



UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII LA VALORIFICAREA SUPERIOARĂ A DATELOR
GEOFIZICE PRIN PROCEDEE MODERNE DE ANALIZĂ
MATEMATICO-NUMERICĂ**

DOCTORAND: ANDREI GINA

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC: PROF. DR. ING. PAUL GEORGESCU

BUCUREȘTI

2015

Confruntarea cu seturi de date din ce în ce mai ample și cu un număr din ce în ce mai mare de variabile poate să conducă la complicații în analiză și să implice un număr mare de incertitudini ale parametrilor care intervin în interpretarea datelor.

Teza de doctorat încercă să ofere, astfel, o nouă perspectivă, prin aplicarea unei tehnici noi, de analiză multivariată, *Analiza Componentelor Principale (Principal Component Analysis PCA)* în prelucrarea datelor geofizice, iar rezultatele obținute să fie apoi comparate cu cele ale interpretării convenționale, cu scopul principal de a demonstra eficacitatea metodei propuse, și secundar, de a realiza un control superior al interpretării obținute în varianta clasică.

Lucrarea elaborată constituie prima încercare de aplicare a metodei analizei componentelor principale pe seturi de date geofizice de sondă (diagrame geofizice), în cadrul acestora fiind realizate două studii de caz. Primul studiu de caz a avut în vedere o sondă de explorare pentru hidrocarburi (gaze naturale) localizată în nordul Platformei Moldovenești, iar al doilea studiu de caz a urmărit analiza datelor geofizice înregistrate în foraje hidrogeologice de explorare-exploatare a apelor subterane din Dobrogea de Sud (zona centralei nucleare-electrice Cernavodă). Selectarea acestor sonde și seturi de date diferite s-a bazat pe intenția de a ilustra aplicabilitatea și rezultatele oferite de această metodă de analiză în situații geologice net diferite și cu obiective de explorare de asemenea diferite.

În ambele studii de caz s-a realizat o comparație între rezultatele interpretării cantitative convenționale a diagramei geofizice și rezultatele analizei PCA. Scopul acestei comparații a avut ca obiective : (1) stabilirea unor posibile corespondențe / corelații între rezultatele analizei PCA și caracteristicile profilelor geologice traversate de sonde; (2) evidențierea în rezultatele PCA a unui răspuns caracteristic al posibilelor formațiuni cu saturație în hidrocarburi sau, respectiv, al orizonturilor productive ale acviferului regional Jurassic superior - Cretacic inferior din Dobrogea de Sud, prin comparație cu rezultatele interpretării convenționale a datelor.

Analiza PCA poate fi efectuată extrem de rapid, implicând trei etape principale: analiza de corelație a datelor, interpretarea vectorilor proprii și calculul valorilor sintetice (combinat) ale componentelor principale, cu obținerea unor diagrame calculate, și de asemenea, nu necesită adoptarea unui set de parametri de calcul / interpretare ca în cazul interpretării cantitative convenționale (de exemplu adoptarea unui anumit model petrofizic de interpretare, parametrii fizici ai argilelor, rezistivitățile apelor de formațiune și filtratului de noroi, parametrii fizici ai hidrocarburilor etc.), set de parametri care poate fi afectat, adeseori, de incertitudini.

În urma acestui proces, interpretatorul poate dobândi o înțelegere mult mai clară a factorilor care controlează variabilitatea datelor geofizice și care pot determina unicitatea unor "faciesuri de proprietăți fizice / petrofizice" evidențiate în urma analizei.

Dacă un astfel de răspuns caracteristic poate fi evidențiat, analiza PCA ar putea fi utilizată pentru "diagnosticarea" imediată a prezenței intervalelor de interes interceptate de alte sonde de explorare din zona respectivă (aflăte pe aceeași structură), fie în completarea rezultatelor interpretărilor convenționale ale datelor geofizice, fie independent / individual. În esență, această metodă reprezintă o modalitate de „simplificare” a datelor inițiale (foarte complexe, cu mulți parametri), dar cu o “maximizare” a informației geologice-petrofizice obținute.

În concluzie, se poate afirma că analiza PCA utilizează o anumită abordare cantitativă, statistico-numerică, pentru a studia relațiile din cadrul unui set de date geofizice oarecare (în particular un set de diagrame geofizice). Tehnica poate fi utilizată pentru a combina componentele corelate ale carotajelor, cu reducerea redundanței din suita de măsurători până la un set de diagrame sintetice necorelate. Pe baza unei comparații atente cu datele geofizice originale și, eventual, cu măsurători de laborator sau analize pe carote / probe, diagramele sintetice calculate pe baza componentelor principale pot fi legate de variații ale proprietăților geologice sau petrofizice ale subsolului.

Analiza multivariată cuprinde o colecție de metode care pot fi utilizate atunci când există mai multe măsurători efectuate pe un anumit individ sau obiect, și folosind unul sau mai multe eșantioane. Putem considera măsurătorile ca *variabile*, iar indivizii sau obiectele ca *unități* (unități de cercetat, mostre sau unități experimentale) sau *observații*. În practică, seturile de date multivariate sunt foarte des întâlnite, deși ele nu sunt întotdeauna analizate așa.

Cronologic, aplicarea tehnicilor multivariate s-a făcut mai întâi în științele comportamentale și în biologie. În ultimii ani interesul în folosirea metodelor multivariate s-a extins și la alte domenii de investigare, cum ar fi de exemplu științele educației, chimie, fizică, geologie, inginerie, drept, business, literatură, televiziune, minerit, lingvistică, psihologie și multe altele.

Scopul multor metode multivariate este simplificarea. Dorim să explicăm ce se întâmplă în termeni de reducere a dimensiunilor. Analiza multivariată este în strânsă legătură cu statistica descriptivă și deductivă. În domeniul descriptiv adesea obținem combinații optime de variabile. Criteriul de optimizare variază de la o tehnică la alta, funcție de scop în fiecare caz.

Deși combinațiile liniare pot părea prea simple ca să dezvăluie structura în cauză, le folosim din două motive foarte clare. Au maleabilitate (flexibilitate) matematică (aproximările liniare sunt folosite în știință din același motiv) și adesea se manifestă bine în practică.

Analiza componentelor principale (PCA - *Principal Component Analysis*) este o tehnică de analiză multivariată în care un număr de variabile în legătură sunt transformate în (sperăm) un set mai mic de variabile necorelate.

Procesul de analiză PCA implică trei etape principale: analiza de corelație a datelor, interpretarea vectorilor proprii, și calculul valorilor sintetice (combinat) ale componentelor principale. În urma acestui proces, interpretatorul poate dobândi o înțelegere mult mai clară a factorilor care controlează variabilitatea datelor geofizice și care pot determina unicitatea unor "faciesuri de proprietăți fizice/petrofizice" evidențiate în urma analizei.

În cadrul tezei de doctorat, această metodă de analiză a fost aplicată pe diverse seturi de date geofizice înregistrate în sonde de explorare pentru hidrocarburi și ape subterane. Din acest motiv, în cele ce urmează aspectele teoretice legate de metoda PCA vor fi particularizate pentru cazul diagramele geofizice, urmărindu-se evidențierea potențialului informativ al acestei metode, precum și a domeniului de aplicabilitate și a limitărilor acesteia.

În esență, aplicarea metodei PCA asupra datelor de carotaj geofizic presupune calcularea unor date / curbe / diagrame sintetice (combinat) de carotaj geofizic, care nu introduc nici o interferență sau model pe datele originale.

Analiza componentelor principale ale unui set de date geofizice, în particular un set de diagrame înregistrate într-o sondă, implică următorii pași de lucru:

1. Sunt calculate media și deviația standard pentru fiecare set de date pe intervalul de adâncime selectat. Această informație este utilizată pentru a standardiza datele, iar reprezentările grafice aferente analizei vor fi exprimate în unități de deviație standard (*SD - Standard Deviation*).

2. Este calculată matricea de corelație folosind datele standardizate. Matricea de corelație, spre deosebire de matricea de covarianță, este folosită astfel încât să se reducă efectul diferitelor unități de măsură ale datelor geofizice. Fiecare element diagonal al matricei de corelație este unitar, iar matricea respectivă este simetrică.

