

CONSIDERAȚII PRIVIND RELAȚIA DINTRE COMPOZIȚIA MINERALOGICĂ ȘI PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ALE PĂMÂNTURILOR

Șef lucr. univ. drd. ing. Marius Măntulescu

Rezumat: *Articolul de față aduce date noi în încercarea științelor pământurilor în a stabili o legătură dintre procesele mecanice și datele intrinseci ale pământurilor. Studiul a fost efectuat pe baza analizelor mineralogice ale unor probe prelevate în zona Răcădău, municipiul Brașov. Compoziția mineralogică a depozitelor a fost stabilită cu ajutorul metodelor de difracție a razelor X aplicate probelor brute utilizându-se preparate neorientate. Investigația cu ajutorul razelor X a fost completată de datele oferite de spectroscopia în infraroșu și microscopia optică în lumină polarizată. Deosebirile mai importante rezultate se referă la conținuturile de minerale argiloase. Astfel, comparativ cu probele din avalul depozitelor proluviale cele din amonte înregistrează frecvent conținuturi duble și triple de minerale smectitice și conținuturi duble de illit. Aceste deosebiri ne sugerează posibilitatea existenței unor diferențe între depozite, referitoare la unele proprietățile fizico-mecanice, care totuși nu s-au manifestat în mod cert.*

Abstract : *The present paper brings new data in soil sciences regarding the relation between mechanical behaviour and intrinsic properties of the soils. The study was done on samples taken from Răcădău area, city of Brașov. The mineral composition was determined with X-ray on unoriented samples, then completed with infrared spectroscopy and optical microscopy in polarised light. The most important results are about clay minerals. Those from the valley have twice or third times smectites and double of illite face of those on the top of proluvial sediments. These main mineralogical differences could not be related to the physico-mechanical properties.*

Comportarea mineralelor argiloase în cadrul agregatelor sub acțiunea unor forțe exterioare este, în general, o sarcină dificilă, iar în vederea descifrării acestui comportament au fost dezvoltate diverse teorii sub forma unor „modele”.

Aceste modele încearcă să extrapoleze proprietăți ale particulelor minerale pentru a se ajunge la ecuații care să reflecte comportarea macroscopică a sistemelor argiloase. În realitate, ele trebuiesc privite cu multă circumspecție datorită faptului că nu sunt luați în calcul mai mulți factori (compoziția cantitativă și calitativă, de obicei complexă a sistemelor naturale) datorită dificultăților în ceea ce privește determinarea lor, simularea istoriei geologice și a condițiilor de mediu actuale.

Fiecare dintre aceste teorii propuse aduce o mulțime de parametri și constante (multe empirice), fiecare având o metodologie aparte de determinare în laborator. Dificultățile și incertitudinile apar deci atât în cadrul teoriei respective, cât mai ales în modul de a conecta datele caracteristice proceselor mecanice de la un nivel la altul (de la nivelul molecular și atomic la nivelul particulelor și apoi la nivelul macroscopic).

Pentru a înțelege stadiul actual al dezvoltării teoriilor privind comportarea sub acțiunea sarcinilor, considerăm necesar să facem un scurt istoric.

La începutul secolului 20 sistemele argiloase erau tratate ca solide cu comportare linear-elastică sau corpuri aflate în stare de echilibru limită în care rezistența la forfecare se manifestă de-a lungul unei suprafețe de alunecare potențiale.

Clasificările date de Atterberg privind plasticitatea argilelor au oferit o bază empirică, de discuție în cadrul teoriilor respective. O dată cu apariția lui Karl Terzaghi în al treilea deceniu al secolului a fost fundamentată „mecanica pământurilor” având la bază concepte ca: efortul efectiv, presiunea porii (cu formula $\sigma = \sigma' - u$), consolidare ș.a. Aparatul de forfecare directă, inventat de Hvorslev, cu toate limitele privind condițiile de drenare, a pus în evidență fenomenul supraconsolidării. Taylor atrage totodată atenția asupra fenomenelor de rezistență la forfecare.

