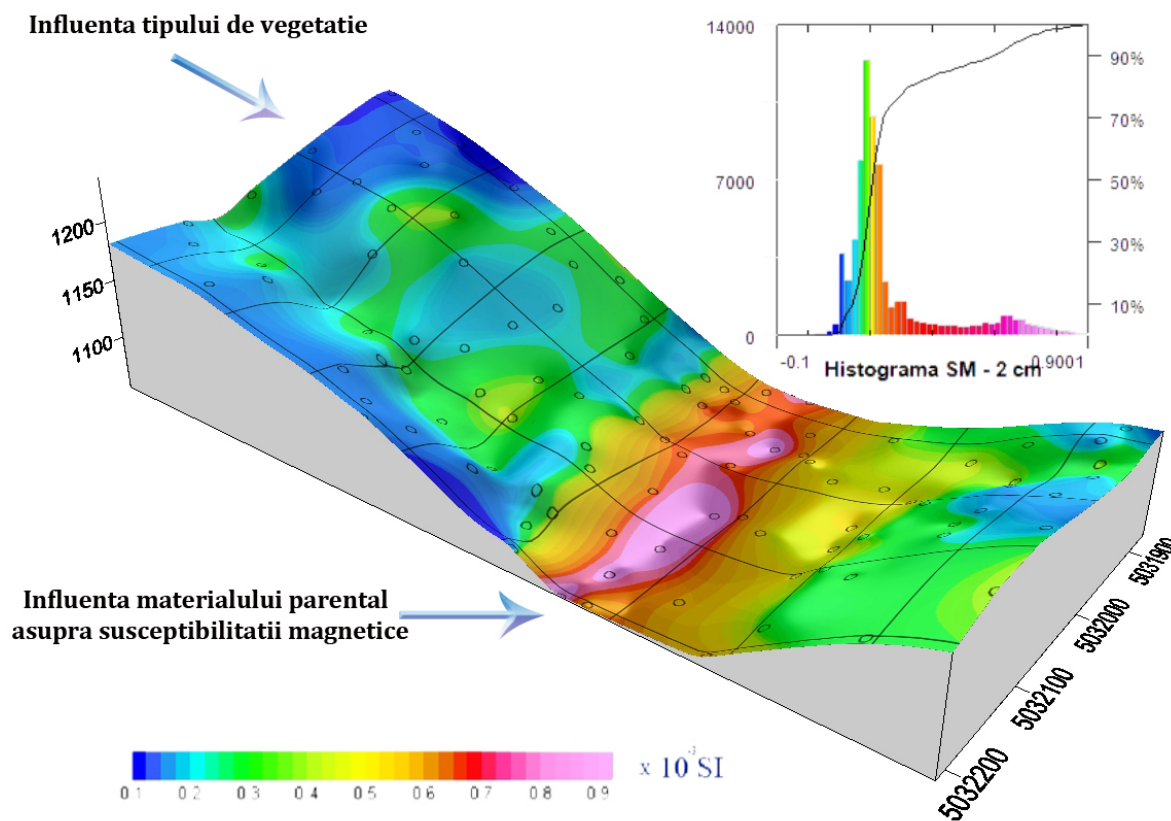
În raport cu parametrii geofizici și petrofizici clima influențează prin componentele sale cantitatea de precipitații, temperatura, evapotranspirația etc. Aceasta condiționează proprietățile solului prin determinarea intensității și tipul proceselor de pedogeneză care acționează asupra profilului de sol.

**Vegetația și fauna** constituie factori de solificare prin aportul lor de materie organică care se înglobează anual sau periodic în structura solului, precum și prin transformarea acestuia prin diferite procese de mineralizare sau sinteză/resinteză de noi substanțe în procesul de humificare.

*Solul reprezintă deci rezultatul acțiunii conjugate a tuturor factorilor de solificare care se găsesc într-o strânsă interdependentă și influențare reciprocă.*

Ilustrez legătura strânsă dintre parametrii petrofizici și factorii de solificare prin studiul distribuției spațiale a susceptibilității magnetice aparente realizat în zona Moeciu, jud. Brașov. Reprezentarea grafică a acestei distribuții este prezentată în (Fig. 1).

În studiul efectuat în zona Moeciu susceptibilitatea magnetică variază în principal în funcție de elementele geomorfologice care alcătuiesc zona, o influență asupra proprietăților magnetice având și tipul de vegetație. În ecosistemul forestier, care este alcătuit din pădure de molid (*Picea abies*), au fost înregistrate cele mai mici valori de susceptibilitate magnetică, în timp ce în zona pajiștilor cu vegetație erbacee se înregistrează valori de susceptibilitate mai mari cu  $0,1 \times 10^{-3}$  SI.



*Figura 1 - Relații între distribuția susceptibilității magnetice aparente măsurată la suprafața solului și factorii de solificare în zona Moeciu, jud. Brașov.*

Cele mai mari valori de susceptibilitate magnetică se înregistrează în zona râului, acest fapt datorându-se compoziției mineralogice a materialului parental care este de tip aluvial și care are proprietăți magnetice mai însemnate ( $1.6 \times 10^{-3}$  SI). Astfel se pot evidenția prin măsurători petrofizice de tipul susceptibilității magnetice paleocursurile râurilor, dacă există un contrast de susceptibilitate magnetică între aluviunile râului și solurile limitrofe.

Principalii constituenți minerali și organici ai solului care au fost descriși detaliat în lucrare și care influențează parametrii geofizici și petrofizici sunt: sărurile, oxizi și hidroxizi, mineralele argiloase, humusul și complexe organo-minerale.