3. Sunt determinate ordinea și orientarea componentelor principale din valorile proprii (*eigenvalues*) și vectorii proprii (*eigenvectors*) ale matricei de corelație. Rădăcina pătrată a valorilor proprii indică lungimea și ordinea axelor principale de variabilitate a datelor. Fiecare componentă principală caracterizează procentual o fracțiune din variabilitatea totală, fracțiune calculată în funcție de dimensiunea relativă a valorilor proprii.

Mărimea relativă a elementelor vectorilor proprii indică gradul până la care fiecare înregistrare geofizică contribuie la variația descrisă de această componentă. Cantitatea de informații unice furnizate de către fiecare înregistrare poate fi estimată din analiza valorilor proprii.

4. Pentru a înțelege mai bine factorii geologici sau petrofizici care controlează componentele principale, se vor calcula diagrame sintetice, folosind combinații liniare ale vectorilor proprii cu diagramele originale. Aceste diagrame sintetice (cunoscute sub denumirea de "*score logs*") sunt exprimate în unități de deviație standard.

O comparație între "*score logs*" și diagramele originale poate indica ce proprietăți sau factori de natură geologică sau petrofizică stau la baza componentelor principale identificate în urma analizei PCA.

5. În cele din urmă, dependențe duale (*cross-ploturi*) ale diagramei sintetice calculate sunt folosite pentru a evidenția mai bine tendințele principale de variabilitate a datelor (ex. studiul distribuției litologice a formațiunilor traversate de o sondă). Aceste *cross-ploturi* furnizează informații despre unicitatea litologiilor, tendințele și modelele de distribuție a proprietăților fizice ale formațiunilor etc.

Tehnica PCA poate fi extinsă prin folosirea diagramei înregistrate în mai multe sonde, în scopul de a construi un eșantion reprezentativ de măsurători (Kassenaar, 1989).

Fundamentarea matematică a metodei PCA

Această secțiune prezintă unele elemente matematice de bază, necesare pentru a înțelege procesul de analiză a componentelor principale (PCA - *Principal Components Analysis*) ale unui set de date geofizice.

Metoda analizei componentelor principale cuprinde atât o prelucrare preliminară de tip statistic a datelor de observație, cât și o prelucrare matematică-numerică având ca obiectiv determinarea vectorilor proprii (*Eigenvectors*) și valorilor proprii (*Eigenvalues*) ale unei matrice (de obicei, matricea de covarianță sau de corelație a setului de date). În consecință, în

cele ce urmează vom prezenta sintetic parametrii statistici și procedurile numerice implicate în analiza PCA, alături de unele considerente legate de aplicabilitatea metodei.

Deviația standard

Deviația sau abaterea standard (SD - *Standard Deviation*) este o măsură, utilizată pe scară largă, a variabilității sau dispersiei datelor utilizată în tehnici statistice și în teoria probabilităților. Aceasta arată cât de mult variază sau este dispersat un set de date față de media acestuia. O deviație standard scăzută indică faptul că punctele din setul de date tind să fie foarte apropiate de medie, în timp ce o deviație standard ridicată indică faptul că datele sunt dispersate într-o gamă largă de valori.

Din punct de vedere matematic, deviația standard a unei populații statistice, set de date sau distribuție de probabilitate este rădăcina pătrată a varianței sale. O proprietate utilă a deviației standard este că, spre deosebire de varianță, este exprimată în aceleași unități de măsură ca și datele.

Media nu poate explica foarte multe informații ale unui set de date, cu excepția unei mici părți centrale.

Ceea ce poate fi diferit la două seturi de date este, de fapt, extinderea sau dispersia lor, iar aceasta poate fi definită prin deviația standard.

Deviația standard a unui set de date este o măsură a modului în care este extins setul de date sau reprezintă distanța medie de la media setului de date la un punct al acestuia.

Pentru un set de date X unde media are expresia:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1.1)$$

deviația standard va fi:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (1.2)$$

În mod normal, numitorul relației ar trebui să fie n , în cazul în care valoarea medie reală a datelor este cunoscută *a priori*. Dacă valoarea medie este calculată (relația 1.1) chiar pe baza setului de date disponibil, ca numitor se folosește $(n - 1)$ (așa-numita corecție Bessel).

Varianța

În teoria probabilităților și statisticii, varianța este folosită ca o măsură a dispersiei punctelor unul față de celălalt într-un set de date. Această mărime descrie cât de departe se situează valorile față de medie (valoarea așteptată). Varianța reprezintă o altă modalitate de a descrie răspândirea valorilor dintr-un set de date, fiind reprezentată de pătratul abaterii (deviației) standard:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)} \quad (1.3)$$

sau

$$\text{var}(X) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})}{(n-1)} \quad (1.4)$$

Spre deosebire de abaterea standard, varianța unei variabile se va măsura în pătratul unității variabilei respective. De exemplu, o variabilă măsurată în centimetri va avea o varianță măsurată în centimetri pătrați. Din acest motiv, în descrierea dispersiei seturilor de date este adesea mai intuitivă deviația standard în locul varianței.

Deviația standard și abaterea absolută sunt frecvent utilizate ca indicatori de dispersie a unei distribuții. Abaterea absolută tinde să fie mai robustă, deoarece este mai puțin sensibilă la valorile aberante (exagerat de mari sau de mici) generate de diferite anomalii geofizice măsurate.

Covarianța

În teoria probabilităților și statisticii, covarianța este o măsură a mărimii schimbării simultane a două variabile (doi vectori aleatori). Varianța reprezintă un caz special de covarianță, când cele două variabile sunt identice.

Covarianța este uneori considerată o măsură a dependenței liniare dintre cele două variabile aleatoare. Când covarianța este normalizată, pe baza ei se obține matricea de corelație și, de asemenea, coeficientul de corelație Pearson, care reflectă cantitativ gradul în care o funcție liniară poate descrie relația dintre variabilele luate în considerare. În acest sens, covarianța este un indicator liniar de dependență.

Covarianța este întotdeauna bidimensională. Pentru un set de date tridimensional (x, y, z) se poate defini covarianța dintre dimensiunile (vectorii) x și y , dimensiunile x și z sau dimensiunile y și z . Covarianța dintre x și x , y și y sau z și z definește varianța dimensiunilor (vectorilor) x , y și z . Expresia covarianței dintre doi vectori aleatori este foarte asemănătoare cu cea a varianței:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n - 1)} \quad (1.5)$$

Dacă valoarea covarianței este pozitivă, aceasta indică faptul că ambii vectori variază (cresc sau scad) împreună, în același sens.

Dacă valoarea covarianței este negativă, vectorii aleatori luați în considerare variază în sens opus (unul crește, iar celălalt scade).

În ultimul caz, în care covarianța este nulă, acesta indică faptul că cei doi vectori aleatori sunt independenți (variația unuia dintre ei nu implică o variație a celuilalt).

Matricea de covarianță

În teoria probabilităților și statisticii, o matrice de covarianță este o matrice al cărei element din poziția (i, j) este reprezentat de covarianța dintre al i -lea și j -lea elemente ale unui vector aleator (un vector de variabile aleatoare). Fiecare element al vectorului este o variabilă aleatoare, fie cu un număr finit de valori observate, fie cu un număr finit sau infinit de valori posibile, caracterizate de o anumită distribuție teoretică de probabilitate.

Intuitiv, matricea de covarianță generalizează noțiunea de varianță pentru mai multe dimensiuni. De exemplu, variația într-o colecție de puncte aleatorii într-un spațiu bidimensional nu poate fi caracterizată în totalitate de către un singur număr și nici varianțele în direcțiile x și y nu ar conține toate informațiile necesare; o matrice 2×2 ar fi necesară pentru a caracteriza pe deplin varianța bidimensională.

Pentru un set de date tridimensional (dimensiunile x, y, z) s-ar putea calcula $\text{cov}(x, y)$, $\text{cov}(x, z)$, $\text{cov}(y, z)$.

În cazul unui set de date n -dimensional se pot calcula:

$$\frac{n!}{(n - 2)! * 2} \quad (1.6)$$

valori diferite de covarianță.