A doua jumătate a secolului 20 aduce o dată cu testul triaxial, realizat de Bishop, o mulțime de date privind comportarea non-lineară a sistemelor de sol. Testele efectuate prin compresiune triaxială au pus în evidență o comportare elastică, urmată, mai nou, de una de zdrobire, iar pe măsura creșterii deformării plastice, fie asociată cu o dilatare și o reducere a rezistenței, fie cu o micșorare a rezistenței, pentru ca în final să fie atinsă o stare critică.

Finalul secolului 20 a marcat o proliferare a modelelor bazate pe mecanica plasticității, dar cu interpretări mult mai complexe legate de anizotropie, eforturi ciclice, îmbătrânire, lichefiere ș.a. Din păcate, majoritatea pornesc de la interpretări matematice a curbelor obținute din diferite teste care extrag o mulțime de parametri fără semnificație fizică (ceea ce face ca gradul de încredere să fie aleatoriu), fără să include în mod comprehensiv caracteristici intrinseci ai materialului.

Totuși, în două direcții s-au obținut achiziții importante în ceea ce privește dezvoltarea micro-mecanicii sistemelor argiloase:

- analiza numerică a elementelor finite care se bazează pe o pleiadă de programe dezvoltate în ultimele decenii. Acestea sunt capabile, la nivelul datelor acumulate, să simuleze comportarea din punct de vedere geotehnic a sistemelor cu o acuratețe proporțională cu indicii care caracterizează elementele constitutive ale materialului.
- testele prin centrifugare, prin care modelele fizice de analizat sunt supuse unor sarcini mult mai apropiate de realitate, chiar dacă sunt efectuate la o scară redusă. Desigur și aceste teste sunt grevate de insuficiență, generată de gradul incert de reproducibilitate a materialului în laborator față de starea lui naturală.

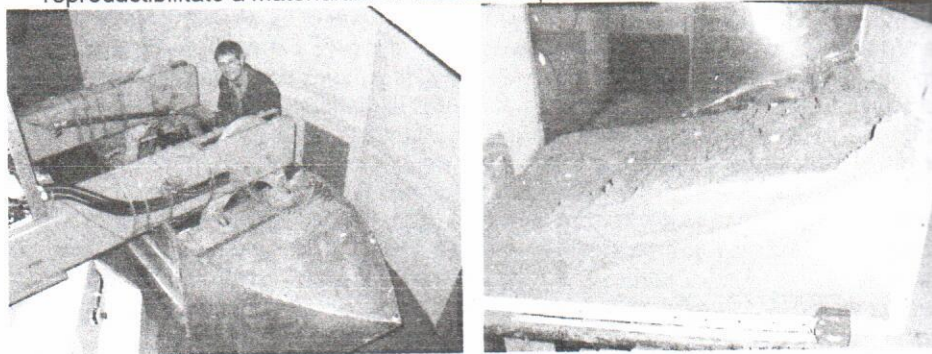


Fig. 1 Instalatie de centrifugare: „barca” și un model supus încercării

Secolul 21, care dispune de tehnologii din ce în ce mai performante (analize granulometrice rapide cu ajutorul laserului, fotografia digitală de mare rezoluție, procesarea computerizată a imaginilor – care pot recrea rapid un model

virtual tridimensional, legate de tomografia computerizată, sistemele avansate de difracție în raze X, RNM) are sarcina printre altele de a clarifica legătura dintre fenomenele macroscopice din teren cu micro-mecanismele ce le determină.

Dacă vor putea fi înlocuite curbele ce descriu la nivel macroscopic relația efort-deformație, cu modificările de ordin microscopic, la nivelul particulelor sau a agregatelor argiloase, analizele prin metoda elementului finit sau modelele fizice aferente testului centrifugal, vor reflecta cu o mult mai mare acuratețe fenomenele la scară normală, macroscopică.