### **Clasificarea solurilor**

Clasificarea solurilor urmărește să grupeze aceste corpuri naturale în funcție de proprietățile acestora. Spre deosebire de minerale sau roci, solurile fiind sisteme naturale dinamice se delimitează mai greu unele față de altele. Solurile formează un înveliș cvasicontinuu cu trecere treptată între ele, alcătuind astfel pedosfera.

In prezent se încearcă o clasificare unitara a solului, Asociația Internațională de Știința Solului propunând prin Baza International de Referința (B.I.R.) pentru clasificarea solurilor următoarea terminologie pentru clasificarea solurilor:

- a) caracteristică – o trăsătură observabilă și măsurabilă a solului, culoare, pH, textură etc.;
- b) ansamblul – o combinație de caracteristici cunoscute ce apar în natură și este indicator pentru procesul de formare a solului;
- c) orizontul – un strat caracterizat prin unul sau două ansambluri;
- d) solul – o combinație specifică de orizonturi ce apare pe o adâncime definită ca rezultat al unor procese pedogenetice prezente sau trecute;
- e) secvență – o varietate laterală a tipurilor de orizonturi și a combinării lor verticale determinată și corelată de caracteristicile teritoriului.

In determinarea tipului de sol în general pe teren specialiștii pedologi clasifică solurile după culoare, textura și structura.

Clasificarea și determinarea solurilor folosind metodele geofizice și petrofizice este dificil de realizat din același motiv ca și clasificarea din punct de vedere pedologic, deoarece solul este un sistem mult mai dinamic și activ față de roci, iar în plus, parametrii geofizici mășurați pot varia într-un timp foarte scurt de ordinul orelor sau zilelor, în funcție de diferiți factori externi (precipitații, temperatură, etc.).

Studiile geofizice pot fi folosite în clasificarea solurilor dar mai ales în stabilirea limitelor între tipuri de soluri distincte. Avantajul măsurătorilor geofizice și petrofizice este acela că pot acoperi o suprafață mare de investigare, nu necesită deranjarea solului, și se pot observa modificări în proprietățile solurilor atât pe orizontală cât și pe verticală, spre deosebire de metodele clasice cu prelevare de probe care aduc informații punctuale asupra acestor proprietăți.

## 2 PROPRIETATILE FIZICO-CHIMICE ALE SOLULUI

Variația parametrilor geofizici și petrofizici este condiționată în principal de proprietățile fizico-chimice ale solului, și astfel se pot evalua aceste proprietăți prin măsurători de acest tip.

Parametrii geofizici și petrofizici nu sunt influențați de o singură proprietate a solului, ci de un ansamblu de proprietăți ale solului care au grade diferite de influență, și care acționează simultan asupra acestor parametri. Din acest motiv este recomandat și prelevarea de probe din zona studiată, pentru stabilirea relațiilor dintre parametrii geofizici mășurați și proprietățile solului.

În acest capitol am descris principalele proprietăți fizico-chimice ale solului: textura, structura, porozitatea, densitatea solului și aria specifică cât și relații între aceste proprietăți și parametrii geofizici și petrofizici.

Din măsurătorile geofizice și petrofizice pe tipuri de sol din România a rezultat o relaționare între textura solului și susceptibilitatea magnetică a acestora, un exemplu fiind ilustrat în figura 2.

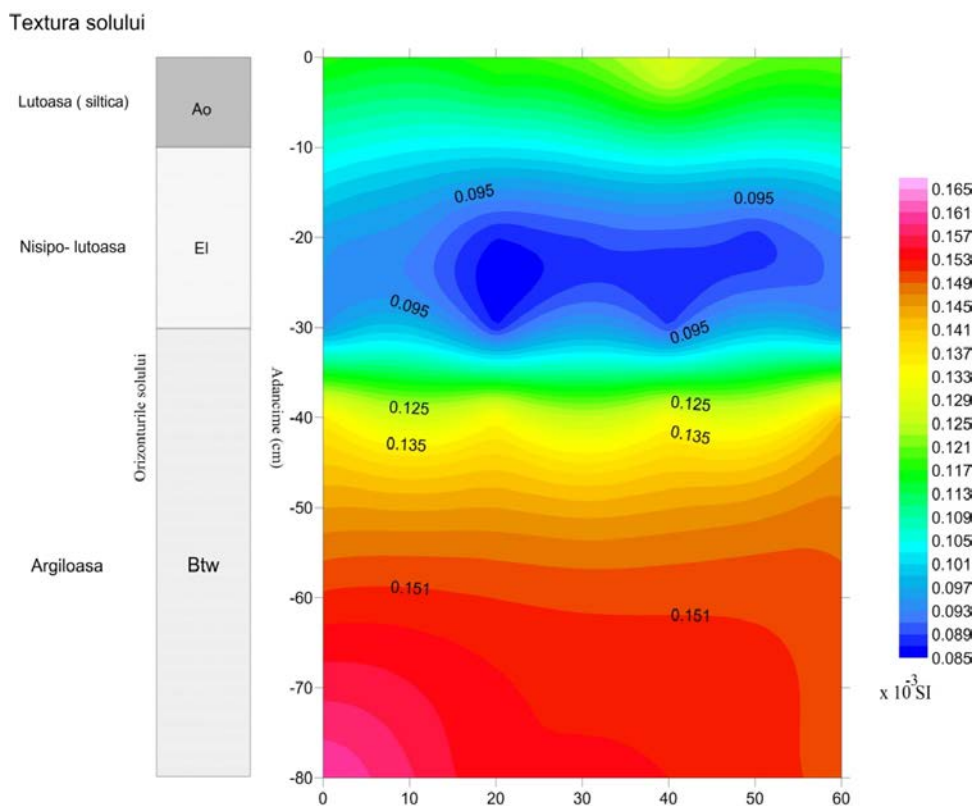


Figura 2 - Variația susceptibilității magnetice în relație cu textura pe un profil de Luvosol gleic din zona Pietroșani, jud. Prahova

