

## Asupra transformărilor mineralogice determinate de procesul de combustie subterană în rocile zăcămintului Suplacu de Barcău

Gheorghe Brănoiu

### Introducere

Utilizarea tehnologiilor care implică tratamentul termic în vederea creșterii factorului de recuperare în extracția țițeiului, determină o serie de modificări atât în compoziția mineralogică a rocilor rezervor cât și în compoziția țițeiului. În condițiile propagării frontului de combustie, mineralele din rocile rezervor suferă o serie de transformări structurale care pot ajunge până la sintetizarea de noi faze minerale și modificarea mărimii particulelor. Aceste transformări controlează caracteristicile petrofizice (porozitate, permeabilitate etc.) ale rezervorului.

Punerea în evidență a transformărilor mineralogice care apar în urma proceselor de exploatare secundară și/sau terțiară a zăcămintelor de hidrocarburi nu se poate realiza decât prin efectuarea de studii mineralo-petrografice specifice (microscopie optică, difracția razelor X, analize termice, microscopie electronică etc.) care să se raporteze la același sistem de referință. Astfel, aceste studii trebuie realizate pe aceleași tipuri de roci prelevate din sonde săpate înainte și după inițierea proceselor de exploatare secundară și/sau terțiară (caz ideal) sau pe probe de roci prelevate din același strat, din sonde apropiate dar situate în zona neafectată și respectiv afectată prin inițierea proceselor de exploatare secundară și/sau terțiară. Prin compararea informațiilor obținute în urma realizării acestor studii se pot evidenția transformările suferite de minerale la nivelul rocii rezervor.

Experimentarea cu succes a combustiei subterane în zăcămintului Suplacu de Barcău a condus la dezvoltarea unuia dintre cele mai mari șantiere din lume și a generat un interes deosebit atât tehnic cât și științific. Astfel, acest zăcămint a fost foarte bine investigat prin foraje și prin săparea mai multor sonde în zona afectată de trecerea frontului de combustie, s-au obținut o serie de carote aflate în gestiunea laboratorului de carote de la I.P.C.T. Câmpina.

Studiile mineralogice au fost realizate făcându-se observații în paralel asupra a șase perechi de probe, provenite din sonde, situate la distanțe apropiate, înainte și în spatele frontului de combustie subterană. Majoritatea probelor avute la dispoziție au fost în cantitate mică și astfel după executarea secțiunilor subțiri și a difracției razelor X nu mai există probă martor. Cele șase perechi de probe prelevate din zonele neafectate și respectiv afectate de combustia subterană investigate comparativ au fost grupate astfel: 1) sonda 312 (proba Ia) – sonda K30 (proba Ib); 2) sonda 771 (proba IIa) – sonda K20 (proba IIb); 3) sonda 312 (proba IIIa) – sonda K30 (proba IIIb); 4) sonda 97 (proba IVa) – sonda K20 (proba Vb); 5) sonda 2541 (proba Va) – sonda K20 (proba Vb); 6) sonda 771 (proba VIa) – sonda K8 (proba VIb).

În vederea evidențierii transformărilor mineralogice s-au făcut observații pe secțiuni subțiri la microscopul optic polarizant și studii de difracția razelor X pe probe de rocă prelevate din zona afectată și neafectată de frontul de combustie subterană.

Observațiile la microscopul optic polarizant s-au efectuat cu ajutorul unui microscop tip Amplival aflat în dotarea laboratorului de mineralogie de la Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești.

Analizele de difracția razelor X au fost efectuate la S.C. Prospeccțiuni S.A. București, Divizia Laborator Analize Geologice, pe un difractometru de tip HZG 4/A cu următorii parametri: radiație  $\text{CuK}\alpha$ , filtru de Ni,  $I = 1,54\text{\AA}$ , 25 KV/15 mA, viteza de măsurare  $1^\circ/\text{min}$ .

### Aspecte relevate în lucrări anterioare

Tratamentul termic al formațiunii este un proces care are un mare potențial ca metodă de creștere a permeabilității formațiunii, îndepărtând blocajul cauzat în timpul operațiunilor cum ar fi foraj, completare, work-over și/sau distrugerea parțială a structurii argilelor în imediata vecinătate a găurii de sondă. Lucrările experimentale publicate care examinează această tehnică au confirmat că, urmare a încălzirii formațiunii, apa blocată poate fi vaporizată, structura argilelor poate să fie deshidratată, și mai departe poate fi parțial distrusă și, la temperaturi peste  $600^\circ\text{C}$ , pot fi generate microfracturi în gresii. Câteva studii de caz care au utilizat această tehnică au raportat rezultate excelente. Totuși, asocierea cu energia mare reclamă și utilizarea de echipament specializat ceea ce face ca tehnica să fie costisitoare, și de aceea aplicarea ei în zăcăminte nu a fost larg acceptată.