Provocarea care stă în fața cercetătorilor stă în edificarea unei „legi” care să facă legătura dintre procesele mecanice și datele fizicii intrinseci ale pământurilor.

Se face de multe ori o paralelă cu dezvoltarea în secolul XIX a teoriei cinetice a gazelor, când Maxwell și Boltzman au explicat constanta R din legea lui Boyle stabilită empiric: $p \cdot v = mRT$ ca fiind o distribuție statistică a energiilor cinetice a moleculelor gazului ideal. Astfel au putut fi corelate noțiuni ca energie internă, viscozitate, condensare, evaporare, ionizare, difuzie, conductivitate termică, constanta dielectrică, care înainte păreau fără legătură între ele.

În același mod putem face o paralelă cu dezvoltarea geologiei până la apariția tectonicii plăcilor sau a biologiei până la apariția teoriei speciilor.

În acest context, considerăm că ne aflăm în stadiul acumulărilor de date, care să stea la baza elaborării și ulterior, să cofirme o eventuală astfel de lege, iar articolul de față a fost elaborat în această idee.

Studiul prezent a fost efectuat pe baza analizelor mineralogice ale unui număr de 8 probe prelevate din forajul F2 (2 probe) și sondajul S1 (6 probe) executate în zona Răcădău, municipiul Brașov.

Zona studiată se află la limita dintre depozitele deluviale care îmbracă versantul sudic al Tâmppei, și proluviile propriu-zise care s-au depus în continuarea acestora.

Pentru a evita interferențe cu factori necunoscuți, sau dificil de detectat, am ales această zonă datorită faptului că terenul nu a fost încă deranjat de activități edilitare. Comportarea sa din punctul de vedere al proprietăților fizico-mecanice reflectă starea sa naturală.

Sub aspect morfologic acesta are o pantă uniformă, cu cădere spre sud, de circa 12-15°. Aspectul suprafeței indică totuși o curgere lentă, superficială a terenului, însă nu dispunem de date concrete, cum ar fi măsurători topografice pe baza unor repere fixe, sau o rețea de foraje echipate cu inclinometre, care să fie urmărite un timp mai îndelungat (apreciem că pentru extragerea unor concluzii acestea ar trebui să se extindă la nivelul zecilor de ani).

Roca de bază este formată din calcar tithonian și se găsește la o adâncime variabilă (1.50 m în zona forajului F2-din amonte, și 8-12 m în zona sondajului S1).

Vegetația se reduce la iarbă, însă liziera pădurii se află la cca. 50 de metri în amonte de F2.

Nu a fost detectată pânza de apă freatică sau nici infiltrații de pantă în prospecțiunile efectuate în zonă.

Metodologia de lucru

Investigarea mineralogică s-a făcut la nivelul depozitelor (probelor brute) și a fracțiunii lor argiloase sub 2μ cu ajutorul unor metode instrumentale de analiză mineralogică ca difracția razelor X, spectroscopia în infraroșu și microscopia optică în

lumină polarizată. Cea de a doua metodă a fost utilizată numai în cazul probelor brute. Determinările mineralogice au fost efectuate după o metodologie utilizată curent în mineralogia solului (Crăciun și Gătă, 1986) Separarea fracțiunii argiloase din probele cercetate s-a făcut prin pipetarea unei suspensii obținute în urma unor tratamente chimice și mecanice a probelor brute (Crăciun și Gătă, 1986).

Alte detalii mineralogice vor fi oferite pe parcurs, acolo unde vom considera necesar.