Din analiza a 55 de probe de sol care au fost prelevate din 21 de profile pedologice de pe teritoriul României, unde susceptibilitatea magnetică a probelor a fost corelată cu textura acestora. Din corelarea acestor parametri s-a obținut o corelare slabă ( $r = 0.10043$ ,  $r^2 = 0.010087$  la un  $n = 55$ ). Acest aspect se datorează factorilor care condiționează susceptibilitatea magnetică, în principal compoziția mineralogică a materialului parental, dar și intensitatea și tipul proceselor de pedogeneză. Dacă la unele profile există o corelare între susceptibilitatea magnetică și textura solului, la majoritatea acești parametri nu se corelează deoarece asupra profilelor de sol acționează procese pedogenetice cu intensități diferite, care modifică tipul și distribuția pe profil a oxizilor de fier din sol.

Din relaționarea conductivității electrice măsurată în laborator pe probe de sol cu principalele proprietăți fizico-chimice a rezultat ca acest parametru este influențat de gradul de umiditate al solului, conținutul de săruri din soluția solului și conținutul de materie organică.

Din relaționarea conținutului de radionuclizi din sol cu textura solului, rezultată din analiza făcută pe 48 de probe prelevate de pe teritoriul României a rezultat o corelare a  $^{40}\text{K}$  cu textura solului ( $r = 0.85179$ ,  $r^2 = 0.72554$  cu  $n = 48$ ). Din studiul efectuat rezultă ca investigarea solurilor prin metode radiometrice poate fi utilizată pentru localizarea schimbărilor texturale ale solurilor, textura fiind una din cele mai importante proprietăți fizice ale solului. Aceasta condiționează majoritatea proprietăților fizico-chimice ale solului, în special capacitatea solului de a reține apa, care este un factor determinant pentru gradul de fertilitate al acestora. Din corelarea texturii solului cu alți radionuclizi pe probele analizate a rezultat o corelare a  $^{232}\text{Th}$  ( $r = 0.3656$ ,  $r^2 = 0.13367$ ),  $^{238+234}\text{U}$  ( $r = 0.16861$ ,  $r^2 = 0.02843$  cu  $n = 48$ ) și ( $r = 0.62575$ ,  $r^2 = 0.39156$  cu  $n = 48$ ) pentru activitatea totală.

### 3 PARAMETRI GEOFIZICI SI PETROFIZICI UTILIZAȚI IN GEOFIZICA SOLURILOR

În acest capitol au fost descriși parametrii geofizici și petrofizici utilizați în această lucrare, cât și factorii care influențează acești parametrii.

Prin măsurători de conductivitate electrică se poate caracteriza distribuția spațială a diferitelor proprietăți ale solului, cu aplicații asupra traseului apei în sol, localizarea zonelor cu un conținut ridicat de săruri, determinarea texturii solurilor, identificarea tipurilor de sol, dar și a calității acestora deoarece măsurătorile de teren ale  $EC_a$  cumulează produsul factorilor dinamici și statici: salinitatea solului, conținutul de argilă și compoziția mineralogică a solului, conținutul de apă și temperatura.

Rezistivitatea electrică a solurilor este determinată de capacitatea solului de a conduce curentul electric, fiind influențată de componentele care îl alcătuiesc. Datorită dimensiunilor mici ale particulelor constituente în solurile argiloase, acestea au capacitatea de a reține apa în spațiile interstițiale care se formează, precum și pe suprafața acestora, contribuind substanțial la trecerea curentului electric prin sol. Starea gazoasă din sol este alcătuită în mare parte din aer, cu proprietăți izolatoare și care nu permite trecerea curentului electric. Ca urmare, un sol bine aerat cu o densitate scăzută va avea o rezistivitate mai mare. Faza lichidă componentă a solului este un electrolit format prin dizolvarea diferitelor gaze din atmosferă în apa care intră în componența solului, formând soluția solului.

Curentul electric este condus în cea mai mare parte electrolitic, trecerea curentului electric prin sol fiind guvernată substanțial de mișcarea ionilor dizolvați în soluția solului.

Constanta dielectrică este un parametru care descrie comportamentul electric al unui material și poate fi folosit ca parametru în determinarea proprietăților electrice ale solurilor.

Viteza de propagare a undelor electromagnetice este relaționată cu constanta dielectrică a mediului prin care acestea se propagă. Prin investigațiile care au fost făcute pe soluri a arătat că radiația electromagnetică a fost atenuată în funcție de frecvența utilizată și de gradul de umiditate al solului, dar și de alte proprietăți fizico-chimice ale solului.

Am descris detaliat și susceptibilitatea magnetică a solurilor cât și factorii care influențează variația acestui parametru în soluri, astfel studiile de susceptibilitate magnetică

realizate pe formațiuni neconsolidate de mica adâncime, însoțite de analiza proprietăților chimice și magnetice, pot fi folosite la caracterizarea solurilor și a originii acestora.

Proprietățile magnetice ale solurilor sunt date în principal de conținutul și tipul oxizilor și hidroxizilor de fier din soluri. Proprietățile magnetice ale solurilor sunt rezultate dintr-o interacțiune complexă a mai mulți factori care modifică forma mineralogică a oxizilor de fier care se găsesc în soluri. Concentrația oxizilor și hidroxizilor de Fe (magnetică) este determinată atât de materialul parental, vârsta solului, procesele de formare a solului, activitatea biologică și temperatura solului, cât și de poluarea cu diferiți compuși din surse antropogenice.