Matricea de covarianță a unui set de date tridimensional va fi definită de:

$$C = \begin{pmatrix} \text{cov}(x, x) & \text{cov}(x, y) & \text{cov}(x, z) \\ \text{cov}(y, x) & \text{cov}(y, y) & \text{cov}(y, z) \\ \text{cov}(z, x) & \text{cov}(z, y) & \text{cov}(z, z) \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

Vectorii proprii și valori proprii

Definirea vectorilor proprii (*Eigenvectors*) și valorilor proprii (*Eigenvalues*) ale unei matrice se bazează pe conceptele generale de vectori și transformări liniare. Odată ce un set de coordonate carteziene este stabilit, orice vector, definit printr-o lungime (modul) și o direcție, poate fi descris în raport cu acel set de coordonate printr-o secvență de numere. O transformare liniară poate fi descrisă printr-o matrice pătratică.

De exemplu, în coordonatele standard al unui spațiu n -dimensional un vector poate fi exprimat ca:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

iar o matrice printr-o succesiune de vectori, de forma:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \cdots & a_{n,n} \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

n fiind un număr întreg oarecare.

De obicei, multiplicarea unui vector \mathbf{x} de către o matrice pătratică \mathbf{A} modifică și mărimea (modulul) și direcția vectorului. Sunt și cazuri în care această multiplicare schimbă numai mărimea vectorului și lasă neschimbată direcția sau schimbă vectorul în direcția opusă, în aceste cazuri \mathbf{x} fiind denumit *vector propriu (eigenvector)* al acelei matrice. Termenul de vector propriu este lipsit de sens dacă nu este în relație cu o anumită matrice. Atunci când este multiplicat cu o matrice, fiecare vector propriu al acelei matrice își va schimba mărimea cu un anumit factor, scalar, numit *valoare proprie (eigenvalue)* și fiind corespunzătoare aceluia vector propriu.

Vectorul \mathbf{x} este un vector propriu al matricei \mathbf{A} , cu o valoare proprie λ , în cazul în care este satisfăcută ecuația matriceală:

$$\mathbf{A} \mathbf{x} = \lambda \mathbf{x} \quad (1.10)$$

Această ecuație a vectorilor și valorilor proprii poate fi interpretată geometric după cum urmează: un vector \mathbf{x} este un vector propriu dacă multiplicat cu \mathbf{A} se mărește, se micșorează, rămâne neschimbat, își schimbă direcția în sens opus, se mărește și își schimbă direcția sau se micșorează și își schimbă direcția.

Dacă valoarea proprie $\lambda > 1$, vectorul \mathbf{x} se va mări. Dacă $\lambda = 1$, vectorul \mathbf{x} va rămâne neschimbat în urma multiplicării cu \mathbf{A} . Dacă $0 < \lambda < 1$, \mathbf{x} se va micșora. Dacă $\lambda = 0$, \mathbf{x} se va micșora și va tinde către origine. În ultimul caz, cel în care valoarea proprie λ este negativă, vectorul \mathbf{x} își va schimba direcția în sens opus și va fi redus cu un factor egal cu valoarea absolută a λ .

Un caz special îl reprezintă matricea identică \mathbf{I} , care lasă orice vector neschimbat din punct de vedere al modulului și direcției :

$$\mathbf{I} \mathbf{x} = 1 \cdot \mathbf{x} = \mathbf{x} \quad (1.11)$$

Fiecare vector diferit de 0, din relația de mai sus, este un vector propriu al matricei \mathbf{I} , cu valoarea proprie egală cu 1.

O definiție mai generală a vectorilor și valorilor proprii este: fie \mathbf{V} un spațiu vectorial oarecare, \mathbf{x} un vector în acel spațiu și \mathbf{T} o transformare liniară a spațiului vectorial \mathbf{V} . Atunci \mathbf{x} va fi un vector propriu a lui \mathbf{T} cu valoarea proprie λ în cazul în care avem următoarea ecuație:

$$\mathbf{T} \mathbf{x} = \lambda \mathbf{x} \quad (1.12)$$

Această ecuație este denumită *ecuația valorilor proprii*. De reținut că unii autori impun ca \mathbf{x} să fie diferit de 0. Setul de valori proprii ale lui \mathbf{T} este denumit uneori spectrul lui \mathbf{T} .

Trebuie subliniat că valorile proprii sunt strâns legate de vectorii proprii, formând întotdeauna perechi.

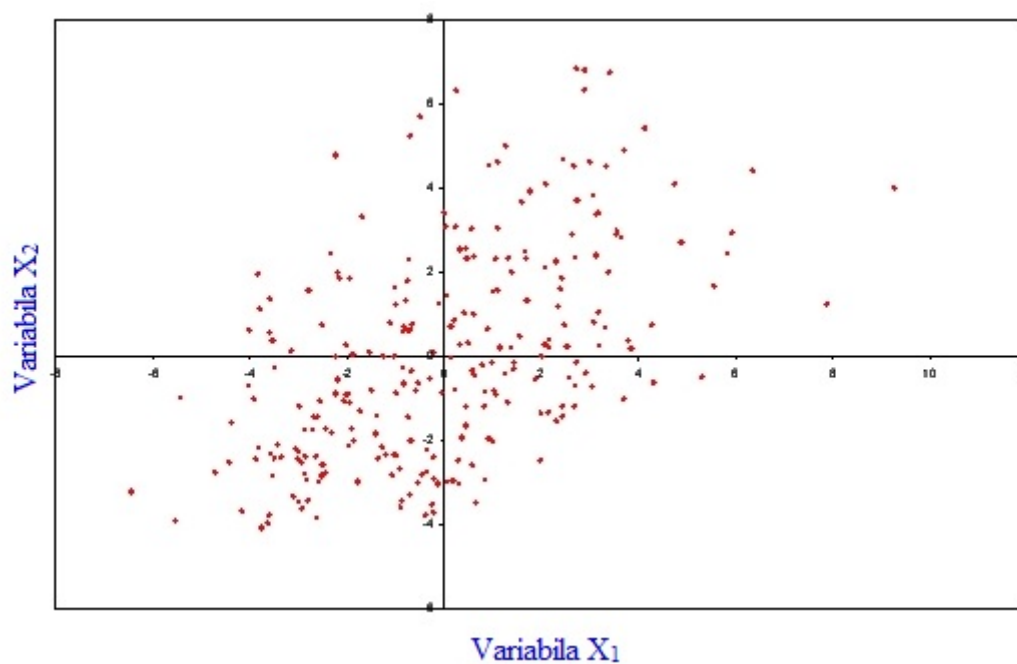


Fig. 1. *Reprezentarea într-un cross-plot (dependență duală) a datelor de observație corespunzătoare unei distribuții bidimensionale de date.*

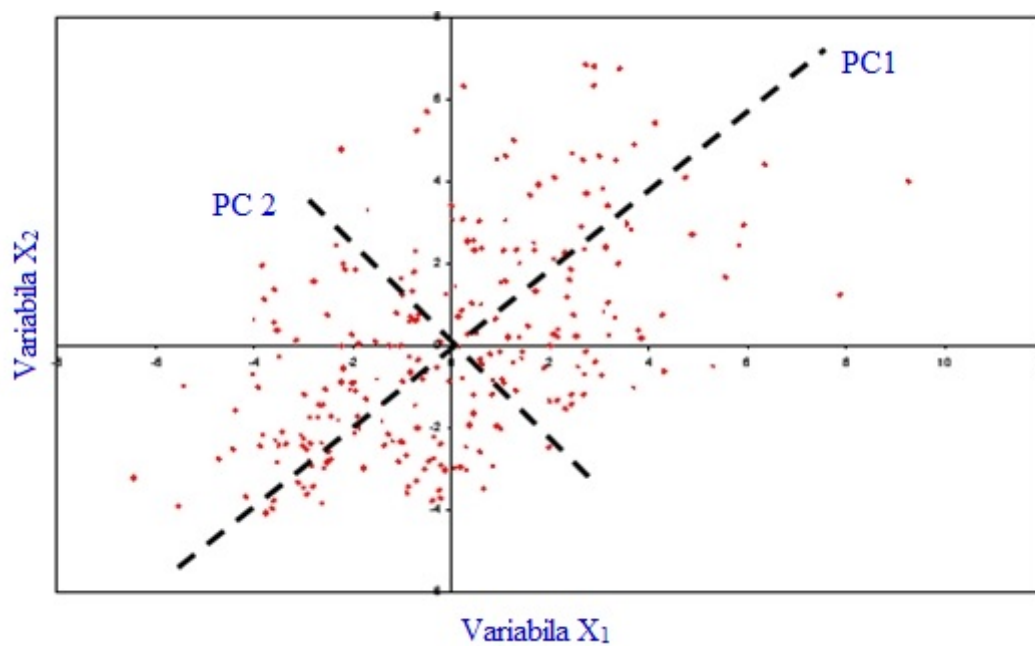


Fig. 2. *Selectarea componentelor principale ale unui set bidimensional de date de observație.*