Caracterizarea mineralogică a fracțiunii argiloase din depozite

Identificarea mineralelor argiloase prezente în fracțiunea sub 2μ s-a făcut cu ajutorul difracției razelor X utilizându-se preparate monoionice saturate în K și Ca și tratate cu etilen glicol (probele de Ca). Unele din aceste preparate (probele cu K) au fost supuse unui tratament termic (încălzire la 550°C). Criteriile de identificare ale mineralelor argiloase au fost următoarele: (Thorez, 1975):

Caolinit	maximele de difracție de la 7,12-7,13 Å și 3,52-3,56 Å indiferent de tratament
Illit	maximele de difracție de la 9,9-10,0 Å și 4,95-5,0 Å indiferent de tratament
Smectit	maximele de difracție de la 12,2 – 12,5 Å la saturare în K; 14,2 – 14,5V la saturare în Ca; ~17 Å la tratamentul cu etilenglicol
Clorit	maximele de difracție de la ~14 Å indiferent de tratament

În figurile 1 și 2 se prezintă spectrele de difracție a razelor X pentru fracțiunea argiloasă din două probe (F2, P2 și S1, P1). Aceste spectre sunt asemănătoare cu cele ale celorlalte probe investigate.

Referitor la compoziția mineralogică a argilei din probele analizate trebuie subliniat faptul că din punct de vedere calitativ între probele analizate nu există nici o deosebire. În toate cazurile au fost identificate aceleași minerale argiloase și anume smectitul, illitul și caolinitul.

Variația intensităților maximelor de difracție bazale (001) caracteristice mineralelor identificate ne indică existența unor deosebiri sau mai bine zis diferențe de ordin cantitativ între probele analizate. Ele se pot observa în tabelul 1 și se manifestă atât între cele două secvențe interceptate de sondajul S1 și forajul F2 precum și între probele care aparțin aceleiași secvențe.

Deosebirea granulometrică evidențiată de conținutul de argilă sub 2μ între cele două secvențe este într-o oarecare măsură însoțită de unele diferențe mineralogice. Din punct de vedere granulometric probele forajului indică un conținut de argilă sub 2μ mai mare decât probele sondajului. Din punct de vedere mineralogic se constată unele deosebiri, unele din ele încadrându-se în limitele de eroare ale interpretărilor cantitative. Diferențele mineralogice care ar putea fi luate în considerare se referă la conținutul de smectit și illit ale primelor două probe ale sondajului și forajului, cu toate că intervalele de adâncime, de la care au fost luate probele nu coincid. În virtutea acestei comparații se poate vorbi despre o tendință ușoară de creștere a conținutului de smectit la probele din foraj.

Tabelul 1

Conținutul de argilă (<2 μ) și compoziția ei mineralogică

Sondaj/ Foraj	Proba	Adâncimea (m)	Compoziția mineralogică argilei (%)			A %
			Smectit	Illit	Caolinit	
S1	P1	1,0	45	45	10	7
	P2	2,0	50	41	8,0	7
	P3	3,0	43	48	9	12
	P4	4,0	49	42	9	12
	P5	4,6	49	41	10	6
	P6	5,3	46	34	20	11
F2	P1	0,6	48	44	8	17
	P2	1,5	53	39	8	21

Deosebirile cantitative care apar în cadrul aceleiași secvențe sunt mult mai clare pentru sondaj și implică în primul rând caolinitul al cărui conținut variază de la simplu (primele 5 probe) la dublu (proba a 6 a).

De asemenea trebuie subliniate diferențele referitoare la conținuturile de smectit și illit între probele 2 și 3 ale sondajului. În orice caz diferențele mineralogice cele mai clare apar între proba de la cea mai mare adâncime (6) și celelate probe ale sondajului.

Compoziția mineralogică a depozitelor

Compoziția mineralogică a depozitelor a fost stabilită cu ajutorul aceleiași metode de difracție a razelor X aplicate probelor brute utilizându-se preparate neorientate. Investigația cu ajutorul razelor X a fost completată de datele oferite de spectroscopia în infraroșu.

Criteriile de identificare ale mineralelor din depozite au fost următoarele (Brown, 1961, Rodoslowich, 1975).

Cuarțul a fost identificat prin maximum de difracție de la 4,24 – 4,26Å și 3,32-3,33. A Frecvența lui în probele analizate este cea mai ridicată.