Prin analizarea distribuției spațiale a concentrațiilor de radionuclizi din soluri în principal  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  și U, se pot evalua unele proprietăți fizico-chimice ale solului. În ultimii ani spectrometria gama, mai ales în varianta aeropurtată, a devenit o metodă recunoscută pentru cartarea solurilor și a formațiunilor geologice de mica adâncime. Conținutul de elemente radioactive din soluri depinde de natura materialului parental din care solul se formează (compoziție mineralogică și caracteristici geochemice), acestea fiind ulterior distribuite spațial atât pe verticală cât și pe orizontală de intensitatea și tipul proceselor de pedogeneză care acționează asupra solurilor respective. Caracteristicile spectrometrice gama ale solurilor variază cu compoziția mineralogică a materialului parental și cu climatul zonei supuse investigației. Variația concentrației în radioelemente naturale se datorează și proceselor de levigare care au loc în timp, în funcție de tipul de climă și de relief, procesele de pedogeneză și de eluviere având importanță deosebită.

## **4 UTILIZAREA METODELOR GEOFIZICE LA INVESTIGAREA ȘI MONITORIZAREA SOLURILOR**

În acest capitol a fost descrise metodele geofizice și petrofizice utilizate în această lucrare în investigarea solurilor.

Cercetările geofizice actuale pentru investigarea solurilor au ca adâncime de investigare primii 2 m de la suprafață, unde se dezvoltă în majoritatea cazurilor orizonturile principale ale profilului de sol. Această adâncime de investigare, extrem de mică în comparație cu adâncimea necesită pentru alte aplicații ale metodelor geofizice, constituie un avantaj pentru că poți avea contact cu substratul în mod direct, prin săparea unor profile de

sol. Aceasta situație determina și dezavantaje, neîntâlnite în măsurătorile geofizice de mare adâncime: variații în timp real de temperatură și de umiditate, cu influențe semnificative asupra parametrilor fizici măsurați. În plus, parametrii fizici măsurați în sol prin metode geofizice prezintă o variabilitate mare pe distanțe mici, atât pe orizontală cât și pe verticală.

În această lucrare au fost folosite metode electrometrice folosite la investigarea și monitorizarea proprietăților solului. Scopul investigațiilor electrometrice în știința solului este acela de a determina distribuția rezistivității solului supus cercetării. Curenții artificiali sunt aplicați asupra solului, fiind măsurată diferența de potențial. Diferențele de potențial înregistrate aduc informații asupra heterogenității solului, prin intermediul distribuției proprietăților electrice (rezistivitate electrică) ale acestuia.

Au fost efectuate măsurători de rezistivitate electrică în mai multe zone din țară care prezintă o varietate a proprietăților fizico – chimice și a conținutului de apă din sol. Un exemplu este prezentat în Figura.3 unde este investigat un sol prin metode de rezistivitate și conductivitate electrică care are un conținut diferit de apă.

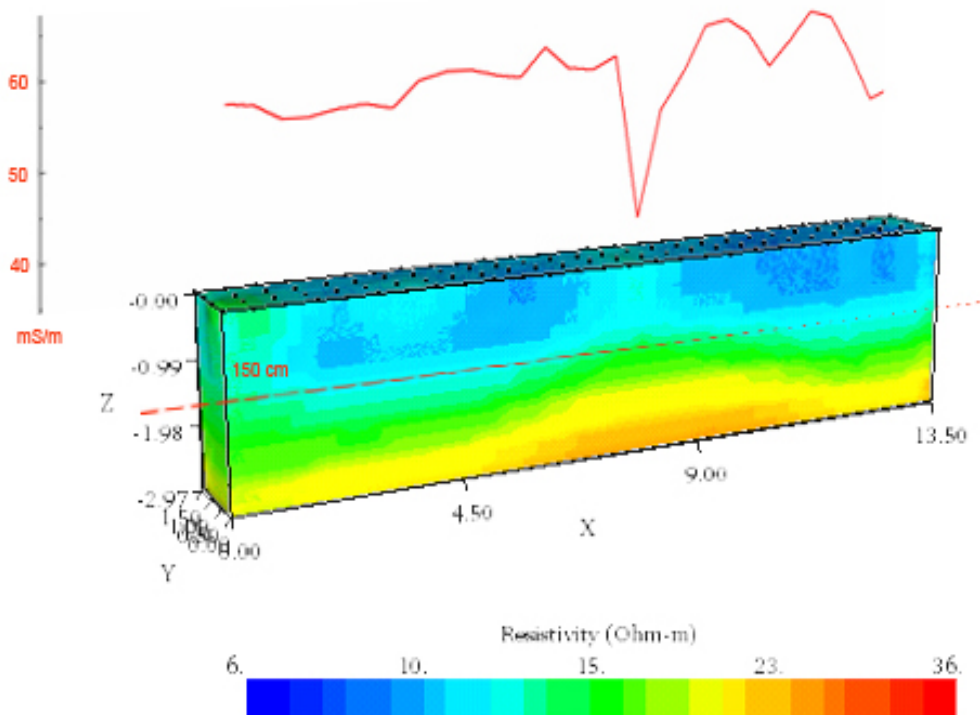


Figura 3 - Model de rezistivitate 3D corelat cu un profil de conductivitate aparentă

(Zona Buzău, jud. Buzău)



Sectorul studiat este situat într-o seră irigată, anomaliile de minim de rezistivitate și maxim de conductivitate fiind asociate în principal cu conținuturi mari de apă provenite din irigații. În zona sa centrală, unde se observă o scădere semnificativă a conductivității și o creștere de rezistivitate electrică, este localizată calea de acces în seră, neirigată.

Prin măsurătorile de rezistivitate și conductivitate se poate evidenția influența conținutului de apă din sol și traseul acesteia prin sol, traseu condiționat în mare măsură de textura solului. Solurile mai argiloase au capacitatea de a stoca apă și înregistrează valori mai ridicate de conductivitate electrică, în schimb solurile sau orizonturile mai nisipoase nu au această capacitate și înregistrează valori de conductivitate electrică mai scăzute.