Tratamentul termic al formațiunii are ca obiect îmbunătățirea condițiilor hidrodinamice din jurul găurii de sondă. Procesul are în vedere creșterea temperaturii formațiunii la nivelele la care următoarele evenimente se pot întâlni: vaporizarea apei de blocare; deshidratarea structurii argilelor; microfracturarea formațiunii în imediata vecinătate a găurii de sondă datorită stressului termal indus.

Pe baza rezultatelor experimentale existente și raportate în literatura de specialitate, au fost selectate temperaturi variate pentru evaluarea efectului temperaturii asupra mineralelor argiloase (tabelul 1).

**Tabelul 1.** Efectul temperaturii asupra mineralelor argiloase (după Sanmiguel et al., 2002).

Mineral	Temperatura	Efectul după 1 oră de expunere
Grupa montmorillonitului (smectit)	$300^\circ\text{C}$	Spațierea originală de $15\text{\AA}$ dispare; se dezvoltă spațierea de $9\text{\AA}$ (efectul de contracție)
Illitul și miclele argiloase	$125\text{--}500^\circ\text{C}$	Pierderea apei higroscopice
Caolinitul	$575\text{--}625^\circ\text{C}$	Înlocuirea cu metacaolinit amorf
Grupul cloritului	$600\text{--}800^\circ\text{C}$	Pierderea graduală a greutateii; fără modificări structurale
Clorite magneziene	$650^\circ\text{C}$	Spațierea de $14\text{\AA}$ este intensificată
Clorite feriferice	$500^\circ\text{C}$	Spațierea de $14\text{\AA}$ este mai puțin intensă, devine largă și difuză
Argilele interstratificate	$> 600^\circ\text{C}$	Variază cu cantitatea și tipul mineralelor prezente
Glauconitul	$530\text{--}650^\circ\text{C}$	Pierderea apei interstratificate; se revine la structura micelor

După Prats M. (1986) un interes deosebit îl prezintă transformările mineralelor care servesc ca indicatori de temperatură, prezentate în tabelul 2.

**Tabelul 2. Transformările mineralelor cu temperatura (după Buxton și Pollock, 1974, din Prats, 1986).**

Temperatura, °C	Transformări
175°C	Paietele de glauconit își schimbă culoarea trecând de la verde deschis la un cenușiu verzui
200°C	Glauconitul își schimbă culoarea la cenușiu sau brun cenușiu
250°C	Peak-ul de difracție RX de 10Å al illitul este foarte ascuțit iar mineralele interstratificate dispar
260-370°C	Cloritul începe să se descompună, peak-urile de difracție RX de 7,2Å și de 3,55Å scad în intensitate iar peak-ul de 14,5Å crește în intensitate
370-425°C	Cloritul se descompune și devine amorf
510-540°C	Caolinitul se descompune

Modificări ale caracteristicilor petrofizice (permeabilitate, porozitate) din procese de recuperare termică (injecție de abur) sunt raportate de Bhat și Kovscek (1998) în diatomitele din California, ca urmare a dizolvării silicei în condensatul aburului fierbinte și a redistribuirii silicei pe suprafața rocii după răcirea condensatului. Diatomitele din California au grosime mare, și au o permeabilitate cuprinsă între 0,01 și 10 mD și o porozitate cuprinsă între 38 și 65%. În timpul injecției aburului, silicea din diatomit se poate dizolva în condensatul apos fierbinte, și silicea dizolvată este transportată înainte odată cu deplasarea condensatului. Deoarece condensatul se deplasează la distanță mare față de injector, el se răcește și silicea dizolvată precipită. Experimentele cu injecție de apă fierbinte încărcată cu silice arată că depunerea silicei în diatomit determină blocarea porilor (plombare). Mai târziu, depunerile de silice se pot dizolva din nou dacă temperatura locală crește. Acest proces cauzează redistribuirea permeabilității în interiorul rezervorului silicios, care este relativ impermeabil. În mod analog, dizolvarea silicei poate produce creșterea permeabilității în jurul sondelor de injecție, în acest fel îmbunătățindu-se injectivitatea.