Feldspații – Liniile caracteristice acestui grup de minerale apar în domeniul 3,18-3,20 Å indicând prezența feldspațiilor plagioclazi. Frecvența acestor minerale în probe este mult mai redusă, comparativ cu cuarțul.

Micel. Prezența acestor minerale este indicată de maximele de difracție de la 9,9-10 Å și 4,95-5,0 Å. În mod normal aceste minerale cumulează și prezența unor minerale de tip illitic. Frecvența micelilor în probe este comparabilă cu cea a feldspațiilor cu excepția probelor 4 și 5 din Sondaj.

În general, spectrele de difracție a razelor X pentru probele brute arată ca cele din figura 3.

Spectroscopia în infraroșu confirmă o serie de date oferite de difracția razelor X aducând o serie de precizări suplimentare. (Figura 4). Spectrele IR au fost interpretate după Farmer (1980).

Astfel frecvența mare a cuarțului în probe este confirmată de intensitatea mare a dubletului alcătuit din benzile de absorbție de la ~780 cm⁻¹ și ~800 cm⁻¹. Prezența benzilor de absorbție de la 1630 cm⁻¹ și 3435 cm⁻¹ atribuite vibrațiilor de deformare și respectiv de alungire a moleculelor de apă ne sugerează că mineralele

filosilicatică chiar dacă sunt prezente uneori în cantități mici își pun amprenta asupra spectrelor de absorbție în infraroșu ale probelor brute.

Spectrele IR ale tuturor probelor analizate prezintă două benzi de absorbție la 925 cm^{-1} și 3620 cm^{-1} . În spectrul filosilicaților aceste benzi de absorbție sunt atribuite vibrațiilor de deformare și respectiv de alungire a legăturilor Al-O din rețelele mineralelor prezente. Faptul cel mai demn de subliniat este că prezența acestor benzi ne indică caracterul dioctaedric al tuturor filosilicaților prezenți [muscovit, illit, smectit (montmorilonit), caolin]. În acest fel spectroscopia în infraroșu ne sugerează prezența unor minerale de tip montmorillonitic sau beidelitic din grupa smectitului, precum și prezența muscovitului din grupa micelor.

Banda de absorbție de la 3697 cm^{-1} este banda de diagnostic pentru caolin. Benzile de absorbție de la 470 cm^{-1} și 1030 cm^{-1} atribuite vibrațiilor de deformare și respectiv de alungire ale rețelei (legături ale siliciului cu oxigenul) sunt prezente în spectrele IR ale tuturor probelor. Ele pot apărea și în spectrul feldspaților. Banda de absorbție de la 530 cm^{-1} atribuită vibrațiilor (Si-O-Al)^{VI} este o nouă dovadă a existenței Al în rețelele mineralelor prezente.

Compoziția mineralogică a depozitelor stabilită cu ajutorul difracției razelor X este prezentată în tabelul 2.

Tabelul 2

Compoziția mineralogică a depozitelor

Sondaj /Foraj	Proba	Adâncime (m)	Compoziția mineralogică a depozitului (%)					
			Cuarț	Feld spat	Mică	Smec Tit	Illit	Caolin
S1	P1	1,0	59	15	19	3	3	1
	P2	2,0	65	16	12	3	3	1
	P3	3,0	56	15	17	5	6	1
	P4	4,0	44	35	9	6	5	1
	P5	4,6	47	28	19	3	2	1
	P6	5,3	58	19	12	5	4	2
F2	P1	0,6	54	14	15	8	8	1
	P2	1,5	41	19	19	11	8	2

După cum se observă în acest tabel, în toate depozitele predomină cuarțul al cărui conținut variază între 40 și 65%. Cuarțul este prezent în toate fracțiunile inclusiv în argila sub 2μ . În fracțiunile grosiere, conținutul de cuarț manifestă o tendință de creștere odată cu conținutul de nisip și praf.