Au mai fost efectuate și măsurători de conductivitate electrică cu prin metoda inducției electromagnetice unde s-au evaluat variații ale conținutului de apă în sol cât și a unor proprietăți fizico-chimice cum ar fi: conținutul de săruri, textura solului și conținutul de materie organică, spre exemplu prin efectuarea a două profile de conductivitate în două zone cu conținuturi diferite de apă s-a putut evidenția influența acestui parametru asupra acestor tipuri de măsurători (Fig 5).

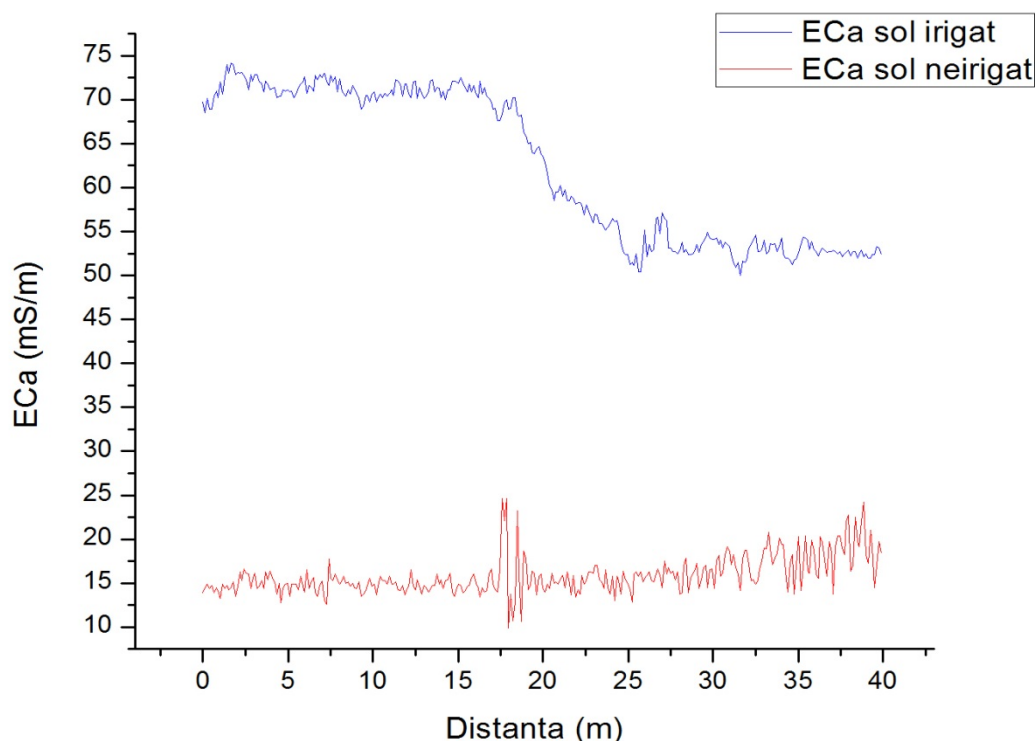


Figura 5 - Variații de  $EC_a$  pe două profile paralele cu grade diferite de umiditate

O alta metoda utilizata in studiul solurilor a fost metoda Georadar (GPR). Aceasta metoda s-a dovedit utila sa studiul solurilor deoarece a putut sa evalueze limita pana la orizontul C si sa diferentieze zone cu un conținut diferit de apa din sol.

Metoda magnetometrica de gradient vertical s-a dovedit in a fi utilizabila in a evalua variația conținutului de humus din sol, zonele bogate in materie organica înregistrând valori mai mari de susceptibilitate magnetică.

Prin analiza distribuției concentrațiilor de radionuclizi pe 50 de probe de pe teritoriul României, a rezultat ca metoda spectrometria gama poate fi aplicata cu succes in evaluarea unor proprietăți ale solului cum ar fi de exemplu textura acestuia. Variația pe verticală a concentrației de thoriu din probelor analizate prezintă o tendință generală a acestui radionuclid sa fie prezent in concentrații mai mari in orizonturile argiloase ale profilelor de sol studiate. Corelarea este mai puțin evidentă decât la potasiu, datorita mobilității mai reduse a thoriului, concentrațiile acestui element depinzând in principal de compoziția mineralogica a substratului geologic. Influenta proceselor pedogenetice este mai redusa decât in cazul potasiului datorita solubilității reduse a compușilor anorganici ce includ Th.

Distribuția concentrațiilor de uraniu ( $^{238+234}\text{U}$ ) nu respectă o anumită tendință, concentrații mai ridicate a acestui radionuclid înregistrându-se in orizonturile A de tip molic. In variația concentrației radionuclidului  $^{235}\text{U}$  pe profilele studiate se observă o scădere a concentrațiilor cu adâncimea la orizonturile nisipoase (Bv), acest fapt datorindu-se mobilități ridicate a U din sol, care este eluviat din aceste tipuri sol de apa de percolație. Din analiza variației activității totale gama pe probele de sol studiate, rezultă o variabilitate diferită la fiecare tip de sol in parte. Variația diferită constatata la aceleași tipuri de sol se datorează compoziției mineralogice diferite a materialului parental, procesele pedogenetice având o influență mai redusă in distribuția spațială a concentrațiilor de radionuclizi din sol.