Studiul mineralogic comparativ efectuat de Vasiliu (2000) asupra a două probe de roci prelevate din zăcămintul Suplacu de Barcău, prima neafectată de procesul de combustie subterană, diagnosticată ca fiind o gresie litică (subgraywacke) (sonda 474, adâncimea 55,00-55,20 m), iar cealaltă afectată de procesul de combustie subterană (sonda K2, adâncimea 55,25-55,50 m), a evidențiat faptul că la nivelul granulelor se observă un grad mai ridicat de alterare al feldspaților în proba afectată de combustia subterană unde procesul de calcitizare este foarte intens. De asemenea, liantul este diferit, iar proba nearsă din sonda 474 are un conținut de calcit superior probei arse din sonda K2 ca urmare a dizolvării substanțiale a calcitului de către fluidele fierbinți produse în timpul procesului de combustie. Această explicație este susținută de existența unui sistem fisural intens prezent în matricea probei arse, dezvoltarea lui neputându-se face decât prin solubilizarea calciului și antrenarea ionilor de către fluidele apoase de temperatură mare. S-a remarcat, de asemenea, un intens proces de recristalizare al liantului, observându-se apariția de cristale „curate” de calcit.

### **Geologia structurii și a zăcămintului Suplacu de Barcău**

Structura Suplacu de Barcău este situată în nordul sectorului românesc al Depresiunii Pannonice, în zona localității cu același nume. Ea s-a format prin mularea paleoreliefului cristalin de către cuvertura sedimentară pliocenă și se prezintă sub forma

unui monoclin slab boltit orientat est – vest, fiind afectată de o falie longitudinală axială (falia Suplacu de Barcău). Sondele săpate pe structură au întâlnit depozite ce aparțin fundamentului cristalin, Sarmațianului, Pannonianului (= Pliocen) și Cuaternarului. Acumulările de hidrocarburi constând numai din petrol sunt cantonate în Pannonianul (Pliocen) care se dispune transgresiv peste Sarmațian sau fundamentul cristalin și a fost divizat în trei complexe: bazal, intermediar și superior.