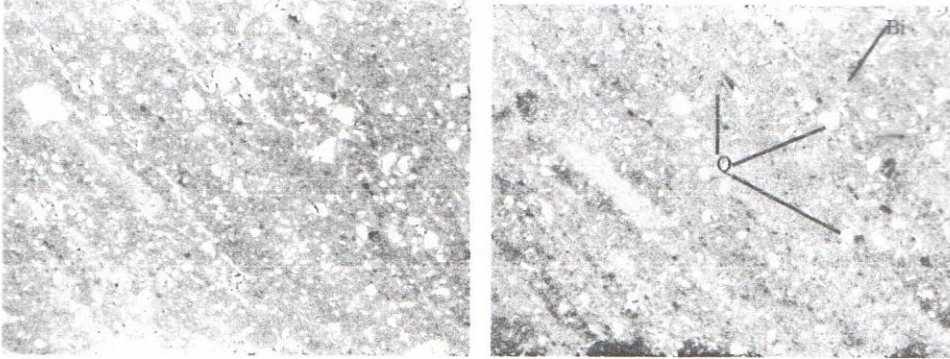


fig.2 agregat argilos cu masa microcristalină predominantă față de particulele de claste -muscovit, biotit, cuarț, feldspați plagioclazi; (x5);-foraj2/-2m

sunt comparabile. Conținutul de mică tinde să crească odată cu cantitatea de nisip și să scadă odată cu creșterea cantității de praf. La feldspați tendințele sunt inverse. Aceasta ne-ar sugera o frecvență mai ridicată a micelor în fracțiunea nisip și a feldspaților în fracțiunea praf. Aceste tendințe ar putea fi legate de rezistența diferită a celor două grupe de minerale la dezagregare și alterare.

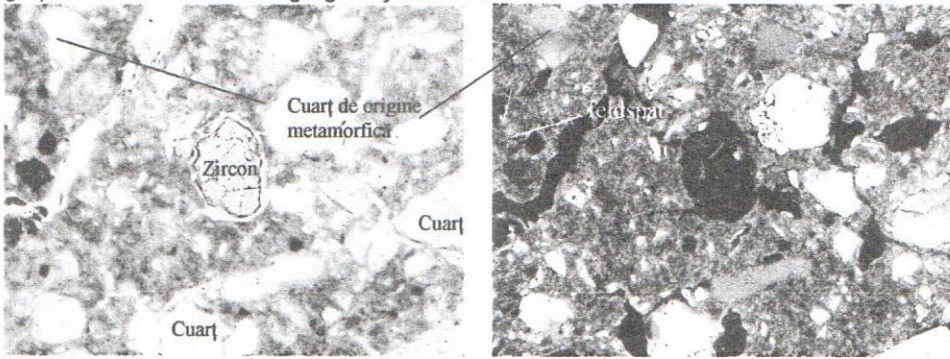


fig.3 Agregat silicios cu ciment feruginos sau organic (x 10); sondaj2/-1.5m

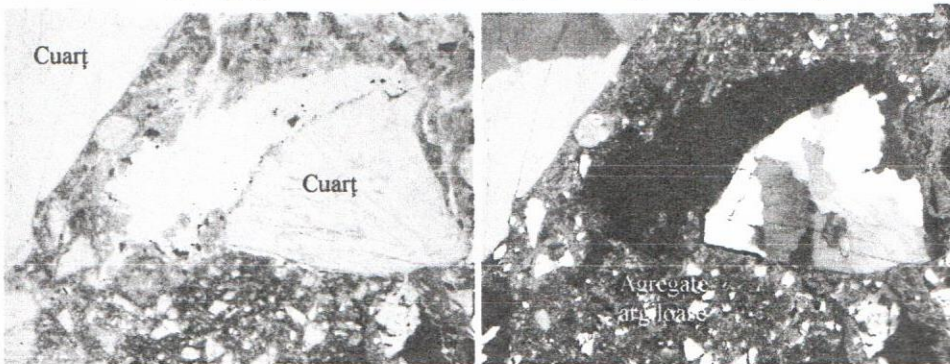


Fig.4 Gresie silicioasă cu fragmente de cuarț predominante față de matricea argiloasă (x5); sondaj1/-3m