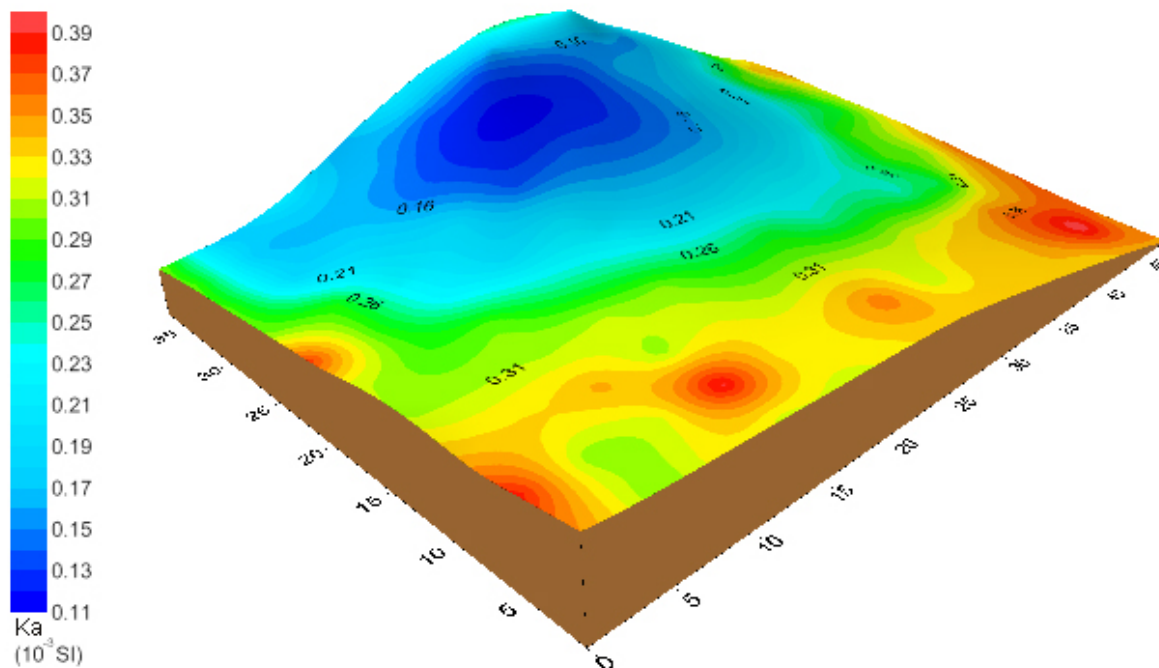
## **5 INVESTIGAREA SOLURILOR UTILIZÂND SUSCEPTIBILITATEA MAGNETICĂ**

Distribuția spațiala a susceptibilității magnetice poate sa aducă informații asupra variabilității proprietăților fizico-chimice ale solurilor, cu aplicații interesante in pedologie si agricultura.

Posibilitatea de investigare petrofizică a solurilor este o metoda noua care este aplicata mai recent asupra cercetărilor solurilor. Acesta metoda consta in măsurarea susceptibilității magnetice volumetrice a solului cu ajutorul unui susceptibilimetru portabil.

Un factor semnificativ în cercetarea solurilor îl reprezintă variabilitatea proprietăților fizico-chimice ale solului pe o zonă studiată. Măsurători rapide de susceptibilitate magnetică pe soluri pot să aibă loc prin aplicarea unui câmp magnetic extern (H), măsurând răspunsul magnetic (M), și calculând raportul dintre M/H. Variația susceptibilității magnetice este condiționată de prezența oxizilor de fier constituenți în sol și de tipul acestora

Pentru a observa distribuția spațială a susceptibilității magnetice au fost analizate soluri din România și din Grecia. A fost măsurată variația susceptibilității magnetice volumetrice (aparentă -  $K_a$ ) în raport cu adâncimea, iar pentru distribuția pe orizontală au fost efectuate măsurători la suprafața solului sau la un anumit nivel în adâncime, sub formă de grid pe zona studiată (Fig. 4).



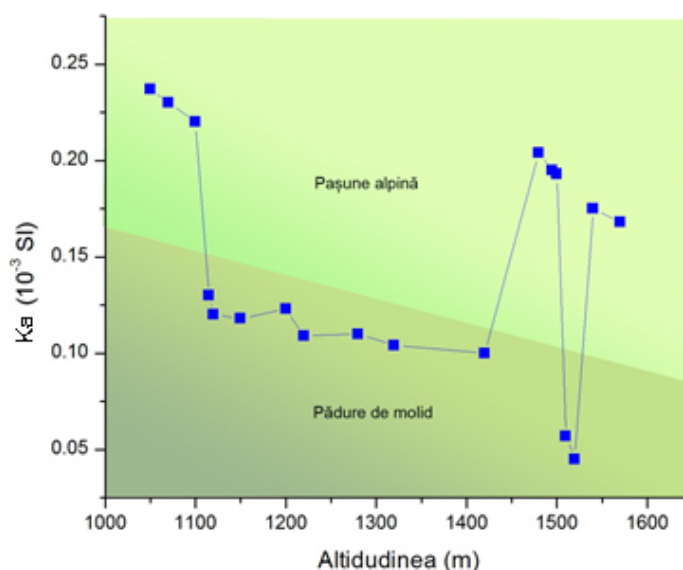
*Figura 4 - Variația susceptibilității magnetice măsurată la suprafața solului într-o zonă cu influențe antropice (tumul antic în zona Trigono - Tracia, Grecia)*

Variația susceptibilității magnetice pe orizontală în exemplul de mai sus se datorează în mare parte influenței antropice asupra solului respectiv la momentul construirii tumulului.

In zona cu susceptibilitate mai ridicata caracteristica orizontului A ( $0.3-0.4 \times 10^{-3}$  SI) este amplasat un tumul acoperit cu sol de tipul orizontului B, cu susceptibilitate magnetica scăzută ( $0.1-0.2 \times 10^{-3}$  SI). Distribuția spațială a susceptibilității magnetice depinde si de elementele de topografie, oxizii de fier fiind eluviați in timp de precipitații si translocați in zone cu panta mai mică

In urma măsurătorilor de susceptibilitate magnetica efectuate s-a constatat ca proprietățile magnetice ale solului diferă in funcție de natura materialului parental, tipul de vegetație, de climat si de morfologia terenului cat si a influentei antropice.