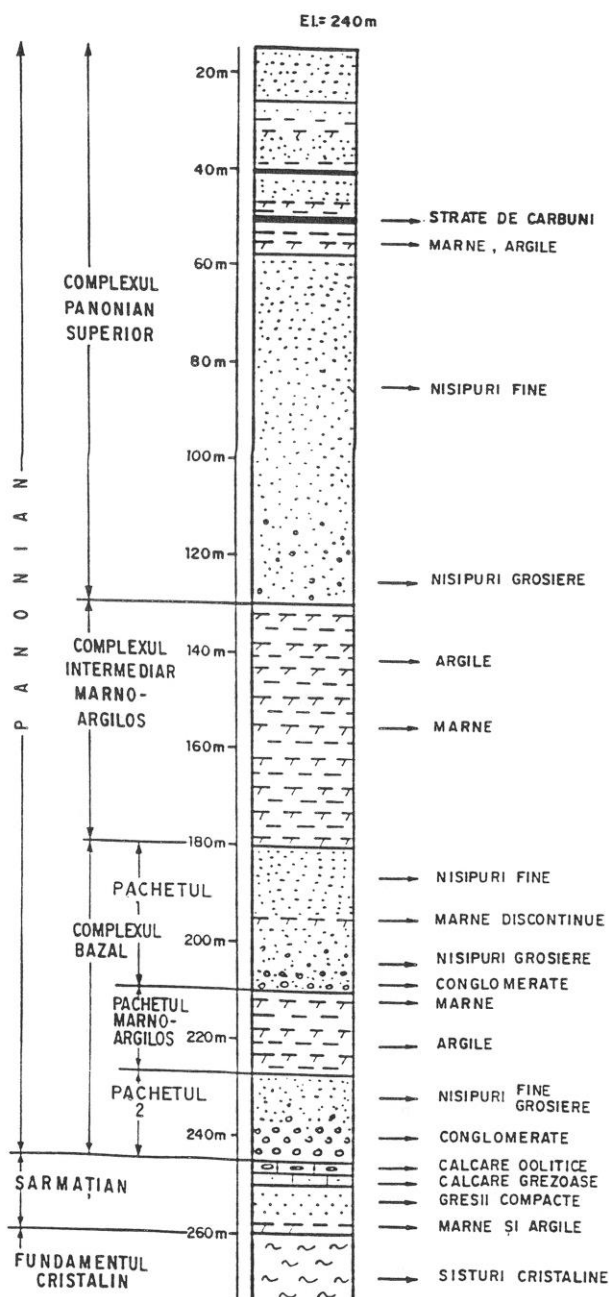
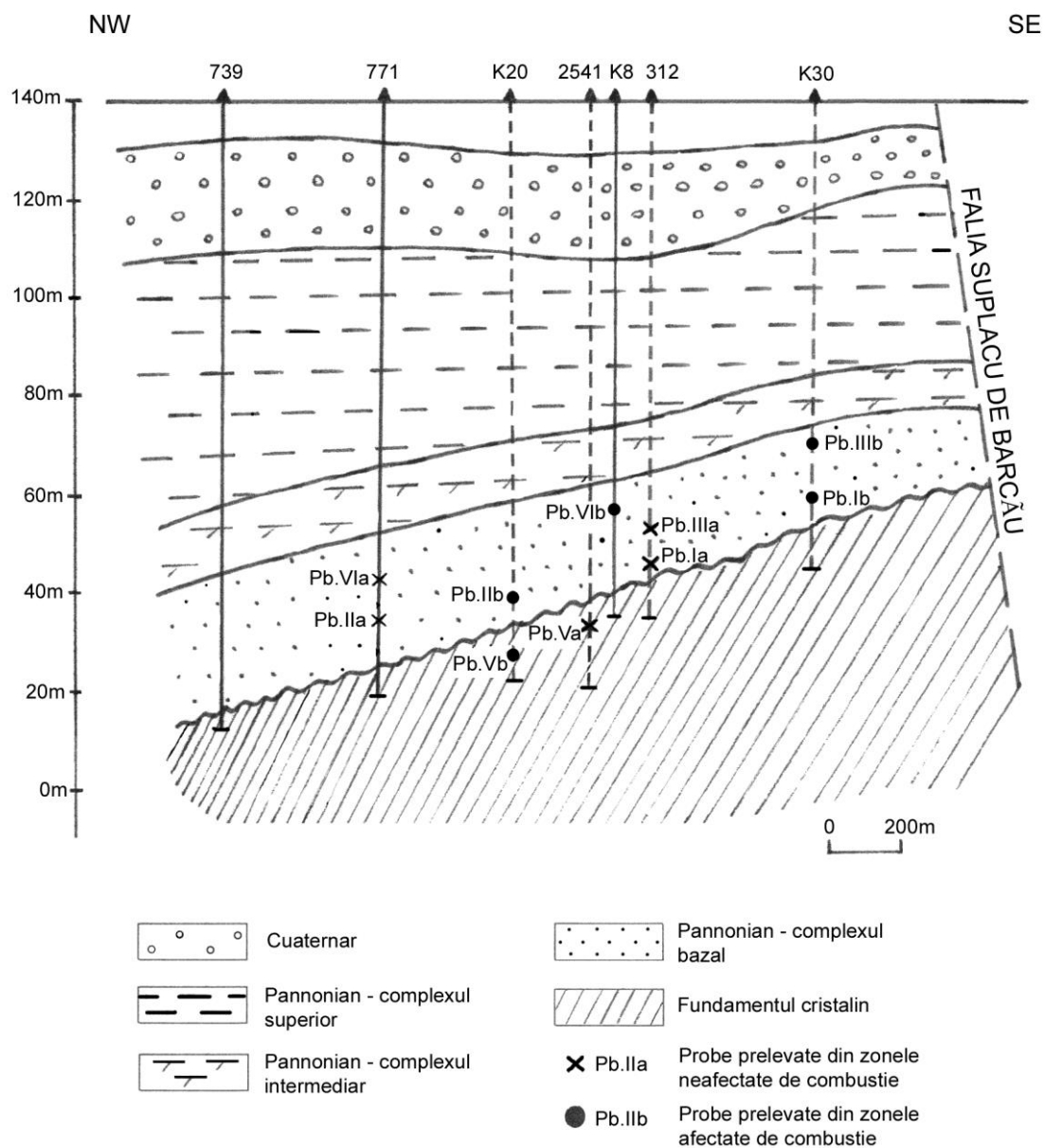


Fig. 1. Coloana stratigrafică tip a structurii Suplacu de Barcău (din Condrachi Al., 1996).



**Fig. 2.** Secțiune geologică prin structura Suplacu de Barcău cu indicarea poziției de prelevare a probelor din zonele afectate și neafectate de combustie (sonda K20 proiectată perpendicular pe profil este situată la 540 m către sud-vest; sonda K30 proiectată perpendicular pe profil este situată la 480 m către nord-est; sonda 312 proiectată perpendicular pe profil este situată la 700 m către nord-est; sonda 2541 proiectată perpendicular pe profil este situată la 380 m către nord-est.