În cazul în care forma "norului" de puncte de observație ar fi aproximativ elipsoidală, atunci cele două axe de variație maximă ar corespunde componentelor principale ale setului de date (Fig 1). Axa cea mai lungă a elipsoidului va corespunde primei componente principale - PC_1 . În mod similar, cea de-a doua axă ca mărime de variație va corespunde celei de-a doua componente principale - PC_2 (Fig 2).

Metodele geofizice de sondă se raportează la un volum relativ restrâns de formațiuni din jurul găurii de sondă (funcție de metoda aplicată și de profilul de invazie cu filtrat de noroi) și au rolul de a:

- stabili profilul geologic;
- determina proprietățile litologice și colectoare ale formațiunilor;
- determina poziția și adâncimea stratelor traversate de foraj;
- stabili conținutul în substanțe minerale utile, fluide sau solide al stratelor.

Dificultatea caracterizării stratelor traversate exclusiv pe baza carotelor/probelor extrase, a condus la elaborarea metodelor bazate pe determinarea unor parametri fizici de-a lungul găurii de sondă de tipul: rezistivitate electrică, radioactivitate, activitate electrochimică, conductibilitate termică, susceptibilitate magnetică, densitate, viteză de propagare a undelor elastice etc.

Diagrafia geofizică reprezintă înregistrarea unui parametru fizic variabil în funcție de adâncime. Astfel, carotajul geofizic reprezintă o metodă rapidă de investigare, ce nu necesită întreruperi generate de extragerea carotelor, oferă informații complete asupra profilelor geologice traversate, evidențiază substanțele minerale utile și oferă o creștere a eficienței lucrărilor de prospecțiune și explorare a zăcămintelor.

Interpretarea calitativă are în vedere stabilirea:

- naturii formațiunilor;
- grosimii formațiunilor;
- succesiunii și adâncimii stratelor;
- formațiunilor între sonde și corelarea cu rezultatele prospecțiunilor seismice.

Interpretarea cantitativă a diagrafiilor geofizice reprezintă un proces complex, care urmărește determinarea parametrilor petrofizici ai formațiunilor traversate de foraj. Principalii parametri petrofizici cu importanță semnificativă ce trebuie determinați sunt:

- conținutul în argilă;
- porozitatea;
- litologia formațiunilor traversate;
- rezistivitatea apelor de formațiune;
- saturația în apă și hidrocarburi a formațiunilor colectoare, în zona necontaminată;
- saturația în filtrat de noroi și hidrocarburi reziduale a formațiunilor colectoare, în zona spălată;
- fracțiunea volumetrică de hidrocarburi ce poate fi recuperată dintr-o formațiune;
- permeabilitatea formațiunilor.

Interpretarea calitativă a diagrafiilor geofizice are în vedere stabilirea:

- natura formațiunilor;

- grosimea formațiunilor;
- succesiunea și adâncimea stratelor;
- corelarea formațiunilor între sonde.
- zonele cu presiuni anormale;

Interpretarea cantitativă a diagrafiilor geofizice reprezintă un proces complex, care urmărește determinarea parametrilor petrofizici ai formațiunilor traversate de foraj. Principalii parametri petrofizici cu importanță semnificativă ce trebuie determinați sunt:

- conținutul în argilă;
- porozitatea;
- rezistivitatea apelor de formațiune;
- saturația în apă și hidrocarburi a formațiunilor colectoare, în zona necontaminată;
- saturația în hidrocarburi reziduale a formațiunilor colectoare, în zona spălată;
- fracțiunea volumetrică de hidrocarburi ce poate fi recuperată dintr-o formațiune;
- permeabilitatea formațiunilor;
- presiunea fluidelor din formațiuni;
- litologia formațiunilor traversate.

Marea majoritate a rocilor interceptate de forajele de explorare/exploatare sunt roci sedimentare reprezentate de conglomerate, breccii, gresii, argile, marne, calcare, dolomite, gipsuri și anhidrite.

Studiile de caz vor ilustra aplicabilitatea metodelor statistice-numeriche de prelucrare și interpretare a datelor geofizice generale, abordate în cadrul tezei de doctorat, prin intermediul unor situații considerate relevante. În acest sens, au fost interpretate seturi de diagrame geofizice complexe înregistrate în sonde de explorare pentru hidrocarburi (nordul Platformei Moldovenești) și pentru ape subterane (zona Cernavodă – Dobrogea de Sud).

Tabelul 1. Matricea de covarianță / corelație a diagrafiilor geofizice înregistrate în sonda A-Suceava pe intervalul de adâncime 310 - 904 m.

	GR	RD	RS	RMLL	CNC	DEN	DT
GR	1.0000	-0.6801	-0.6860	-0.5670	0.8877	-0.4956	0.8645
RD	-0.6801	1.0000	0.9939	0.9137	-0.8285	0.8405	-0.7956
RS	-0.6860	0.9939	1.0000	0.9225	-0.8391	0.8570	-0.8184
RMLL	-0.5670	0.9137	0.9225	1.0000	-0.7691	0.8948	-0.7225
CNC	0.8877	-0.8285	-0.8391	-0.7691	1.0000	-0.7249	0.9016
DEN	-0.4956	0.8405	0.8570	0.8948	-0.7249	1.0000	-0.7384
DT	0.8645	-0.7956	-0.8184	-0.7225	0.9016	-0.7384	1.0000

O clasificare uzuală a gradului de corelație liniară dintre doi vectori aleatori (în cazul de față, perechile de diagrame geofizice), în funcție de valorile coeficientului de corelație r , este:

$r = 0.9 - 1.0 \rightarrow$ corelație foarte puternică;

$r = 0.7 - 0.9 \rightarrow$ corelație puternică;

$r = 0.5 - 0.7 \rightarrow$ corelație moderată / medie;

$r = 0.3 - 0.5 \rightarrow$ corelație slabă;

$r = 0.0 - 0.3 \rightarrow$ corelație foarte slabă sau nulă.

Așa cum se observă în Tabelul 1, pe intervalul de adâncime luat în considerare, cel mai înalt grad de corelație ($r > 0.9$) se înregistrează între diagramele de rezistivitate aparentă RD, RS și RMLL (corelație pozitivă / directă) și, de asemenea, între porozitatea neutronică CNC și timpul de parcurs acustic DT (corelație pozitivă / directă).

O corelație puternică ($r = 0.7 - 0.9$) se observă între diagramele de rezistivitate aparentă și toate diagramele de tip "porozitate" (curbele CNC, DEN și DT), care răspund atât la porozitatea formațiunilor (P) cât și la litologia acestora. Trebuie menționat că rezistivitățile aparente RD, RS și RMLL prezintă o corelație pozitivă / directă cu densitatea formațiunilor și o corelație negativă / inversă cu porozitatea neutronică și timpul de parcurs acustic. Corelații negative / inverse puternice apar și între perechile de diagrame porozitate neutronică - densitate și timp de parcurs - densitate.

Corelații moderate ($r = 0.5 - 0.7$) și negative / inverse se remarcă între radioactivitatea naturală gama și toate curbele de rezistivitate aparentă, iar o corelație slabă ($r = 0.3 - 0.5$) și negativă / inversă apare între radioactivitatea naturală gama și densitatea formațiunilor.