Pentru a evidenția legătura între climă si proprietățile magnetice ale solului intr-o regiune din Romania a fost aleasa o zonă uniformă din punct de vedere al tipului de sol (Moeciu de Sus, jud. Brașov), materialul parental având proprietăți magnetice constante. A fost efectuat un profil petrofizic pe o distanță de 3.5 km si o diferență de nivel de 520 m. Materialul parental este alcătuit din șisturi sericito-cloritoase care fac parte din seria de Leaota



*Figura 5 - Variația susceptibilității magnetice in condiții diferite de pedo-climat si de vegetație in zona Moeciu de Sus (jud. Brașov)*

Au fost efectuate măsurători de susceptibilitate magnetică pe mai multe profile pedologice de sol si s-a observat ca susceptibilitatea magnetică se modifica cu adâncimea si corespunde cu orizonturile de diagnostic constituente ale solului. Astfel modificarea susceptibilității magnetice pe verticală este atribuita proceselor de pedogeneza care acționează

asupra profilelor de sol. A rezultat ca in general solurile bogate in materie organica, in special de tip *mull*, înregistrează cele mai mari valori de susceptibilitate magnetica in orizonturile humifere. Procesul pedogenetic de oxido-reducere sporește susceptibilitatea magnetica in orizontul oxidat iar in orizontul redus se înregistrează o scădere in proprietăți magnetice, datorita transformărilor oxizilor de fier din soluri. Pe profilele unde acționează profilul pedogenetic de eluviere si iluviere s-a observat o scădere a susceptibilității magnetice in acest orizont datorita spălării oxizilor de fier din orizontul E odată cu restul coloizilor, cum ar fi argila si humusul.

Din corelarea susceptibilității magnetice cu o anumita proprietate fizico-chimica pe probele analizate de pe teritoriul României, nu s-a obținut o relație lineara intre acest parametru si o anumita proprietate a solului.

Din analizarea proprietăților magnetice si a conținutului de metale grele pe 55 de probe de sol de pe teritoriul României s-a evidențiat o legătură intre conținutul de metale grele din sol si susceptibilitatea magnetica a acestora.

*Tabelul 1- Gradul de corelare intre susceptibilitatea magnetica si conținutul de metale grele*

n=55	Ca	Cd	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	P	Pb	Zn
r	0.16798	0.1949	0.21633	-0.03981	0.010783	-0.15479	0.27873	-0.05067	0.1483	0.51129	0.4539
r2	0.028219	0.037985	0.0468	0.001585	0.000116	0.023959	0.077693	0.002568	0.021992	0.26142	0.20603

Din analiza statistică realizata rezultă ca susceptibilitatea magnetică se corelează cel mai bine cu conținutul de Pb si Zn in solurile analizate (Tab 1), la restul metalelor grele neexistând o corelare vizibilă. Corelarea bună intre susceptibilitatea magnetică măsurată pe teren si conținutul de Pb din soluri se datorează faptului că in soluri Pb este antrenat adsorbativ, prin coprecipitare, în oxizii hidratați de Fe și Mn.

## 6 CONCLUZII:

Investigarea solurilor prin metode geofizice si petrofizice poate sa fie o alternativă viabilă la analizele clasice, fără se le înlocuiască pe acestea in totalitate. Se pot obține informații suplimentare referitoare la variabilitatea proprietăților solului pe suprafețe extinse, se reduce numărul de probe necesare metodelor clasice de cercetare a solului si foarte important, costurile.

Relațiile dintre proprietățile fizico-chimice ale solului și parametrii geofizici și petrofizici sunt extrem de complexe, fiind în general specifice unei anumite zone. Nu au fost constatate în cazul solurilor analizate din România relații lineare între o anumită proprietate a solului și un parametru geofizic sau petrofizic.

Variația parametrilor geofizici și petrofizici este determinată de schimbările proprietăților fizico-chimice ale solului, ceea ce face posibilă estimarea acestor proprietăți, dacă se identifică o corelare directă între un anumit parametru geofizic sau petrofizic și caracteristici ale solului. De exemplu, factorii care influențează valorile de conductivitate sau rezistivitate din soluri sunt: conținutul de apă în sol, textura solului, conținutul de săruri din soluția solului, conținutul de materie organică, densitatea solului.

Fiecare metodă geofizică sau petrofizică are contribuții la evaluarea unor proprietăți ale solului, dar cea mai utilizată metodă pe plan mondial, care poate estima proprietăți ale solului într-un timp scurt și fără afectarea mediului, este metoda electromagnetică (EMI). Principalele proprietăți ale solului care pot fi estimate prin măsurători de conductivitate electrică aparentă (ECa) sunt: gradul de umiditate, textura, conținutul în săruri și conținutul de materie organică, atunci când solul nu are o cantitate mare de săruri dizolvate în componenta sa.

Prin măsurători de conductivitate electrică aparentă (ECa) realizate în România s-au putut estima variații ale conținutului de apă în sol precum și distribuția spațială a acestuia (distribuție influențată de gradul de granulometrie al solului), conținutul de săruri din sol și conținutul de materie organică, la o salinitate scăzută a solului.

Măsurătorile de rezistivitate electrică, în principal cele de tomografie de rezistivitate de mică adâncime și mare rezoluție, pot aduce informații asupra variației orizonturilor de sol, a conținutului de apă, textura solului, oferind o imagine spațială 2D sau 3D a distribuției proprietăților solului.