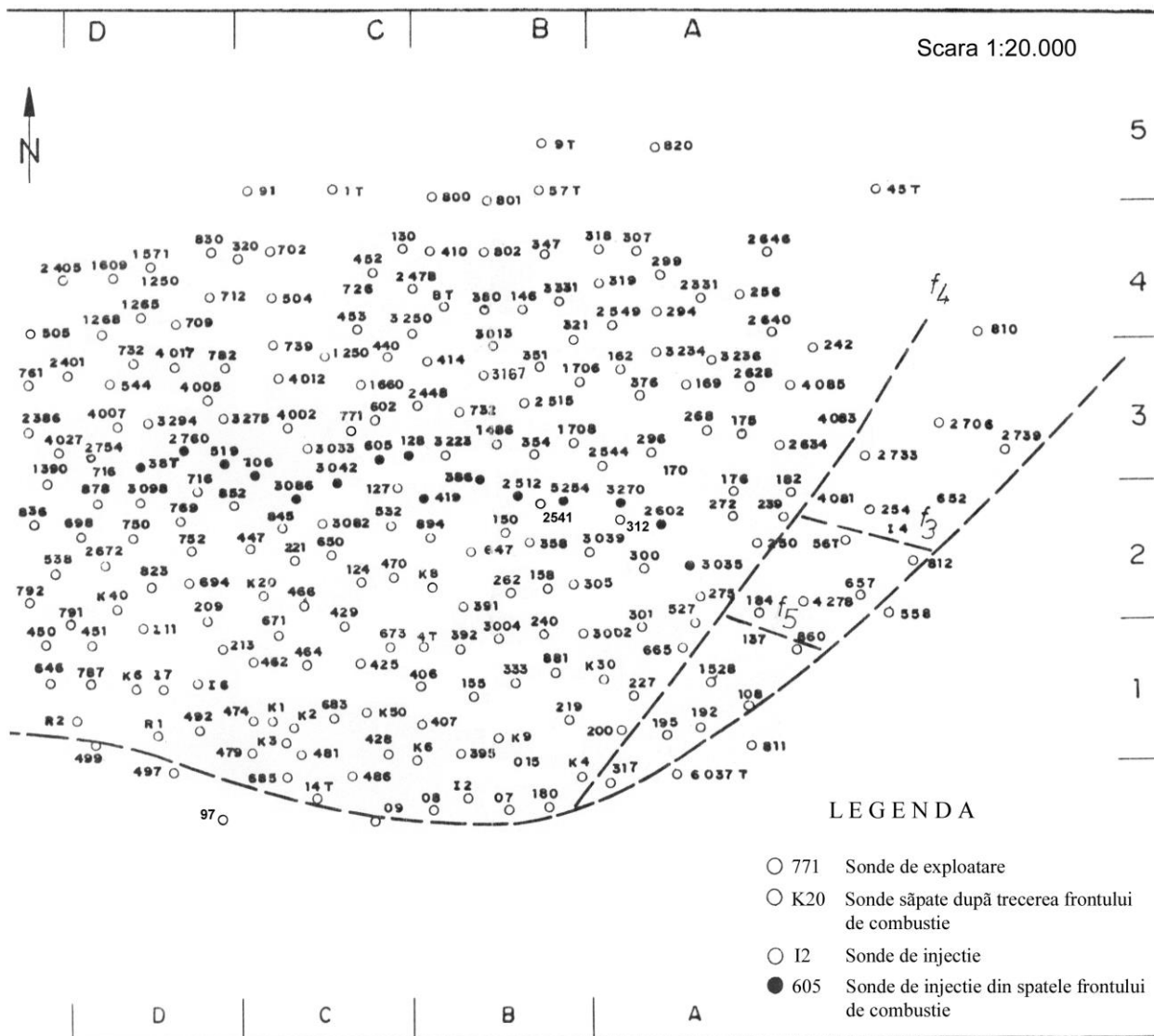


Fig. 3. Fragment de hartă a perimetrului petrolier Suplacu de Barcău cu indicarea locației sondelor din care au fost prelevate probele afectate și neafectate de combustie (din Vasiliu, 1998).

### Studiul mineralogic al probelor neafectate și afectate de combustia subterană

În vederea stabilirii compoziției mineralogice, probele de roci prelevate din zonele afectate și neafectate de combustie au fost investigate cu ajutorul microscopului optic polarizant și prin difracția razelor X. Rezultatele acestor investigații sunt centralizate în tabelele 3, 4 și 5.

Se poate observa că, în linii mari, compoziția mineralogică a probelor prelevate din zonele neafectate și respectiv afectate de combustia subterană, rezultată din studiul microscopic optic al secțiunilor subțiri și respectiv din difracția razelor X corespunde.



**Tabelul 4.** Compoziția mineralogică a probelor prelevate din zonele neafectate și respectiv afectate de combustia subterană, rezultată din analiza prin difracția razelor X (după Brănoiu, 2003).