Tabelul 2. Rezultatele analizei componentelor principale ale matricei de covarianță / corelație pentru setul de diagrame geofizice înregistrate în sonda A-Suceava pe intervalul de adâncime 311 - 904 m.

<i>Valorile proprii (varianțele) explicate de componentele principale</i>							
	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆	PC ₇
	5.7995	0.7672	0.2022	0.1076	0.0652	0.0536	0.0047
%	82.8502	10.9607	2.8881	1.5377	0.9307	0.7656	0.0670
<i>Vectorii proprii (coeficienții componentelor principale)</i>							
	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆	PC ₇
GR	-0.3358	-0.6407	-0.1355	0.1786	0.3391	0.5568	-0.0378
RD	0.3961	-0.1993	0.4700	0.2983	0.1891	-0.1319	-0.6636
RS	0.4003	-0.1941	0.3708	0.3100	0.1336	-0.0223	0.7417
RMLL	0.3790	-0.3793	0.1063	-0.4828	-0.5963	0.3334	-0.0377
CNC	-0.3875	-0.3040	0.0505	0.4884	-0.6314	-0.3430	0.0036
DEN	0.3632	-0.4198	-0.6478	-0.0578	0.1520	-0.4957	-0.0001
DT	-0.3801	-0.3156	0.4356	-0.5550	0.2326	-0.4444	0.0815

Pe baza coeficienților componentelor principale din Tabelul 2. au fost calculate diagramele sintetice (vectorii s_1, s_2, \dots, s_7 definite prin combinații liniare ale diagramelelor geofizice inițiale (normalizate), coeficienții componentelor principale având rolul unor *coeficienți de pondere* pozitivi sau negativi. În cadrul unei componente principale oarecare, cu cât valoarea absolută a ponderii unei diagrame inițiale este mai mare, cu atât acea diagramă contribuie mai mult la variabilitatea explicată de componenta respectivă.

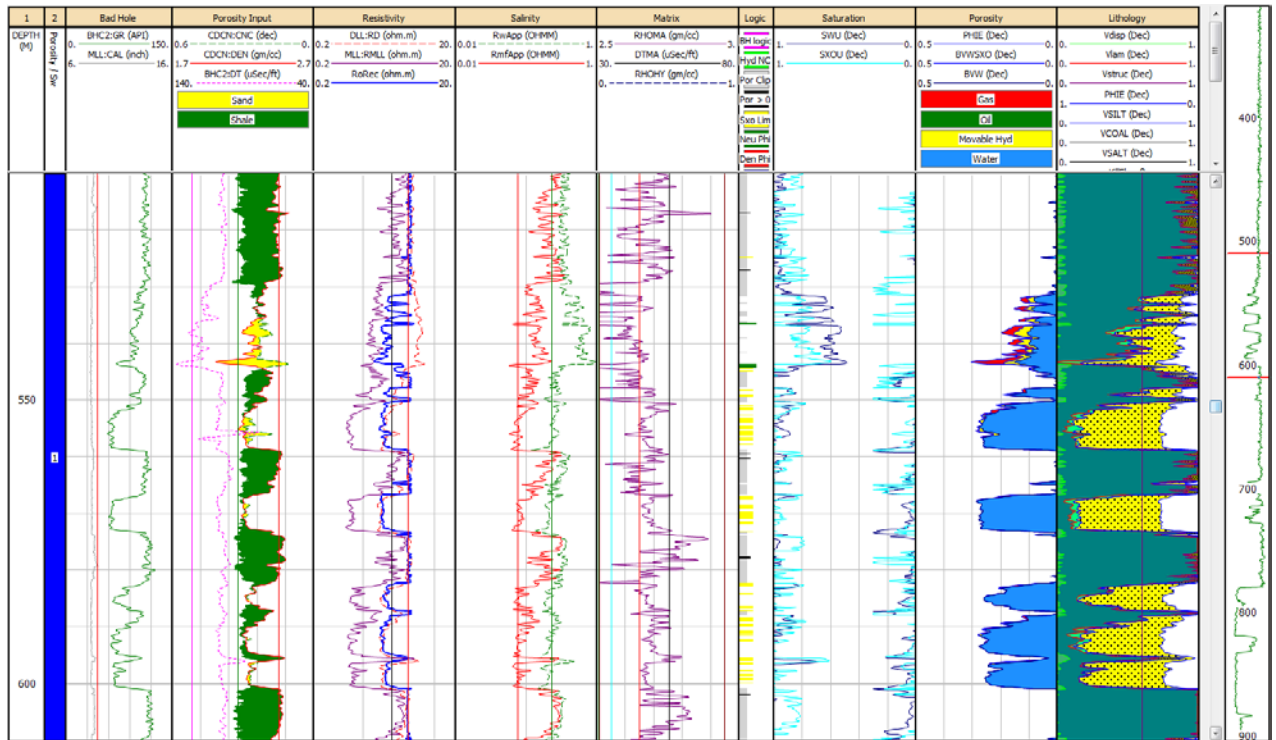


Fig. 3. Rezultatele interpretării cantitative convenționale a diagrafiilor geofizice pentru intervalul de adâncime 500 – 650 m, sonda A-Suceava. Intervalul cuprinde rezervoarele nisipoase Sarmațiene superioare ("Nisipurile de Suceava 1").

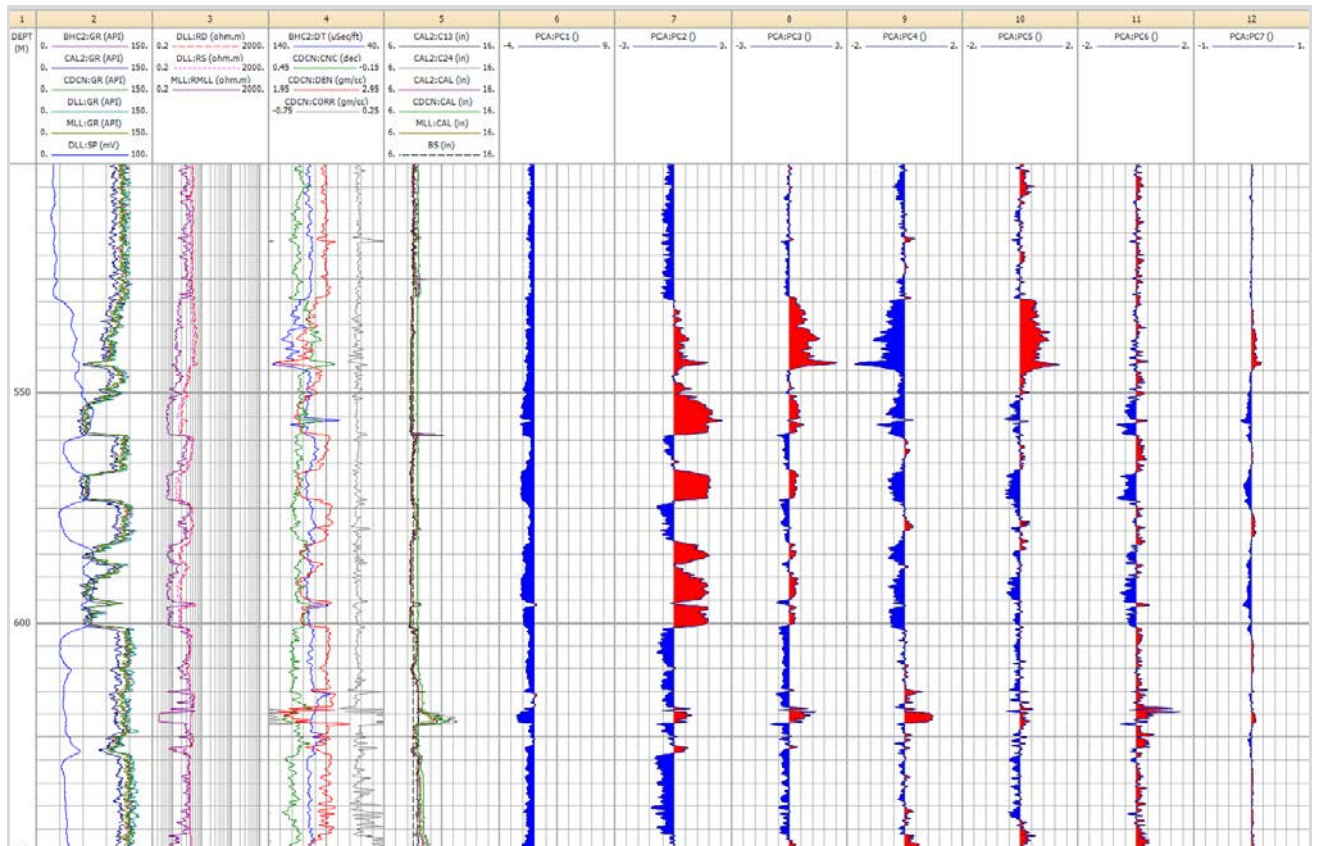


Fig. 4. Diagrafiile geofizice măsurate și rezultatele analizei PCA pentru intervalul de adâncime 500 - 650 m, sonda A-Suceava. Se remarcă separarea clară a rezervoarelor nisipoase Sarmațiene pe componentele principale PC_2 , PC_3 , PC_4 și PC_5 .