Prin interpretarea profilelor de tomografie de rezistivitate pe tipuri de sol din România s-au putut evidenția variații de grosime ale orizonturilor constituente și textura solurilor investigate.

Factori care influențează distribuția spațială a radioelementelor din sol sunt date de mineralogia materialului parental, tipul și intensitatea proceselor de pedogeneză, în special eluvierea și iluvierea, cât și de elemente geomorfologice.

Din interpretarea măsurătorilor radiometrice făcute pe tipuri de sol din România, care au un conținut mineralogic și proprietăți fizico-chimice distincte, s-a obținut o bună corelare a radionuclidului  $^{40}\text{K}$  cu textura solurilor respective. Au fost remarcate conținuturi anormale de  $\text{Cs}^{137}$  în interiorul orizontului A în majoritatea probelor de sol analizate, urmare a contaminării radioactive determinată de accidentul de la centrala atomo-electrică Cernobal.

Din analiza variației activității totale gama pe probele de sol studiate (50 de probe, prelevate de pe teritoriul României) rezultă o variabilitate diferită pe adâncime la fiecare tip de sol în parte. Variația diferită constatată la aceleași tipuri de sol se datorează compoziției mineralogice diferite a materialului parental, procesele pedogenetice având o influență mai redusă în distribuția spațială a concentrațiilor de radionuclizi din sol.

Din analiza distribuției spațiale a principalilor radionuclizi în soluri a rezultat că aceștia au tendința să se acumuleze în cantități mai însemnate în orizonturile argiloase, rezultând o mobilitate mai mare a potasiului și uraniului față de thoriu.

Din studiile efectuate pe diferite tipuri de sol cu proprietăți fizico-chimice distincte rezultă că susceptibilitatea magnetică este influențată de un cumul de factori care acționează simultan, dintre care cei mai importanți ar fi:

- compoziția mineralogică a materialului parental și proprietățile magnetice ale acestora;
- procesele de pedogeneză care acționează asupra profilelor de sol și intensitatea acestora, care au rolul de a modifica tipul oxizilor de fier din sol, astfel modificând și susceptibilitatea magnetică a solurilor;
- factorii de solificare dintre care cei mai importanți ar fi: a) **tipul de roca** pe care solul se dezvoltă; b) **clima**, mai ales prin **regimul de precipitații**; c) **relieful**; d) **vârsta solurilor**. Acești factori de solificare modifică proprietățile magnetice ale solurilor prin evoluția proceselor de pedogeneză în timp.

Prin măsurătorile de susceptibilitate magnetică efectuată pe teren, pe tipuri de soluri din România, s-a arătat că prin acest tip de măsurători se poate evidenția influența și

intensitatea proceselor de pedogeneză asupra solurilor, care formează orizonturi de sol cu proprietăți magnetice distincte. Este de așteptat ca fiecare proces de formare a solului să influențeze proprietățile magnetice ale solului în mod diferit.

Măsurătorile efectuate pe soluri din România au aratat o sporire a susceptibilității magnetice în orizonturile bogate în materie organică, în special cele cu humus de tip *mull*. Acest fapt se datorează în principal proprietății materiei organice de a forma complexe cu oxizii și hidroxizii de fier din sol, și a transformării acestora în forme mineralogice cu proprietăți magnetice diferite, ce se datorează alternanței și intensității ciclurilor de oxido-reducere a fierului din sol. Un alt factor care contribuie la sporirea susceptibilității magnetice în solurile bogate în humus, de tip *mull* în special, sunt și magnetotactobacteriile, care se găsesc de preferință în orizonturile humifere, și care sporesc proprietățile magnetice ale solului prin transformări mineralogice ale oxizilor de fier.

Din măsurătorile de susceptibilitate magnetică efectuate pe soluri în sisteme de vegetație diferită, rezultă că și tipul de vegetație și ecosistem influențează susceptibilitatea magnetică a solurilor în special în *orizontul A*, prin tipul și aportul de materie organică pe care îl cedează solului. Formele de vegetație pot influența susceptibilitatea magnetică a solurilor și indirect, prin modificarea ciclurilor de oxido-reducere (în ecosistemele forestiere alternanța ciclurilor de oxido-reducere este mai lentă față de pășuni, datorită capacității acestui ecosistem să țină o umiditate mai ridicată o perioadă mai îndelungată de timp).

Legătura între susceptibilitatea magnetică și proprietățile fizico-chimice ale solului este complexă, pentru că depinde de o multitudine de factori (material parental, procese pedogenetice, factori de solificare s.a.) care acționează simultan asupra solului. În această lucrare nu s-a identificat o corelare evidentă între susceptibilitatea magnetică și principalele proprietăți fizico-chimice (textura, conținut în humus) ale solului pe cele 55 de probe analizate de pe teritoriul României, datorită varietății mediului din care probele au fost prelevate (material parental, procese pedogenetice, relief și climă diferită).

Un studiu efectuat într-o zonă având aceleași condiții pedo-climatice (Voluntari, jud. Ilfov) pe un număr de 7 probe de sol s-a identificat o corelare între susceptibilitatea magnetică măsurată pe teren și conținutul de săruri din sol, rezultând un traseu spațial asemănător al oxizilor și hidroxizilor de fier cu sărurile constitutive din sol.



Prin efectuarea de măsurători de tipul susceptibilității magnetice se pot evidenția zone poluate cu metale grele provenite din activități industriale, din studiul efectuat pe 55 de probe prelevate pe teritoriul României găsindu-se o corelare mai bună cu Zn și Pb. În general susceptibilitatea magnetică este direct proporțională cu conținutul de metale grele din sol, modificări ale distribuției spațiale în masa solului fiind influențate de procesele de pedogeneză.