Nr. probei	Locul de prelevare al probelor	Compoziția mineralogică (%)											
		Cuarț	Feldspați	Mice			Minerale argiloase				Calcit	Dolomit	Alte minerale
				muscovit	biotit	caolinit	montmorillonit	clorit	illit	interstratificări			
Ia	Zona neafectată (înaintea frontului de combustie)	50	5	10					10-15	10	10		
Ib	Zona afectată (în spatele frontului de combustie)	50	10	5-10			10				5-10	Tobermorit (10Å) și ortosilicat de calciu (5-10%)	
IIa	Zona neafectată (înaintea frontului de combustie)	55-60	10	5	5	10					5		
IIb	Zona afectată (în spatele frontului de combustie)	50-55		10-15		10						Tobermorit (10Å) și hilebrandit (10%)	
IIIa	Zona neafectată (înaintea frontului de combustie)	45-50	10-15	10						5-10	5	Siderit (5-10)	
IIIb	Zona afectată (în spatele frontului de combustie)	45-50					10				15	Siderit (10%) Okenit (5-10%)	
IVa	Zona neafectată (înaintea frontului de combustie)	50-55	10-15	15-20	< 5			< 5					
Va	Zona neafectată (înaintea frontului de combustie)	50		10-15	5				10-15	5	5-10		
Vb	Zona afectată (în spatele frontului de combustie)	40-45	10-15		5		5-10	10			5	Okenit (5%) și ortosilicat de calciu (5%)	
VIa	Zona neafectată (înaintea frontului de combustie)	50-55		5				5	5	5	15-20		
VIb	Zona afectată (în spatele frontului de combustie)	50	5	5			5				20-25	< 5	Limonit (< 5%)



**Tabelul 5.** Diagnosticul rocilor prelevate din zăcământul Suplacu de Barcău rezultat din studiul microscopic optic al secțiunilor subțiri (după Brănoiu, 2003).

Probele din zonele neafectate de combustia subterană		Probele din zonele afectate de combustia subterană	
Locul de prelevare	Diagnostic	Locul de prelevare	Diagnostic
Proba Ia – sonda 312 (adâncimea 94,00-94,80 m)	Gresie litică argiloasă = graywacke litic	Proba Ib – sonda K30 (adâncimea 79,80-80,20 m)	Litarenit cuarțitic cu liant argilos = graywacke litic
Proba IIa – sonda 771 (adâncimea 102,00-108,00 m)	Nisip cuarțitic	Proba IIb – sonda K20 (adâncimea 100,50-101,00 m)	Nisip cuarțitic, ușor compactizat
Proba IIIa – sonda 312 (adâncimea 85,30-86,00 m)	Litarenit calcitic = subgraywacke	Proba IIIb – sonda K30 (adâncimea 68,60-69,25 m)	Gresie litică cu liant calcitic
Proba IVa – sonda 97 (adâncimea 95,00-97,00 m)	Șist cuarțitic-micaceu	Proba Vb – sonda K20 (adâncimea 113,00--113,50 m)	Șist cuarțitic muscovitic-clorit
Proba Va – sonda 2541 (adâncimea 102,00-105,80 m)	Șist cuarțitic-micaceu	Proba Vb – sonda K20 (adâncimea 113,00--113,50 m)	Șist cuarțitic muscovitic-clorit
Proba VIa – sonda 771 (adâncimea 112,00-112,90 m)	Gresie cuarțitică cu ciment calcitic	Proba VIb – sonda K8 (adâncimea 82,20-82,70 m)	Litarenit calcitic = subgraywacke litic

## Concluzii

Tratamentele termice au ca rezultat unele transformări în compoziția mineralogică a rocilor colectoare, schimbări care depind de temperatura acestor tratamente. În astfel de situații, oxihidroxizii, mineralele argiloase și carbonații sunt mai susceptibili de modificări datorită unei stabilități termice mai reduse în comparație cu cea a cuarțului, feldspaților și micelor.

Modificările compoziției mineralogice care apar în cadrul diferitelor sonde între nivelele afectate („arse”) și neafectate de procesul de combustie subterană sunt destul de dificil de interpretat din următoarele cauze: (1) lipsa unui sistem de referință față de care să se raporteze modificările din probele afectate. În mod ideal, acesta ar trebui să fie alcătuit din aceleași probe înainte de tratamentul termic, situație practic imposibil de realizat. În acest context modificările din zona afectată trebuie interpretate în comparație cu alte situații asemănătoare existente în aceeași sondă sau în sonde vecine la același nivel; (2) existența între sondele afectate și cele neafectate a unor deosebiri de origine primară (variații paragenetice ale materialului transmise prin procesul de moștenire) sau secundară (variații imprimare de diferite procese diagenetice) ale căror efecte se suprapun peste efectul tratamentului termic, și determină o sporire a dificultăților în decelarea acestuia din urmă.