Analiza PCA efectuată în paralel cu interpretarea convențională a diagramei geofizice, s-a dovedit extrem de utilă pentru identificarea unor caracteristici importante ale formațiunilor geologice traversate de sonda A-Suceava, cum ar fi:

- separarea formațiunilor în funcție de litologia majoră a acestora (formațiuni mai tinere, cu porozități relativ mari și grad de compactizare mai redus, ex. depozitele Sarmațiene, în raport cu formațiunile vechi, compacte, cu porozități scăzute, ex. anhidritul Badenian și depozitele Cretacice din partea finală a intervalului investigat);
- identificarea în cadrul formațiunilor compacte (ex. calcarele Cretacice) a zonelor cu porozitate crescută, eventual prezența porozității secundare, sau a zonelor cu porozitate minimă și rezistivitate maximă (ex. în zona inferioară a orizontului anhidritic Badenian);
- separarea clară a formațiunilor colectoare, poroase-permeabile (ex. colectoarele nisipoase Sarmațiene) în raport cu formațiunile impermeabile, fie intervale argiloase, fie formațiuni foarte compacte;
- plasarea precisă a limitelor de separație pentru formațiunile colectoare și, în general, a limitelor care corespund unor variații importante de proprietăți fizice (ex. contrastele litologice majore, contrastele de porozitate etc.);
- posibilitatea identificării directe a prezenței hidrocarburilor în formațiunile colectoare (ex. primul orizont nisipos Sarmațian), în special pe baza componentelor principale de ordin superior ale setului de diagrame geofizice.

Trebuie menționat că validarea și interpretarea corectă a analizelor de tip PCA nu poate fi efectuată decât în corelație cu diagramele geofizice înregistrate și, preferabil, prin comparație cu rezultatele interpretării convenționale. Dacă se stabilește o corespondență între rezultatele celor două tipuri de interpretări (convențională și PCA), analizele de tip PCA pot fi apoi extinse / extrapolate la toate sondele de pe o anumită structură, în ipoteza unei continuități a condițiilor geologice între sondele respective.

Săparea a trei foraje hidrogeologice de cercetare (FJ-1, FJ-2 și FJ-3) în apropierea Centralei Nuclear-Electrice (C.N.E.) Cernavoda a oferit o oportunitate deosebită de a obține informații suplimentare valoroase cu privire la succesiunea geologică în această parte nordică a Dobrogei de Sud, în special cu privire la formațiunile carbonatice care cantonează acviferul RODL06. Sondele respective au fost forate până la o adâncime finală de 700 m pentru identificarea și exploatarea rezervelor de apă subterană existente, cu scopul de a oferi o soluție locală de alimentare cu apă potabilă pentru unitățile C.N.E.

În cele trei sonde au fost efectuate investigații geologice și geofizice pentru o caracterizare cât mai completă a formațiunilor interceptate - din punct de vedere litologic și paleontologic, identificarea fracturilor/fisurilor și cavernelor ca intervale potențiale purtătoare de apă, precum și evaluarea porozității formațiunilor.

Pentru ilustrarea aplicabilității metodei Analizei Componentelor Principale, a fost selectat forajul FJ-2 Cernavodă, din următoarele considerente:

- În acest foraj, prelucrarea preliminară a diagramei geofizice (corectarea discrepanțelor de adâncime, concatenarea segmentelor individuale de diagrame) a putut fi realizată în condiții bune, cu un grad ridicat de certitudine;

- Deoarece forajul FJ-2 a fost investigat geofizic în numai două etape / segmente, incertitudinea adâncimilor este mai redusă decât în cazul forajului FJ-1, investigat în patru etape;
- Cu toate că pentru forajul FJ-2 (spre deosebire de FJ-1) nu au fost disponibile analize geologice care să permită stabilirea limitelor dintre formațiuni/complexe, acest foraj este suficient de apropiat de FJ-1 (cca. 200 m) pentru a se putea considera că traversează aproximativ aceeași succesiune litologică-stratigrafică. În acest sens, forajul FJ-1 poate fi folosit ca „sondă de calibrare” pentru analiza PCA efectuată în forajul FJ-2;
- Pentru forajul FJ-2 a fost disponibilă o cavernogramă, putându-se astfel stabili dacă una dintre componentele principale ale datelor geofizice răspunde predominant la variațiile de diametru ale găurii de sondă.

În Tabelul 3 este prezentată matricea simetrică de covarianță / corelație a diagrafiilor geofizice utilizate pentru analiza PCA. Pe baza elementelor acestei matrice (coeficienții de corelație r) au fost determinate direcțiile majore de variabilitate a datelor de observație, reprezentate de componentele principale.

Tabelul 3. Matricea de covarianță / corelație a diagrafiilor geofizice înregistrate în forajul FJ-2 - Cernavodă pe intervalul de adâncime 80 - 700 m (6145 x 6 valori).

	GR	SHN	LON	NEAR	FAR	DT
GR	1.0000	-0.5886	-0.5779	-0.4920	-0.4578	0.4615
SHN	-0.5886	1.0000	0.9872	0.7954	0.7689	-0.4170
LON	-0.5779	0.9872	1.0000	0.7909	0.7592	-0.4196
NEAR	-0.4920	0.7954	0.7909	1.0000	0.9561	-0.3331
FAR	-0.4578	0.7689	0.7592	0.9561	1.0000	-0.3827
DT	0.4615	-0.4170	-0.4196	-0.3331	-0.3827	1.0000

Una dintre clasificările gradului de corelație liniară dintre două variabile aleatorii (în cazul de față, perechi de diagrafii geofizice) pe baza coeficientului de corelație r este:

- $r = 0.9 - 1.0 \rightarrow$ corelație foarte puternică;
- $r = 0.7 - 0.9 \rightarrow$ corelație puternică;
- $r = 0.5 - 0.7 \rightarrow$ corelație moderată / medie;
- $r = 0.3 - 0.5 \rightarrow$ corelație slabă;
- $r = 0.0 - 0.3 \rightarrow$ corelație foarte slabă sau nulă.

În Tabelul 3 se observă că cel mai înalt grad de corelație ($r > 0.9$) se înregistrează între diagramele de rezistivitate aparentă *SHN* și *LON* (corelație pozitivă / directă) și între vitezele de numărare ale detectorilor de neutroni - curbele *NEAR* și *FAR* (corelație pozitivă / directă),

deoarece aceste perechi de diagrame răspund la un parametru fizic unic (rezistivitatea electrică a formațiunilor, respectiv concentrația în hidrogen a acestora).

O corelație puternică ($r = 0.7 - 0.9$) și pozitivă/directă se observă între diagramele de rezistivitate aparentă *SHN* și *LON* și curbele neutronice *NEAR* și *FAR*, aceste diagrame răspunzând la conținutul în fluide (apă), respectiv concentrația în hidrogen a formațiunilor.

Corelații moderate ($r = 0.5 - 0.7$) și negative / inverse se observă între radioactivitatea naturală gama și curbele de rezistivitate aparentă.