O corelare certă între datele furnizate de analizele mineralelor și cele fizico-mecanice ale depozitelor proluviale studiate nu a putut fi evidențiată. Aspectul suprafeței terenului indică totuși o curgere lentă, superficială a terenului, însă nu dispunem de date concrete, cum ar fi măsurători topografice pe baza unor repere fixe, sau o rețea de foraje echipate cu înclinometre, care să fie urmărite un timp mai îndelungat (apreciem că pentru extragerea unor concluzii acestea ar trebui să se extindă la nivelul zecilor de ani).

Deosebirile mai importante care apar la nivelul depozitelor între probele sondajului și cele ale forajului, se referă la conținuturile de minerale argiloase. Astfel, comparativ cu probele sondajului, cele din foraj înregistrează frecvent conținuturi duble și triple de minerale smectitice și conținuturi duble de illit. Aceste deosebiri ne sugerează posibilitatea existenței unor diferențe între depozite, referitoare la unele proprietățile mecanice, care totuși nu s-au manifestat în mod cert.

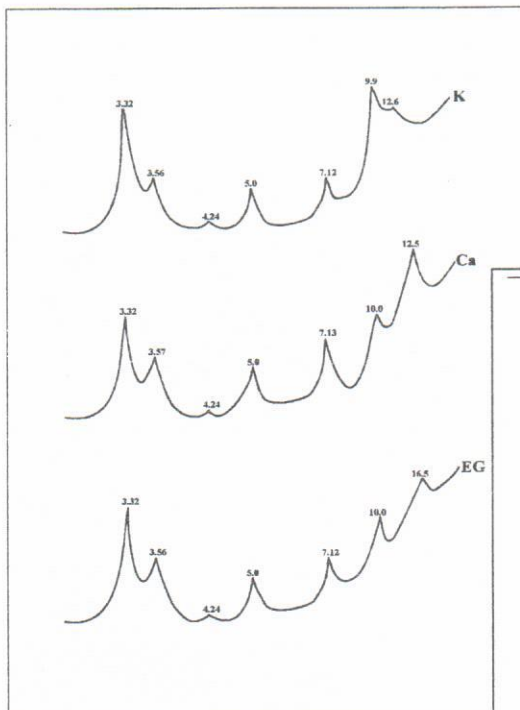
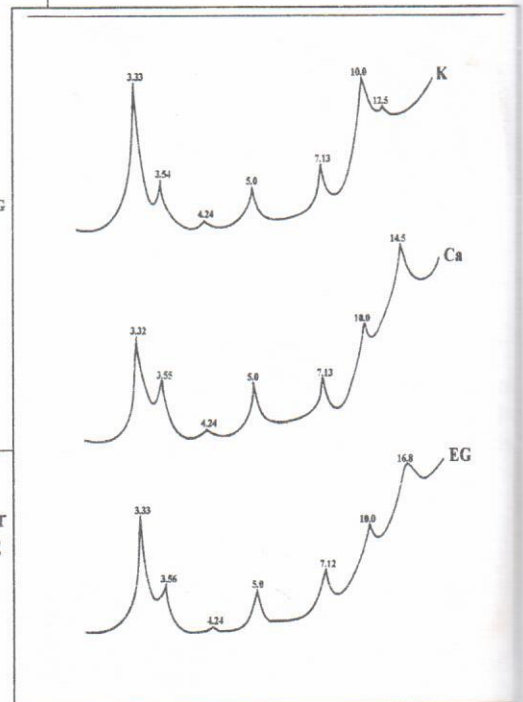


Fig. 2 Spectrele de difracție a razelor X ale argilei din proba 2 a forajului 2
K – probă saturată în K
Ca – probă saturată în Ca
EG – probă saturată în EG