În pofida acestor dificultăți, rezultatele obținute permit semnalarea unor modificări mineralogice care se referă la mineralele argiloase și la apariția unor minerale noi de tipul hidrosilicaților de calciu (ex. tobermorit, hilebrandit, okenit etc.), precum și la stabilirea unor direcții de evoluție a acestor minerale sub influența tratamentului termic, modificări care pot fi urmărite la nivelul global al rocii. Interpretările rezultatelor obținute la nivelul întregii roci (unde cantitatea de minerale stabile la tratamentul termic este foarte ridicată) pot fi afectate de erori din cauza efectului de diluție ce se manifestă la acest nivel și care poate aduce concentrația anumitor minerale „indicator” sub limita de detecție a tehnicii analitice utilizate.

După cum a fost menționat, pentru evidențierea efectului procesului de combustie este necesar de a stabili compoziția mineralogică a rocii preexistente în zona combustionată. În linii mari, compoziția mineralogică a probelor prelevate din zonele neafectate și respectiv afectate de combustia subterană, rezultată din studiul microscopic optic al secțiunilor subțiri și respectiv din difracția razelor X corespunde.

Există deosebiri calitative și cantitative între zonele afectate și neafectate de procesul de combustie observate în secțiunile subțiri și în difractogramele înregistrate, și reliefate în tabelele 3 și 4, însă numai o parte dintre acestea pot fi atribuite tratamentului termic. Astfel, prezența feldspațiilor în probele neafectate IIa, IIIa și absența lor în probele afectate IIb, IIIb, sau prezența feldspațiilor în probele afectate Vb, VIb și absența lor din probele neafectate corespunzătoare Va, VIa trebuie pusă pe seama variațiilor mineralogice existente sau pe seama faptului că probele folosite în difracția razelor X sunt punctuale și nu reflectă compoziția mineralogică globală. De asemenea, prezența muscovitului în probele neafectate IIIa, Va și absența lui din probele afectate corespunzătoare IIIb, Vb; prezența biotitului în proba neafectată IIa și lipsa lui în proba afectată IIb; prezența illitului în proba neafectată VIa și absența lui în proba afectată VIb; prezența cloritului în probele neafectate Ia, VIa și absența lui în probele afectate Ib, VIb, trebuie legată de variațiile paragenetice ale materialului sau de faptul că probele folosite în difracția razelor X sunt punctuale și nu reflectă compoziția mineralogică globală, și nu de efectul tratamentului termic.

În ceea ce privește probele de roci sedimentare provenite din zonele neafectate și respectiv afectate de combustia subterană, cu excepția perechii de probe VIa–VIb, apar o serie de modificări calitative și cantitative, care pot fi atribuite tratamentului termic:

1. Evoluția rețelelor cristaline largi (hidratate) ale mineralelor argiloase și mai ales a interstratificărilor către rețele mai stabile (anhidre). Acest lucru se explică prin influența temperaturii care determină contracția rețelelor montmorillonitice prin pierderea apei de adsorbție și a celei legate de cationii din spațiul interplanar. Această evoluție poate fi observată la nivelul perechilor de probe Ia (sonda 312) – Ib (sonda K30), IIIa (sonda 312) – IIIb (sonda K30) și apare chiar la nivelul probelor Va (sonda 2541) – Vb (sonda K20) provenite din fundamentul cristalin fisurat.

2. Cu excepția perechii de probe IIa (sonda 771) – IIb (sonda K20), crește conținutul de minerale carbonatice în probele afectate, probabil ca urmare a precipitării unui material furnizat prin circulația fluidelor fierbinți (apă sau vapori de apă încărcăți cu diferiți ioni disociați sau grupați în radicali) prin pori sau fisuri.

3. La nivelul probelor afectate de combustie se remarcă o creștere a proporției liantului față de probele neafectate.

4. În probele afectate, liantul are un aspect mai mult sau mai puțin vitrifiat, excepție făcând proba VIb (sonda K8) unde probabil temperatura a fost mai redusă.

5. În probele afectate de combustie cu excepția probei VIb (sonda K8) se remarcă apariția în cadrul liantului de minerale noi de tipul hidrosilicaților (tobermorit, hilebrandit, okenit, ortosilicat de calciu hidratat etc.).

6. La nivelul probelor afectate, cuarțul apare într-o cantitate sensibil mai mică decât în probele neafectate, aceasta deoarece probabil cuarțul a reacționat cu calcitul și a dat compuși de tipul silicaților sintetici de calciu întâlniți în clincherul de ciment – alit, belit, celit etc., care prin hidratare au format minerale de tipul hidrosilicaților (tobermorit, hilebrandit, okenit, ortosilicat de calciu hidratat etc.).