Corelații slabe ($r = 0.3 - 0.5$) și negative / inverse apar între radioactivitatea naturală gama și curbele neutronice, rezistivitățile aparente și timpul de parcurs acustic și, de asemenea, între curbele neutronice și timpul de parcurs acustic. O corelație slabă și pozitivă/directă apare între radioactivitatea naturală gama și timpul de parcurs acustic.

Analiza PCA a fost efectuată utilizând o secvență de program MATLAB.

În Tabelul 4. sunt prezentate rezultatele analizei efectuate pe matricea de covarianță / corelație a diagramei geofizice: valorile proprii ale matricei corespund varianțelor explicate de fiecare componentă principală, iar vectorii proprii ai matricei corespund direcțiilor majore de variabilitate a datelor.

Tabelul 4. Rezultatele analizei componentelor principale ale matricei de covarianță / corelație pentru setul de diagrame geofizice înregistrate în forajul FJ-2 - Cernavodă pe intervalul de adâncime 80 - 700 m.

<i>Valorile proprii (varianțele) explicate de componentele principale</i>						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
	4.1639	0.8775	0.5325	0.3742	0.0396	0.0123
%	69.3989	14.6242	8.8753	6.2365	0.6593	0.2057
<i>Vectorii proprii (coeficienții componentelor principale)</i>						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
GR	-0.3411	-0.4533	-0.7197	0.3976	0.0411	-0.0175
SHN	0.4601	-0.1085	0.1355	0.4957	-0.1028	-0.7085
LON	0.4579	-0.1069	0.1250	0.5237	0.0413	0.6981
NEAR	0.4440	-0.3167	-0.1772	-0.3784	0.7235	-0.0668
FAR	0.4380	-0.2820	-0.3009	-0.4171	-0.6770	0.0764
DT	-0.2708	-0.7691	0.5710	-0.0683	-0.0651	0.0127

Pe baza coeficienților componentelor principale din Tabelul 4.7 au fost calculate diagramele sintetice (*score logs*) s_1, s_2, \dots, s_6 definite prin combinațiile liniare ale diagramei geofizice inițiale. Ca și în cazul studiului efectuat pentru sonda A-Suceava, coeficienții componentelor principale au rolul unor coeficienți de pondere, pozitivi sau negativi.

Diagramele sintetice s_1, s_2, \dots, s_6 calculate, rezultate din analiza componentelor principale ale datelor geofizice înregistrate în sonda FJ-2 Cernavodă, sunt prezentate în Fig. 4.31. Pentru a sublinia variațiile lor și a delimita mai bine limitele contrastelor majore, valorile

pozitive ale diagrafiilor sintetice sunt reprezentate cu culoare roșie, iar valorile negative cu culoare albastră. Pentru fiecare dintre ele, nivelul zero corespunde valorilor medii s_i .

În Fig. 4.31 este prezentată o paralelizare între coloana litologică-stratigrafică a forajului FJ-1 (trasa 1) obținută pe baza analizei geologice a probelor / detritusului de săpare și rezultatele analizei PCA efectuate pentru forajul FJ-2 (trasele 3 – 12). Reperetele orizontale de culoare neagră din trasele 3 – 12 materializează poziția limitelor de separație dintre complexele geologice delimitate în forajul FJ-1, pentru a putea fi comparate cu zonele cu semnificație geologică-petrofizică particulară delimitate în FJ-2 pentru primele patru componente principale (trasele 3 – 6). Se observă delimitarea PCA clară a limitelor Complexului carbonatic II, Complexului evaporitic și Complexului dolomitic, la adâncimi foarte apropiate de cele determinate în forajul FJ-1. De asemenea, în analiza PCA este foarte bine evidențiat principalul orizont acvifer presupus productiv din complexul dolomitic Kimmeridgian - Tithonic (zonele 7, 4 și 2 din trasele 4, 5 și 6), în intervalul aproximativ de adâncime 651 – 680 m.

Testarea forajelor FJ-1 și FJ-2 a confirmat rezultatele interpretării realizate, zonele acvifere productive din ambele foraje fiind localizate în intervalul 650 – 700 m, în rocile carbonatice cu porozitate secundară semnificativă (fisuri/fracturi și vacuole).

În prezent, forajele menționate sunt echipate cu pompe submersibile și produc apă potabilă, cu debite $Q = 16$ l/s (FJ-1) și $Q = 28$ l/s (FJ-2).

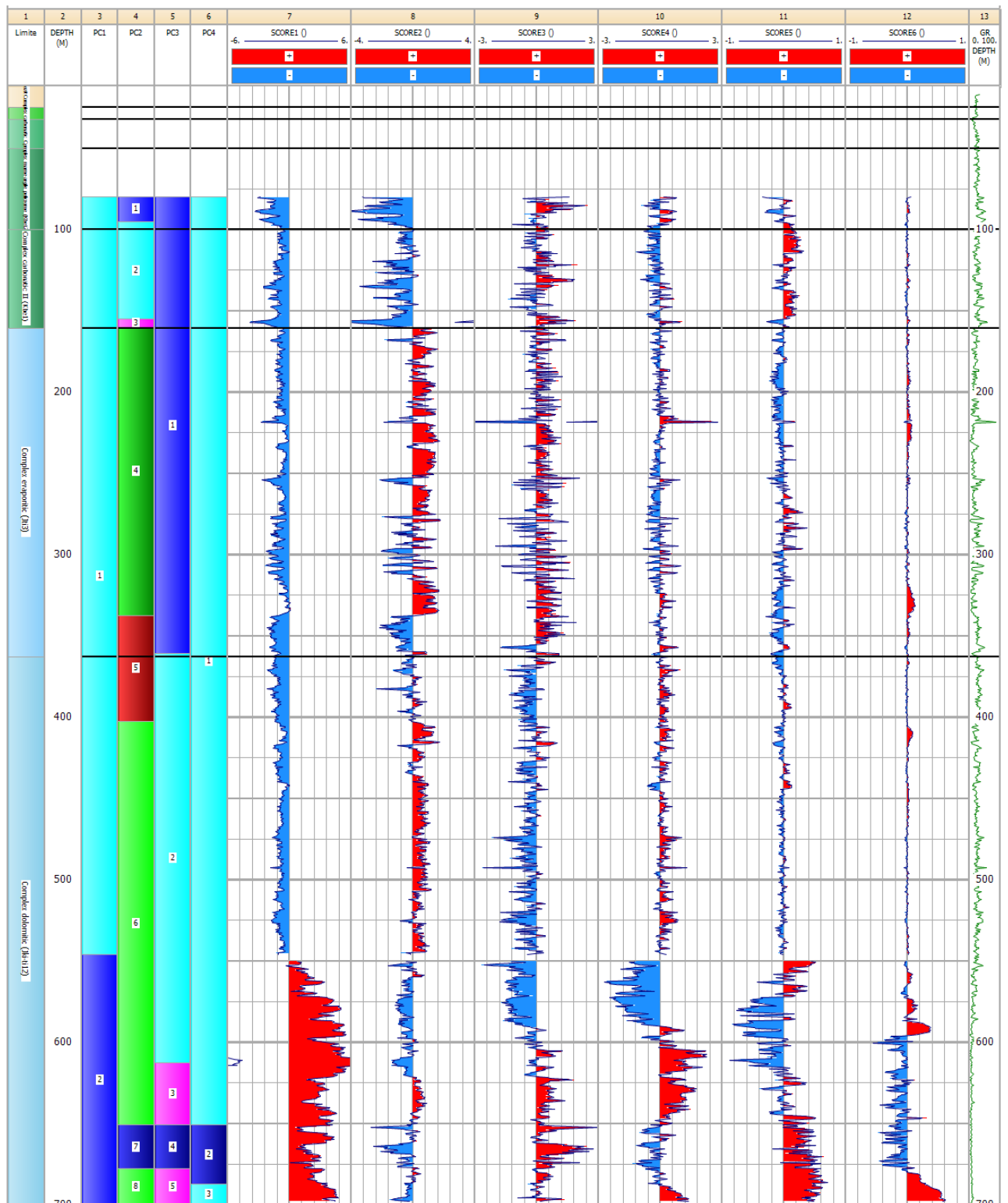


Fig. 5. Paralelizare între limitele complexelor geologice interceptate în forajul FJ-1 - Cernavodă (trasa 1) obținute pe baza analizelor geologice efectuate pe probe / detritus de săpare și rezultatele Analizei Componentelor Principale (PCA) efectuate pentru forajul FJ-2 – Cernavodă (trasele 3 – 12). Trasele 3 - 6 corespund zonelor / intervalelor de adâncime cu semnificație litologică-petrofizică particulară, separate pe baza analizei PCA. Orizontul acvifer productiv din Complexul dolomitic este localizat în intervalul aproximativ de adâncime 651 – 680 m, în rocile carbonatice fisurate-fracturate și/sau cu porozitate vacuolară.