Fig. 5 Spectrele de difracție a razelor X ale argilei din proba 1 a sondajului 1
K – probă saturată în K
Ca – probă saturată în Ca
EG – probă saturată în EG



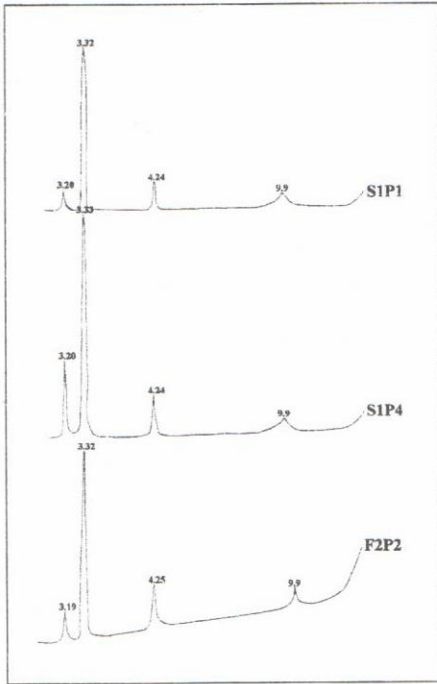


Fig. 6 Spectrele de difracție a razelor X ale unor depozite din zona Răcădău

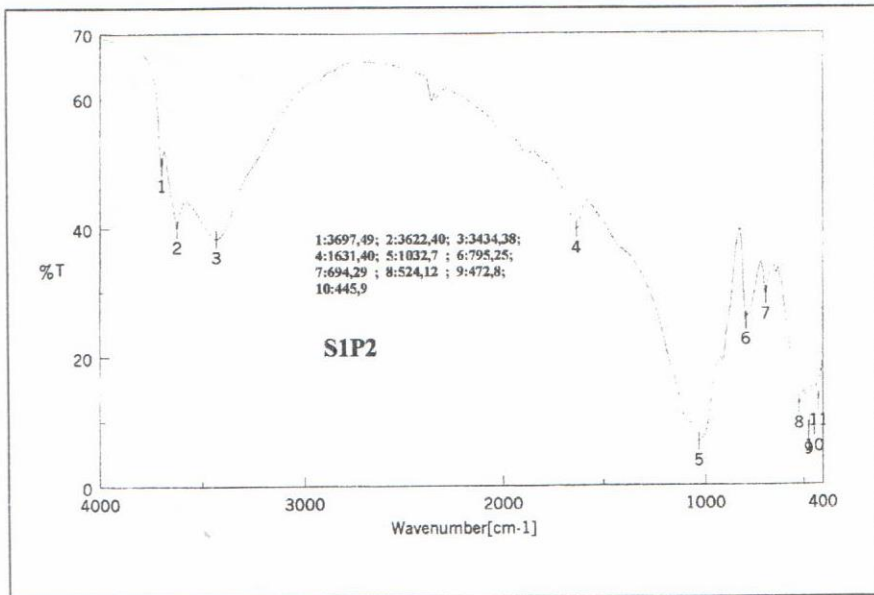


Fig. 7 Spectrele IR ale probelor 1 și 2 din sondajul 1

BIBLIOGRAFIE

1. Benea, M., (2003) Mineralogia mediului ambiental, Casa cărții de știință.
2. Bolton M.D. The Role of Micro-Mechanics in Soil Mechanics (2000), CUED/D-Soils/TR313, sept.
3. Crăciun M., (2000), Mineralele argiloase din sol; Implicații în agricultură, Ed. G.N.P. Minischool
4. Farmer V.C. The infrared spectra of minerals, Min. Soc., London 1980
5. Millot G., (1963) Geologie des argiles, 498 p, Massons et C^{ie}
6. Mureșan I. (1997), Mineralogie. Partea 1. Noțiuni de bază, Proprietăți. Procese de formare. 351 pagini. Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca.
7. Thorez J., Argilogenesis and the Hidrolysis Index-Miner. Petrogr. Acta 29, 313-319, 1985