7. Alura difractogramelor probelor afectate este total diferită de cea a probelor neafectate, ca urmare a creșterii gradului de cristalinitate.

De asemenea, investigarea perechilor de probe IVa (sonda 97) – IVb (sonda K20) și Va (sonda 2541) – Vb (sonda K20) prelevate din zonele neafectate și respectiv afectate de combustie ale fundamentului cristalin a pus în evidență prezența substanței

organice insinuate pe planele de șistuoșitate; evoluția rețelelor montmorillonitice largi (interstratificări) prin contracție (colapsare) către rețele montmorillonitice anhidre; și apariția mineralelor de tipul hidrosilicaților – okenit și ortosilicat de calciu hidratat.

O situație aparte se întâlnește în cazul perechii de probe VIa (sonda 771) – VIb (sonda K8) unde nu există deosebiri mineralogice majore între proba neafectată și proba afectată de combustie. Totuși, evoluția interstratificărilor argiloase din proba neafectată VIa către montmorillonitul de 15,4Å ca și absența hidrosilicaților din proba afectată VIb, conduce la concluzia că temperatura procesului termic a fost redusă (sub 150°C), în acord cu cercetările anterioare (Crăciun et al., 1985). Se poate considera că prezența feldspaților și a limonitului în proba afectată VIb, este un efect al variațiilor compoziției mineralogice a materialului și mai puțin a tratamentului termic. Absența illitului și cloritului pe difractograma probei afectate sunt consecință a efectului de diluție a fracțiunii argiloase care este în cantitate foarte redusă. Rezultatele obținute pentru proba VIa (sonda K8) oferă posibilitatea de a se trage concluzia că efectul procesului de combustie a fost mult mai redus în comparație cu celelalte probe afectate de combustie.

O ultimă remarcă care trebuie făcută se referă la datele din tabelele 3 și 4, deși insuficiente: reducerea conținutului de argilă în probele afectate („arse”) (sondele K30, K20 și K8) sugerează faptul că modificările mineralogice sunt însoțite de modificări granulometrice, care influențează la rândul lor porozitatea și permeabilitatea rocilor colectoare. Cercetările anterioare au semnalat o creștere a porozității și permeabilității rocilor în urma tratamentelor termice (Jamaluddin et al., 1998, 1999; Bhat și Kovsky, 1998 etc.). Întrucât hidrosilicații de tipul tobermorit, hilebrandit, ortosilicat de calciu hidratat etc., apar într-o proporție de 5% până la 10%, iar uneori chiar sub 5%, identificarea lor prin metoda difractometrică nu prezintă siguranță deplină, existența lor trebuind confirmată și prin alte metode specifice de investigare mineralogică a lianților.

## Bibliografie

- Anastasiu, N.**, 1981, *Minerale și roci sedimentare – determinant*, Univ. București.
- Bhat, S.K., Kovsky, A.R.**, 1998, *Permeability modification of diatomite during hot-fluid injection*, JPT, (sept. 1998), p. 98-100.
- Brănoiu, Gh.**, 2003, *Investigații mineralogice pe probe de roci prelevate înainte și după inițierea proceselor de exploatare secundară*, Referat doctorat nr. 3, U.P.G. Ploiești.
- Condrachi, Al.**, 1996, *Studiu de evaluare a performanțelor în exploatare a zăcămintului Pannonian – Suplacu de Barcău*, Arhiva I.C.P.T. Câmpina.
- Jamaluddin, A.K.M., VanDamme, L.M., Nazarco, T.W., Bennion, D.B.**, 1998, *Heat treatment for clay-related near wellbore formation damage*, JCPT, v. 37, nr. 1.
- Jamaluddin, A.K.M., Mamelin, M., Harke, K., McCaskill, H., Mehta, S.A.**, 1999, *Field testing of the formation heat treatment process*, JCPT, v. 38, nr. 3.
- Prats, M.**, 1986, *Thermal Recovery*, Second Printing S.P.E., Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, New York, Dallas.
- Sanmiguel, J.E., Mallory, D.G., Mehta, S.A., Moore, R.G.**, 2002, *Formation heat treatment process by combustion of gases around the wellbore*, JCPT, v. 41, nr. 8.
- Vasiliu, V.E.**, 1998, *Studiul mineralelor din rocile zăcămintului Suplacu de Barcău pentru evidențierea modificărilor acestora ca urmare a procesului de combustie subterană a hidrocarburilor*, Teza de doctorat, U.P.G. Ploiești.
- Vasiliu, V.E.**, 2000, *Transformări mineralogice observate în sonda K2 – Suplacu de Barcău*, Jurnalul de Petrol și Gaze, Ploiești.