Teza de doctorat elaborată a încercat să ilustreze aplicabilitatea, utilitatea, posibilitățile și limitările unor metode statistice-numerice de analiză și interpretare a datelor geofizice generale. Accentul a fost pus pe Analizei Componentelor Principale (PCA - *Principal Components Analysis*), una dintre metodele de analiză multivariată. Această metodă, înrudită cu analiza factorială, utilizează transformarea ortogonală a unui set de date (variabile) posibil corelate, convertindu-le într-un set de variabile necorelate, numite *componente principale*.

Transformarea respectivă este definită astfel încât fiecare dintre componentele principale are cea mai mare varianță posibilă, înglobând astfel cea mai mare "cantitate" de variabilitate din setul original de date. Componentele principale sunt ortogonale, deoarece corespund vectorilor proprii ("*eigenvectors*") ai matricei de varianță - covarianță a datelor.

Este important de subliniat că această metodă poate fi utilizată pentru analiza și interpretarea oricărui tip de date, incluzând seturi de date provenite din mai multe metode geofizice diferite. Scopul final este reprezentat de identificarea direcțiilor de maximă variabilitate din spațiul N -dimensional al datelor și reprezentarea/exprimarea datelor originale într-un nou sistem de coordonate, sarcina explicării semnificației geologice, geofizice sau petrofizice a datelor astfel transformate revenindu-i interpretatorului. De obicei, primele componente principale ale unui set de date (în particular, un set de date geofizice) pot fi interpretate în termeni geologici-geofizici-petrofizici, ultimele componente principale reprezentând efectului zgomotului sau al erorilor de măsură.

Implementarea practică a metodei PCA a fost abordată în cadrul tezei de doctorat prin intermediul a două studii de caz, realizate pe seturi de date geofizice de sondă (diagrame geofizice) care au fost disponibile pentru analiză. Primul studiu de caz a avut în vedere o sondă de explorare pentru hidrocarburi (gaze) localizată în nordul Platformei Moldovenești, iar al doilea studiu de caz a urmărit analiza datelor geofizice înregistrate în foraje hidrogeologice de explorare-exploatare a apelor subterane din Dobrogea de Sud (zona centralei nuclear-electrice Cernavodă).

În cadrul primului studiu de caz s-a realizat o comparație între rezultatele interpretării cantitative convenționale a unui set complex de diagrame geofizice și rezultatele analizei PCA. Obiectivele urmărite au fost: (1) stabilirea unor posibile corespondențe/corelații între rezultatele analizei PCA și caracteristicile profilului geologic traversat de sondă; (2) evidențierea în rezultatele PCA a unui răspuns caracteristic al posibilelor formațiuni cu saturație în hidrocarburi (prin comparație cu rezultatele interpretării cantitative convenționale a diagramei geofizice).

Dacă un astfel de răspuns caracteristic poate fi evidențiat, analiza PCA ar putea fi utilizată pentru "diagnosticarea" imediată a prezenței intervalelor cu hidrocarburi interceptate de alte sonde de explorare din zona respectivă (de pe aceeași structură), fie în completarea rezultatelor interpretărilor convenționale ale datelor geofizice, fie independent/individual. Se subliniază că analiza PCA poate fi efectuată rapid și nu necesită adoptarea unui set de parametri de calcul/interpretare ca în cazul interpretării cantitative convenționale (ex. adoptarea unui anumit model petrofizic de interpretare, parametri fizici ai argilelor, rezistivitățile apelor de formațiune și filtratului de noroi, parametri fizici ai hidrocarburilor etc.), set de parametri care poate fi afectat, adeseori, de incertitudini.

Studiul efectuat a indicat faptul că unele componente principale ale setului de date geofizice răspund predominant la contrastele litologice majore sau ca pot delimita foarte

precis rocile-rezervor în raport cu formațiunile impermeabile, în timp ce alte componente răspund preferențial la natura fluidului din spațiul poros al rocilor-rezervor. Una dintre componentele de ordin superior (PC_5) se corelează foarte bine cu un interval gazeifer identificat în nisipurile Sarmațiene pe baza interpretării cantitative convenționale. Este posibil ca acest indicator direct al prezenței hidrocarburilor, obținut din analiza PCA, să poate fi utilizat și în cazul datelor geofizice înregistrate în alte sonde de pe aceeași structură, fiind însă necesară, în prealabil, extinderea metodei de analiză pentru cât mai multe sonde de explorare, precum și calibrarea/verificarea acesteia prin măsurători efectuate pe carote și prin probe de producție.

În cadrul celui de-al doilea studiu de caz, a fost efectuată analiza PCA a unui set de diagrame specifice investigării forajelor de explorare pentru ape subterane, înregistrate într-un foraj (FJ-2) din proximitatea Centralei Nuclear-Electrice (C.N.E.) Cernavodă. Obiectivul explorării hidrogeologice a fost reprezentat de orizonturile productive ale acviferului regional Jurassic superior - Cretacic inferior din Dobrogea de Sud, situat la o adâncime de maximum 700 m în zona Cernavodă. Rezultatele PCA au fost comparate cu rezultatele analizelor geologice disponibile pentru alt foraj hidrogeologic (FJ-1) aflat în imediata vecinătate (la o distanță de cca. 200 m), considerându-se că succesiunea geologică traversată de ambele foraje nu variază semnificativ. Compararea rezultatelor PCA obținute pentru forajul FJ-2 cu coloana litologică a formațiunilor traversate de forajul FJ-1 (obținută din analiza detritusului de săpare și a carotelor extrase) a demonstrat capacitatea PCA de identificare / delimitare precisă a limitelor / contrastelor dintre principalele formațiuni geologice, permițând astfel corelarea clară a formațiunilor între sonde. De asemenea, prin analiza PCA s-a reușit localizarea principalului orizont acvifer din zonă, pe intervalul de adâncime 650 – 680 m. Rezultatele analizei au fost confirmate prin testarea forajelor respective, în prezent ele asigurând o parte din necesarul de apă potabilă pentru unitățile C.N.E. Cernavodă.

Prin PCA se pun / se pot pune în evidență foarte precis (în cazul de față, cu localizare exactă în adâncime) anumite limite de separație / suprafețe de contrast / suprafețe de variație semnificativă a unor proprietăți fizice măsurate. Aceste limite de separație pot avea o semnificație pur geologică (de ex. limite litologice majore, suprafețe de discordanță), o semnificație petrofizică (de ex. trecerea dintr-o zonă cu porozitate comunicantă/efectivă într-o altă zonă cu porozitate mai puțin comunicantă sau necomunicantă / deconectată), o semnificație legată de tipul fluidelor din rocile rezervor sau o semnificație legată de influența proprietăților mediului în care sunt efectuate măsurătorile (de ex. influența variației diametrului unei sonde).

Interpretatorului îi revine sarcina identificării semnificației componentelor principale ale unui set multidimensional de date geofizice, a legăturilor dintre acestea și proprietățile reale ale subsolului, prin corelarea rezultatelor PCA cu toate informațiile geologice-petrofizice disponibile (rezultatele interpretării cantitative convenționale a datelor geofizice, analize directe efectuate pe probe/carote etc.).

Trebuie subliniat încă o dată că metoda analizei componentelor principale poate fi aplicată asupra oricarui tip de date geofizice, care presupun existența mai multor variabile, cu perspective deosebit de interesante în privința potențialului, dezvoltărilor ulterioare și a aplicabilității acestei metode.